



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

dca
dipartimento colture arboree

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN
“SISTEMI ARBOREI AGRARI E FORESTALI”
XXII CICLO

COORDINATORE
Chiar.mo Prof. Tiziano Caruso

Settore Scientifico Disciplinare AGR/03

**ASPETTI ECOFISIOLOGICI, PRODUTTIVITÀ E QUALITÀ DEL
PRODOTTO IN UN OLIVETO SUPERINTENSIVO IN SICILIA**

Dissertazione Finale

TESI DI

Dott. Calogero Sansone

DOCENTE TUTOR

Chiar.mo Prof. Tiziano Caruso

1. INDICE

1. Indice	2
2. Introduzione	4
2.1. Botanica e storia dell'Olea europaea L.	4
2.2. Diffusione e percorso storico dell'olivo coltivato.....	6
2.3. Il panorama olivicolo siciliano.....	14
3. La produzione olivicola.....	23
3.1. La filiera olivicola	23
3.2. La qualità dell'olio di oliva	26
3.3. Le problematiche dell'olivicoltura tradizionale in Italia.....	30
3.4. Valorizzazione delle produzioni olivicole.....	32
4. Strategie per la riduzione dei costi di produzione: il modello superintensivo.....	35
5. Relazioni idriche nelle piante	41
5.1. Aspetti generali	41
5.2. Risposta della pianta allo stress idrico	43
5.3. Parametri di riferimento per la gestione dell'irrigazione	45
5.3.1. Evapotraspirazione (ETp)	45
5.3.2. Stem Water Potential (Potenziale idrico del fusto)	49
5.3.3. Stato idrico del suolo	51
5.3.4. Indice di stress delle piante	55
5.4. Il problema idrico nel mondo	59
5.4.1. Situazione attuale.....	59
5.5. Strategie di deficit irriguo	61

6. Scopo della tesi.....	65
7. Materiali e metodi.....	67
7.1. Esperimento 1 - Rilievi sull'attività vegeto-produttiva di un uliveto superintensivo	67
7.2. Esperimento 2 - Risposta ecofisiologica e vegeto-produttiva della cultivar Arbequina sottoposta a due livelli di stress idrico differenti in un uliveto superintensivo.	70
7.3. Elaborazione dati.....	74
8. Risultati e discussione	75
8.1. Esperimento 1 - Rilievi sull'attività vegeto-produttiva di un uliveto superintensivo	75
8.2. Esperimento 2 - Risposta ecofisiologica e vegeto-produttiva della cultivar Arbequina sottoposta a due livelli di stress idrico differenti in un uliveto superintensivo.	81
9. Conclusioni.....	87
10. Riferimenti bibliografici	91

2. INTRODUZIONE

2.1. Botanica e storia dell'*Olea europaea* L.

L'olivo (*Olea europaea* L.) è una specie arborea da frutto sempreverde, diploide ($2n = 2x = 46$) (Angiolillo A. *et al.*, 1999; Reale S. *et al.*, 2006) longevo e ad accrescimento lento. È caratteristico dell'area Mediterranea, dove si presenta con medio sviluppo (4-8 m di altezza) potendo raggiungere in certi casi (in dipendenza dalla cultivar, ambiente e condizioni culturali) anche grandi dimensioni.

L'*Olea europaea* appartiene alla famiglia delle *Oleaceae*, che comprende circa 30 generi, a portamento arboreo o arbustivo e distribuiti nelle regioni temperate e subtropicali, alcuni dei quali di notevole interesse agronomico o ornamentale quali: *Fraxinus* (frassino), *Ligustrum* (ligustro), *Jasminum* (gelsomino), *Syringa* (lillà) e *Phillyrea* (fillirea). Il genere *Olea*, a cui si ascrive l'olivo, comprende 35 specie e l'olivo (*Olea europaea* L.) è l'unica specie, tra le 600 che compongono tutta la famiglia, ad avere importanza agricola grazie alla commestibilità del suo frutto. Diverse e affascinanti sono le ipotesi sull'origine dell'*Olea europaea* L.; secondo alcune, tre specie non mediterranee avrebbero contribuito principalmente alla sua evoluzione: la presahariana *Olea laperrini* Batt. e Trab, la sud africana *Olea chrysophylla* Lam. e l'asiatica *Olea ferruginea* Royle (Simmonds, 1976); secondo altre ipotesi, invece, in nessuna delle specie affini non mediterranee sarebbero individuabili progenitori di *Olea europaea* L. (Zohary D. e Spiegel-Roy P., 1994). Le nuove ricerche in genetica agraria hanno comunque prospettato che l'ibridazione interspecifica, seguita da raddoppiamento cromosomico, sia stata la strada più probabilmente seguita per giungere alla forma attuale (Falistocco e Tolsi, 1996).

L'*Olea europaea* L. viene suddivisa in 2 sottospecie: *Olea europaea* L. subs. *europaea* (o *sativa* Hoffm. et Link), cui fanno capo le numerose varietà coltivate, e *Olea europaea* L. subs. *sylvestris* Miller (o *oleaster* Hoffm. et Link), cui appartengono le forme spontanee, denominate comunemente oleastri (Zohary D. e Spiegel-Roy P., 1994). Le principali differenze morfologiche tra le due sottospecie sono nelle dimensioni dei frutti (mentre il peso medio di un'oliva varia tra 1 e 12 gr il peso medio di un'oliva selvatica raggiunge difficilmente gli 0,5 gr), nel rendimento grasso dei frutti (maggiore nell'olivo coltivato), nella dimensioni e forma della foglia (molto più piccole e tondeggianti nell'oleastro e più grandi e di forma ellittica-lanceolata nel coltivato, anche se questa differenza non è generalizzabile).

Le due sottospecie sono totalmente interfertili e mostrano, inoltre, lo stesso numero di cromosomi ($2n = 46$); occasionalmente sono stati ritrovati casi di piante triploidi e tetraploidi, nonché un caso di polisomia ($2n=55$) (Breviglieri N. e Battaglia E., 1954).

2.2. Diffusione e percorso storico dell'olivo coltivato

Sebbene, quindi, le origini dell'olivo siano tuttora oggetto di dibattito tra gli studiosi del settore, si pensa che l'olivo coltivato derivi per selezione e successiva propagazione vegetativa dall'olivo selvatico (Zohary D. e Spiegel-Roy P., 1994). La coltivazione dell'olivo inizia nel bacino Mediterraneo nelle aree tra il Caucaso, l'Asia Minore e il Medio Oriente, culla dell'attività agricola umana, e alla successiva diffusione dell'olivo domesticato verso occidente. Tale processo di diffusione, avvenuto proprio tramite la selezione, l'apprendimento delle prime tecniche di clonazione e il commercio è rappresentato in figura 1; le tappe fondamentali nella diffusione dell'olivo nel Mediterraneo si possono riassumere in tre successivi “centri di diversificazione”:

l'area del Medio Oriente nel periodo tra il V e III millennio a.C.;

la penisola ellenica e la zona del mar Egeo durante il III-II millennio a.C.;

la Magna Grecia durante l'espansione della civiltà romana.

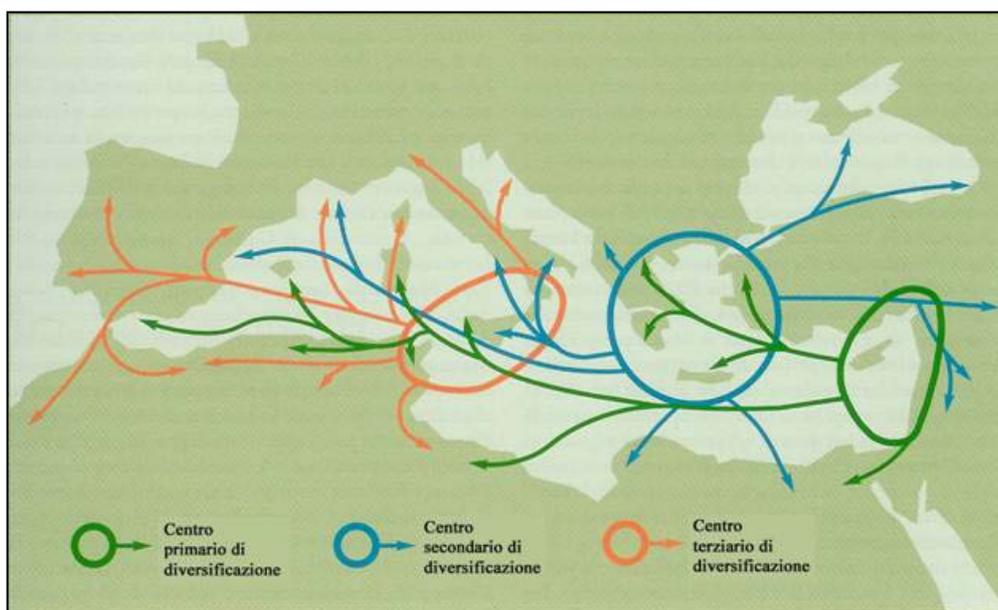


Figura 1 – Diffusione dell'olivo coltivato (Rallo L. *et al.*, 2005; Simmonds, 1976)

Secondo questa ipotesi, si ritiene che l'olivo sia originario delle regioni geografiche che vanno dal Sud del Caucaso (Iran) alla Mesopotamia e Palestina (Lavee S., 1985; Rugini e Lavee, 1992), è infatti in questa area, nel 4000-3000 a.C. circa, che l'olivo sembra essere stato domesticato.

"I popoli del Mediterraneo cominciarono ad uscire dalla barbarie quando impararono a coltivare l'olivo e la vite", Tucidide (V sec. a.C.).

Le varietà di olivo coltivate, quindi, potrebbero avere progenitori provenienti dal territorio montagnoso a sud del Caucaso e comprendente l'odierna Turchia orientale, l'Iran occidentale, Libano, nord Israele, Siria e nord Iraq (Acerbo G., 1937; Zohary D. e Spiegel-Roy P., 1975). Da tali regioni, si è poi diffuso, grazie anche all'apprendimento delle prime tecniche di clonazione ed al commercio, in tutti i territori prospicienti il bacino del Mediterraneo (figura 2) (Connor D.J. e Fereres E., 2005; Zohary D. e Spiegel-Roy P., 1994).



Figura 2 – Area di origine e diffusione della coltura di olivo nel Bacino del Mediterraneo

In tutta l'area mediterranea la coltura dell'olivo ha accompagnato senza eccezioni tutte le civiltà che nel tempo si succedettero: da quella egizia a quella minoica, per passare alle civiltà greca e fenicia. In queste civiltà, l'olivo e l'olio da esso prodotto,

ricoprirono un importante ruolo simbolico e ornamentale oltre che alimentare. Gli Egiziani, intorno al 2300 a.C., ornavano le tombe dei faraoni con rami d'olivo, simbolo di vita e di fecondità. Teofrasto e Strabone menzionano estese coltivazioni di olivo nella zona di Tebe, del Fajjum e nei pressi di Alessandria, e la più antica documentazione in merito, nella storia dell'antico Egitto, riguarda il progetto del giardino di una villa della XVIII dinastia (1580 – 1320 a.C.) (Germano, 1998). Da reperti archeologici (papiri) si apprende il volere di Ramses III (1198 – 1166 a.C.) di piantare degli olivi intorno al Tempio di Tebe (un'area di 2750 ha) la cui produzione doveva essere offerta al dio Ra (Bartolini e Petruccelli, 2002).

Come a Creta e in Egitto, l'olivicoltura e l'uso dell'olio d'oliva erano apprezzati e ricercati anche in Mesopotamia. Ne sono testimonianza leggi sulla regolamentazione della produzione e del commercio dell'olio d'oliva contenute nel famoso Codice di Hammurabi (XVIII sec. a.C.). Dal Mediterraneo orientale l'olivo fu diffuso verso occidente, in Grecia e negli arcipelaghi dell'Egeo, anche se Creta e Cipro vanno considerati come parte del centro più antico. In questa zona, considerata un *centro secondario di diversificazione*, l'olivo fu probabilmente oggetto di selezione da parte dell'uomo, in un periodo tra il III e il II millennio a.C. Ne è esempio il ritrovamento di un deposito imponente di orci nella reggia di Cnosso, a Creta, risalente al XVI secolo a.C. e capace di immagazzinare quantità di olio pari a cinque volte il fabbisogno dell'isola. Questo ha fatto supporre che a quella data non solo la produzione, ma anche il commercio di olio fossero notevolmente sviluppati (Boardman, 1977). Il ritrovamento di un antico frantoio, in pietra lavica, nell'isola greca di Santorini testimonia la grande cultura olivicola già presente in età micenea. Nello stesso periodo, molte popolazioni della Palestina erano ormai dedite all'olivicoltura. Le antiche origini dell'olivicoltura in questa regione sono testimoniate anche dalla

presenza di alberi plurisecolari che si trovano nel luogo dove era situato l'orto del Getsemani. La continua e sempre maggiore richiesta d'olio e di vino in Mesopotamia, Egitto ed Anatolia, determinò lo sviluppo e la prosperità delle zone costiere in cui era possibile coltivare olivo e vite.

Alla coltura dell'olivo si dedicarono soprattutto gli abitanti dell'Asia minore e i Greci (questi ultimi, come testimoniano Plinio, Polluce e Teofrasto, erano riusciti a catalogare almeno una decina di varietà di olivo) che contribuirono anche alla sua diffusione nel resto d'Europa e non solo. Prodotto pregiato, l'olio veniva utilizzato nella cosmesi e nella cura del corpo piuttosto che nell'alimentazione, come testimoniato in una notevole serie di citazioni letterarie. Lo sviluppo di un'intensa attività commerciale contribuì fortemente alla diffusione dell'olivo e dell'olio anche nella parte occidentale del bacino del Mediterraneo.

Nel primo millennio a.C. le colonie fenicie e poi quelle greche introdussero la coltura dell'olivo in tutta la Magna Grecia (Sicilia e Calabria) e nel regno Cartaginese (odierna Tunisia), *centro terziario di diversificazione*.

La specie si diffuse nel mondo romano nel VI secolo a.C. (Acerbo, 1937; Simmonds, 1976). Tutto il Mediterraneo subì in quel periodo l'opera di conquista da parte delle legioni romane per la formazione di un unico vasto impero. Ciò favorì una veloce diffusione dell'olivo grazie all'instaurarsi di un commercio molto intenso.

L'olivicoltura crebbe quindi di importanza, e raggiunse l'apogeo nel II-III secolo d.C., soprattutto nel nord Italia, ma anche in Spagna, Dalmazia, Provenza: la produzione, il commercio e il consumo dell'olio d'oliva crebbero in modo significativo, contemporaneamente allo svilupparsi dell'organizzazione della proprietà terriera e dell'apparato politico e amministrativo dello Stato. In età romana furono introdotti alcuni importanti perfezionamenti nella tecnologia olearia.

Numerose opere latine di agronomia scritte a partire dal II secolo a.C. da Autori come Catone, Columella, Plinio, ed altri, indicavano ai proprietari terrieri le migliori forme di coltivazione da adottare nei loro possedimenti e tutti gli opportuni accorgimenti nelle pratiche di potatura, concimazione, raccolta e lavorazione delle olive: dalle varietà più adatte alla potatura, all'epoca e ai sistemi di raccolta fino alle tecniche di frangitura. Sono proprio gli antichi Romani a introdurre i primi sistemi di classificazione dell'olio.

Dopo la caduta dell'Impero Romano le informazioni storiche sull'olivo sono scarse. In seguito, superata una fase di perdita di interesse, anche a causa del periodo di invasione barbarica e ad una visione medievale dell'agricoltura utilizzata principalmente per il sostentamento e non per il commercio.

Il Medioevo, infatti, conobbe un'agricoltura diversa, non tanto impegnata nel commercio quanto rivolta al sostentamento. La coltura dell'olivo venne ridimensionata, con conseguente diminuzione della diffusione, mentre i terreni migliori venivano dedicati alla produzione di cereali di base e vino.

La diffusione dell'olivicoltura riprese soprattutto dopo l'anno mille ad opera di ordini religiosi fra cui in particolare i Benedettini ed i Cistercensi. I Benedettini persuadevano contadini ed operai agricoli a non abbandonare le terre ma a dedicarsi a colture redditizie quali l'olivo. I Cistercensi furono lavoratori instancabili soprattutto nell'ambito del lavoro dei campi e del rispetto della natura; anelavano, infatti, ad un ritorno ai tempi evangelici ed ad una vita più dignitosa anche se più severa. Dunque, non si videro forse mai tanti oliveti come dal Mille al Quattrocento, gli anni d'oro dei monaci Benedettini e Cistercensi.

A partire dal secolo XIV, l'avvento di un clima più freddo distrusse gran parte del patrimonio olivicolo e solo nel 1600, specialmente in Toscana per volere dei Medici,

si ebbe una ripresa della coltivazione dell'olivo e della produzione di olio. I mercati del nord nel corso degli anni riservarono sempre più accoglienza al prezioso olio, e mentre si impiantavano nuovi oliveti in Italia, le Repubbliche Marinare di Genova e di Venezia iniziarono a commerciare per mare il nobile condimento. In particolare l'Italia meridionale fu soggetta a grandi trasformazioni, che videro l'aumento degli impianti e della produzione destinata ad un'importante esportazione .

Puglia, Calabria, Abruzzo, Campania e Sicilia furono caratterizzati da un'intensa coltivazione dell'olivo, sempre ad opera di monaci e poi di feudatari, dapprima per l'autoconsumo e successivamente per destinarlo all'esportazione. Il commercio dell'olio d'oliva raggiunse una tale importanza nell'economia meridionale che nel 1559 il Vicerè spagnolo Parafran de Rivera dispose la costruzione di una strada che collegasse Napoli alla Puglia con biforcazioni per la Calabria e l'Abruzzo, per consentire più rapidi trasporti di questa derrata. A partire dal '700, con l'avvio del libero mercato su scala nazionale e internazionale si estesero le aree di coltivazione e salirono i prezzi e il profitto. Se ne videro gli effetti, ad esempio nel litorale ionico calabrese dove l'impianto di oliveti fu incoraggiato, nel 1783, da nuove leggi che liberavano gli olivicoltori da ogni precedente carico feudale, e li esentavano da tasse per quaranta anni.

Dal XIX secolo in poi, l'olivicoltura italiana incontrò periodi altalenanti di sviluppo e successivo ridimensionamento, a causa delle alterne vicende storiche e politiche dei regni italici. Tuttavia essa fu mantenuta viva dalle classi contadine e dai governi con la volontà di salvaguardare un prodotto di cui l'Italia è diventata, oggi, il più pregiato produttore del mondo.

L'olio d'oliva italiano, in questo modo, si diffonde in tutta Europa, ma anche in America (Argentina, Cile, Perù, Messico e Stati Uniti) e solo più recentemente in Sud

Africa, Australia e Cina.

Considerata la pressione selettiva che l'olivo ha subito nel corso della sua evoluzione, sia nelle aree di origine che di diversificazione, la zona fitoclimatica della specie è compresa all'incirca tra il 30° e il 45° parallelo (figura 3), che come margini estremi ha le regioni del Nord Italia e del Nord Africa nell'emisfero boreale e del Sud Africa e dell' Australia nell'emisfero australe (Morettini, 1950; Sanz-Cortés *et al.*, 2002).



Figura 3 – Diffusione geografica dell'olivo

Senza dubbio la zona di maggiore importanza, per la coltivazione dell'olivo, è il bacino del Mediterraneo con ben il 92,1% del totale di superficie dedicati all'olivicoltura nel mondo (Faostat, 2004) e con la produzione media di 2,3 milioni di tonnellate di olio. Tuttavia, si produce olio anche negli Stati Uniti (California e Arizona), in America meridionale (Messico, Cile, Perù, Argentina e Antille), in Sudafrica, in Estremo Oriente, in Russia e in Ucraina, in Australia e in Nuova Zelanda. Negli ultimi anni, infatti, si è assistito ad un deciso incremento delle produzioni e dei consumi di olio di oliva. I principali paesi produttori hanno aumentato la loro produzione, ma non hanno incrementato allo stesso modo i consumi

complessivi, confermando un crescente trend di espansione geografica dei consumi verso nuovi paesi. Va segnalato inoltre che gli Stati Uniti sono diventati il principale importatore mondiale. Le ragioni di questa tendenza sono molteplici: è riconosciuta all'olio d'oliva una valenza nutrizionale e salutistica che riceve continue conferme dal mondo scientifico.

2.3. Il panorama olivicolo siciliano

La Sicilia, per ragioni storiche, culturali, ma soprattutto geografiche, ha rappresentato e rappresenta ancora oggi un enorme luogo di differenziazione genetica. Al centro del Mediterraneo, è stata spesso crocevia di civiltà che hanno lasciato un segno tangibile non solo nelle arti, ma anche nella tradizione agrocolturale.

L'olivo con tutta probabilità è stato introdotto dai Fenici, i quali nella loro migrazione iniziata nel XVI sec. a.C., ne diffusero la coltivazione nell'Asia Minore, in Egitto, in Libia, in Grecia e nelle isole dell'Egeo e da qui sicuramente in Sicilia, tra il IV e l'VIII sec. a.C., come dimostrano le testimonianze di Diodoro Siculo sugli insediamenti fenicio-cartaginesi di Akragas.

Le specie arboree introdotte sull'isola hanno trovato numerosi habitat, originati dalle differenze bio-climatiche, geologiche, pedologiche proprie della regione, e nei secoli vi si sono adattate dando origine alla grande biodiversità di specie e varietà oggi esistente, in grado di trasformare il territorio fino a farlo divenire un vero e proprio *topos* unico. Tuttavia, al di là di alcune realtà arboricole circoscritte in ambiti territoriali alquanto ristretti, sono l'olivo e la vite, che per secoli hanno accomunato tutti i Paesi che si affacciano sul Mediterraneo, le colture arboree più rappresentate nell'isola. D'altronde, come scrive un grande storico, Fernand Braudel, il Mediterraneo è il *mare degli oliveti*. Lungo le sue coste "*si ritrova la medesima trinità, figlia del clima e della storia: il grano, l'olivo, la vite, ossia la stessa civiltà agraria, la medesima vittoria degli uomini sull'ambiente fisico*".

Alla fine del XIX secolo si stimavano in Sicilia circa 17 milioni di piante coltivate su 200.000 ha in coltura promiscua e 70.000 in coltura specializzata. Allo stato attuale si stima che la coltura dell'olivo nell'Isola incida su una superficie di circa 155.000 ettari

e interessi 198.989 aziende. Già poche cifre sono sufficienti a connotare la rilevanza che tale settore riveste nell'economia agricola siciliana. Basti considerare che l'olivo copre il 10% della SAU e il 50% circa della superficie investita a colture arboree. La maggior parte degli oliveti è indirizzata alla produzione di olio, tanto che gli impianti specializzati per la produzione di olive da consumo diretto incidono solamente su una superficie di 4963 ettari (dati Istat 2007).

La grande variabilità di ambienti pedo-climatici presenti in Sicilia ha fatto sì che i genotipi selezionati dagli antichi agricoltori e quelli provenienti da altri Paesi del Mediterraneo abbiano trovato le condizioni adeguate per prosperare pertanto, ancora oggi, il panorama varietale autoctono dell'olivo in Sicilia è caratterizzato da una notevole complessità sia per l'elevato numero di genotipi che si sono differenziati nel tempo sia per l'ampia diffusione territoriale di un cospicuo numero di varietà.

Le prime citazioni bibliografiche sulla biodiversità di olivo in Sicilia vennero fatte nel 1882 da Caruso il quale segnala la presenza di diverse entità genetiche di olivo segnatamente ad alcune province dell'Isola.

La prima indagine sulla piattaforma varietale del germoplasma autoctono della Sicilia, condotta a metà del secolo scorso (Bottari e Spina, 1952), aveva consentito di descrivere 31 cultivar, una quota ragguardevole del patrimonio olivicolo italiano. Di tutte le accessioni segnalate soltanto un ristretto numero costituiva la base varietale su cui si fondavano le produzioni olearie, mentre la gran parte, per la limitata diffusione, a volte riconducibile a pochissimi esemplari, costituiva un patrimonio genetico poco conosciuto e in alcuni casi a forte rischio di estinzione.

A partire dagli anni '80 il Dipartimento di Colture Arboree dell'Università di Palermo (ex Istituto di Coltivazioni Arboree), con l'intento di valutare comparativamente le cultivar del germoplasma siciliano di olivo, preservandolo al tempo stesso da

probabili rischi di erosione genetica, iniziò un'intensa attività di indagine per rintracciare tutte le cultivar riportate nello studio di Bottari e Spina; nel corso di tale attività furono altresì rinvenute altre accessioni non descritte in letteratura.

A oggi, si può affermare che la piattaforma varietale di olivo in Sicilia consta di 25 cultivar di comprovata origine autoctona.

Tutte le cultivar sono presenti in un territorio delimitato tanto che nessuna di esse è coltivata in tutta l'Isola (figura 4).

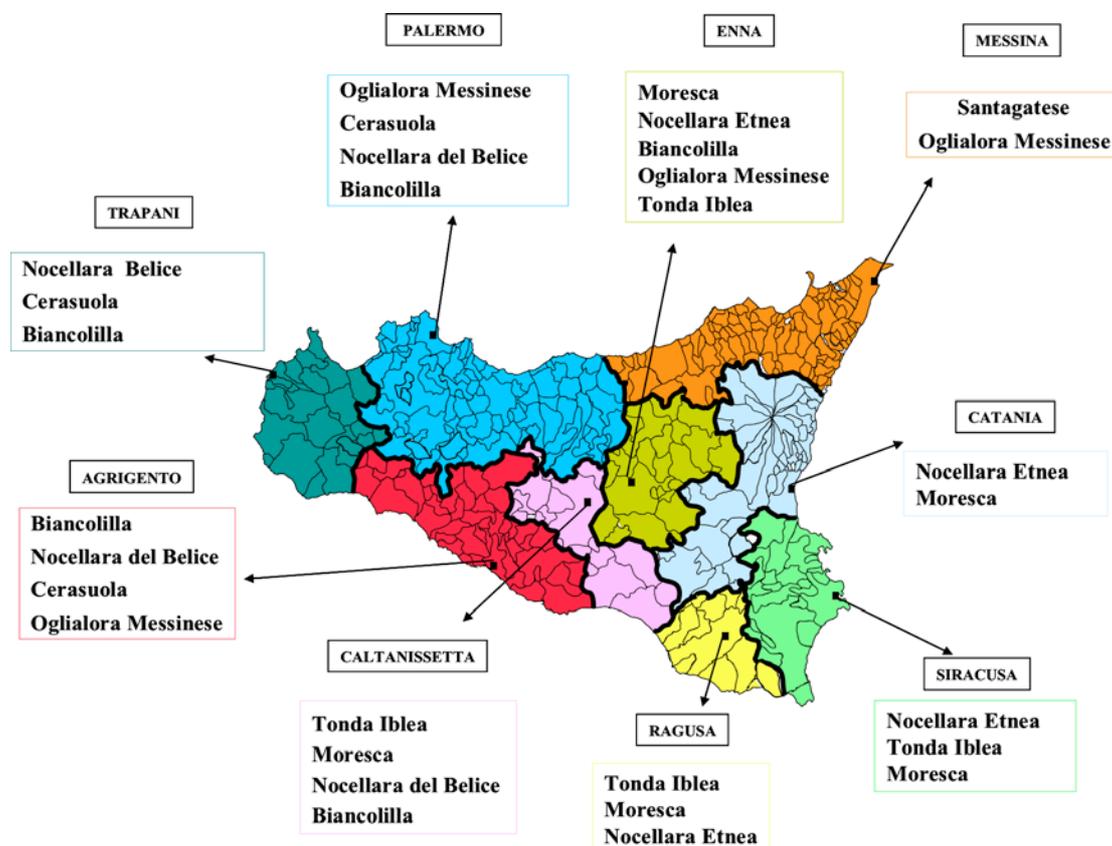


Figura 4 – Diffusione delle principali cultivar di olivo in Sicilia

A caratterizzare geograficamente il versante sud-orientale della Sicilia sono gli Iblei, massiccio montuoso emerso su un fondo marino sollevato ed eroso fino ad assumere la forma di un tavolato calcareo. Un contesto ambientale costituito da colline litoranee che raggiungono la massima altezza nel Monte Lauro (1000 m circa). È questo il

vasto comprensorio che delimita l'area di produzione della DOP Monti Iblei, che si estende su circa 19.000 ettari ubicati nell'entroterra delle province di Siracusa e di Ragusa e, in minor misura, anche di quella di Catania. Qui, tra i vasti altopiani alternati a profonde valli, la coltura dell'olivo costituisce uno dei paesaggi agrari più diffusi con impianti sempre molto differenziati, in termini di intensità e gestione colturale, e con alberi, spesso secolari, sparsi nei terreni collinari, posti ai margini degli agrumeti oppure abbinati alle altre colture che costituiscono patrimonio storico dell'area iblea: carrubeti, mandorleti e vigneti. Piante, spesso di grande dimensione, di altezza variabile in rapporto alla cultivar e alla cadenza con cui viene attuata la potatura, dal portamento che va da espanso ad assurgente. Si tratta, probabilmente, di alcuni dei sistemi olivicoli più antichi della Sicilia e ne è testimone l'elevatissimo numero di piante secolari. È un'olivicoltura che insiste, in larga misura, su terreni poco acclivi se non pianeggianti, in asciutto, spesso all'interno di appezzamenti circondati da muretti a secco, capace di produrre un olio di ottima qualità. Dominano il paesaggio olivicolo le cultivar Moresca e Tonda Iblea, che producono un olio molto apprezzato nei concorsi oleari grazie al caratteristico sapore dolce, ricco e saporito, intenso e persistente, arricchito dall'inconfondibile sentore di pomodoro spesso associato a note di carciofo, mandorla e, in rari casi, di mela matura. Il basso contenuto in polifenoli (di poco superiore a 100 ppm) conferisce all'olio una tenue sensazione di amaro e piccante. Oltrepassata la piana di Catania, lungo le pendici che si estendono dal versante sud-occidentale a quello settentrionale dell'Etna, l'olivicoltura è molto polverizzata e costituisce parte di un mosaico paesaggistico molto variegato, quasi mai in coltura principale, mantenuto vitale da agricoltori non professionisti o part-time che lo coltivano per ragioni legate alla disponibilità di tempo libero, alla residenza stagionale e all'autoconsumo. A causa dell'abbandono di

alcuni vecchi impianti non è infrequente la presenza di piante di olivastro, originate da ricacci al di sotto del punto di innesto, che hanno preso il sopravvento sulla vegetazione del "gentile". Nella Piana di Catania la Nocellara etnea, cultivar autoctona ampiamente diffusa, fa da cornice agli aranceti, associando alla funzione di frangivento la funzione produttiva. Oltre che all'estrazione di olio, i frutti di tale cultivar, che costituisce la base varietale della DOP Monte Etna, vengono destinati al consumo diretto; per tale utilizzazione in Sicilia è la seconda cultivar, in ordine di importanza, dopo la Nocellara del Belice. La tardiva epoca di maturazione, unitamente alla presenza di un nocciolo piccolo, liscio e di facile distacco dalla polpa, le conferisce un posto di grande rilievo nella preparazione di olive verdi snocciolate e farcite. Dai frutti moliti si estrae un olio molto saporito (fruttato medio-intenso) con un gusto di cardo-carciofo, pomodoro ed erba. Dai confini orientali del comune di Naxos (ME) sino ad arrivare alle terre di Tusa (ME), verso occidente, l'olivo occupa, dalla pianura alle colline, tutto lo scenario agricolo dei numerosi comuni di questo versante della provincia di Messina. È questa l'area di cultivar come la Nocellara messinese, l'Ogliarola messinese, la Santagatese, la Minuta, che costituiscono la base varietale degli oli a DOP Valdemone. Un territorio che si estende per circa 35.000 ettari e che comprende tutto il Messinese con esclusione dei rilievi montuosi dei Peloritani e dei Nebrodi. Il paesaggio agrario dell'area si contraddistingue per le asperità della sua orografia, in cui si identificano nettamente una fascia costiera e una collinare. La prima è destinata all'agrumicoltura e a una piccola realtà di frutticoltura (pesco, per lo più); le aree collinari si caratterizzano, invece, per il paesaggio che risale ripidamente dalla costa e, sovente, viene attraversato da profonde e strette valli, dette "fiumare". In quest'ultima parte si coltiva principalmente l'olivo, fatto crescere in aree terrazzate, che si spingono fino ai 500 metri d'altitudine. Ad altitudini superiori e

fino agli 800 m s.l.m. l'olivo cede il posto alle terrazze impiantate con il nocciolo. Esistono in questa zona, soprattutto a ridosso dei Nebrodi, impianti plurisecolari, con piante di enorme mole, sestì e distanze irregolari, con densità rade di 80-140 piante per ettaro. Ci sono poi zone dove l'olivicoltura deriva dalla naturale diffusione dell'oleastro, con oliveti costituiti da piante innestate su oleastri spontanei. Gli stessi toponimi lo dichiarano, ad esempio Marcatogliastro lungo le pendici che seguono il corso del fiume Pollina. Qui le densità d'impianto sono discontinue e spesso elevate e l'olivicoltura costituisce la copertura arborea prevalente, con una dimensione strutturale apparentemente "forestale". A dominare lo scenario di questa vasta area geografica è la cultivar Ogliarola messinese, conosciuta con diversi nomi tra i quali Passulunara, Calamignara, Castriciana, Terminisa e Nostrale, i cui frutti immaturi vengono utilizzati localmente anche per la produzione artigianale di olive da mensa, in salamoia, al naturale, con l'aggiunta, secondo usi e consuetudini dei luoghi, di aceto e/o aromi di piante officinali. Gran parte della produzione viene però destinata all'estrazione dell'olio, molto apprezzato dai consumatori per l'armonia e la delicatezza dei sapori determinata dal basso contenuto in polifenoli. Caratteristica particolarmente interessante è la composizione acidica che mostra un elevato contenuto in acido oleico prossimo all'80%. L'eleganza dell'habitus vegetativo della pianta, che associa vigore e portamento procombente, determinato dai rami penduli, e la compattezza della chioma, esaltano il valore ornamentale degli alberi di tale cultivar tanto da essere spesso utilizzata a ornamento delle vecchie ville nobiliari e dei casolari di campagna. Nell'olivicoltura a ridosso della fascia costiera tirrenica del Palermitano lungo tutto il golfo di Termini Imerese, da Casteldaccia a Cefalù, domina l'olivo, più o meno interrotto dai frutteti, che si spinge fino ai confini delle aree interne proprie del seminativo. È un'olivicoltura antica dove gli impianti si alternano

alla vite, agli agrumi e ai frutteti determinando una conformazione a mosaico del paesaggio. Un'olivicoltura marginale, sostituita in alcuni casi da impianti intensivi, i cui caratteri salienti risiedono nel grande sviluppo delle piante, coltivate a vaso pieno con ampie distanze d'impianto. Più si sale in collina, più gli impianti tendono ad assumere un aspetto residuale, vicino ai processi di rinaturalizzazione. Anche qui la cultivar predominante è l'Ogliarola messinese, chiamata anche Passulunara, che dà luogo a una particolare produzione di olive da mensa conosciuta nei mercati locali come "olive acciurate", ovvero olive addolcite direttamente all'albero grazie all'azione di un fungo (*Sphaeropsis dalmatica*) che degrada l'oleuropeina, composto chimico che conferisce il tipico sapore amaro alle olive. Nel lembo occidentale dell'Isola, tra il golfo di Castellammare e il corso inferiore del fiume Belice, grazie alle peculiari caratteristiche pedoclimatiche e alla presenza di vaste pianure interrotte da dolci colline e da ampie vallate, è l'olivo assieme alla vite a caratterizzare il paesaggio. In questo vasto territorio sono ben tre le DOP che tutelano le produzioni olivicole. La prima, DOP Valli Trapanesi, è estesa per circa 6000 ha e interessa il territorio posto a confine tra Castellammare del Golfo e punta San Teodoro (Marsala). Questa olivicoltura è costituita da impianti regolari con alberi impalcati alti (1,8-2 m), allevati a vaso pieno e distanze di piantagione variabili in rapporto all'età dell'oliveto. Predomina la cultivar Cerasuola, nota per essere androsterile (le antere non producono polline). Molto sensibile alla rogna dell'olivo, produce un olio di grande stabilità, per l'elevato contenuto in polifenoli, armonico con sensazioni di erba fresca, mandorla verde o foglia. A confine con la provincia di Agrigento, nelle fertili valli del fiume Belice, cambia la cultivar ma soprattutto il paesaggio. È il territorio della Nocellara del Belice, cultivar i cui frutti hanno duplice utilizzo e sono tutelati da due distinti marchi a Denominazione di Origine Protetta: Nocellara del Belice, per le olive da

tavola, e Valle del Belice, riservata all'olio extravergine di oliva. Unico chiaro esempio di monocoltura olivi cola su larga scala che esista in Sicilia (circa 14.000 ettari), rappresenta il più classico modello di specializzazione colturale basato su di una sola cultivar. Da un punto di vista agronomico, l'olivicoltura belicina si distingue per la particolare forma della chioma (*vaso acefalo*) impressa attraverso la potatura, pratica che viene effettuata con cadenza annuale per garantire la produzione di olive di grosse dimensioni (superiori ai 18 mm di diametro) da destinare al consumo diretto. Impianti in asciutto, raramente consociati al mandorlo, spesso su terre rosse, in molti casi secolari, convivono con impianti più giovani, in irriguo, nei quali le distanze si riducono e le stesse piante cambiano forma per divenire dei vasi liberi. Le caratteristiche qualitative delle olive di Nocellara del Belice trasformate in verde sono pregevoli soprattutto in relazione alla croccantezza della polpa, che incide sul peso complessivo della drupa per oltre 85%, e al sapore. I frutti che non raggiungono il calibro commerciale richiesto dalle industrie di lavorazione vengono inviati all'oleificazione; da essi si ottiene un prodotto caratterizzato da un fruttato di oliva molto intenso e forti sensazioni di amaro e di piccante. Nelle terre di Menfi, Montevago, Santa Margherita Belice e nelle aree più interne di Sambuca di Sicilia, Giuliana e Chiusa Sclafani, sono ancora una volta olivo e vite a dominare il paesaggio, ma questa volta è la Biancolilla insieme alla Nocellara del Belice e alla Giarrappa a prevalere sulla Cerasuola. A ridosso della fascia costiera i pianori e le vallate dell'interno sono ricchi di impianti creati nella prima metà del secolo scorso, con ampie distanze e sestri a volte irregolari, altre in quadro. Le piante allevate in gran parte a vaso, sono sempre con impalcatura molto alta e chioma espansa, che viene potata ogni due anni. Scendendo ancora più a sud, arriviamo nel territorio di Sciacca, Caltabellotta e Ribera; qui l'olivicoltura convive con il vigneto, il seminativo, a volte

l'aranceto o il frutteto di mandorli o drupacee. Non domina il paesaggio ma ne è parte integrante. Eccezione fatta per l'area di Sciacca, dove predomina la Cerasuola, è la Biancolilla a caratterizzare il paesaggio olivicolo della area a DOP Val di Mazara. L'ampia diffusione di questa cultivar è probabilmente legata alla rusticità dell'albero, che ben si adatta ai terreni aridi, superficiali, talora marginali, e alla sua modesta taglia. L'olio è di colore giallo paglierino con riflessi dorati, con fruttato leggero delicato al palato, molto fluido, con un retrogusto di mandorla a volte accompagnato da note di carciofo, di pomodoro o di erba fresca.

3. LA PRODUZIONE OLIVICOLA

3.1. La filiera olivicola

La filiera olivicola è, con certezza il più complesso tra i sistemi frutticoli italiani per la relativa distribuzione territoriale, per l'estrema eterogeneità delle condizioni ambientali e delle strutture di produzione, per la frammentazione della filiera produttiva, per la variabilità del patrimonio varietale e per l'estrema eterogeneità delle caratteristiche qualitative del prodotto finale.

La commercializzazione degli oli extravergini di oliva, ottenuti nei paesi di antica coltivazione, è oggi sempre più indirizzata verso l'offerta di prodotti aventi specifici attributi di qualità. Tale tendenza scaturisce dalla necessità di aumentare il valore aggiunto dei prodotti oleari riconoscibili per caratteri qualitativi propri dell'area di coltivazione. Questa necessità scaturisce dall'esigenza di venire incontro alla sostenuta domanda di prodotti ritenuti o percepiti naturali, sicuri e qualitativamente migliori. La definizione di tali specificità, tra l'altro, rappresenta oggi un presupposto indispensabile per la tutela e la valorizzazione delle produzioni agricole di qualità e una "tessera" obbligatoria per l'industria alimentare, come sancito dal D.L. 155/97 e ribadito più recentemente dal Reg. CE 178/2002, in tema di tracciabilità e/o rintracciabilità.

Per far ciò sono stati introdotti marchi collettivi di qualità, riconosciuti in ambito europeo quali DOP, IGP e STG, che consentono al consumatore di riconoscere la provenienza e la qualità di uno specifico prodotto.

L'evoluzione del concetto stesso di qualità e la necessità di aumentare il valore aggiunto del prodotto hanno, infatti, stimolato la produzione di oli di oliva

“tipicizzabili” o comunque riconoscibili per attributi qualitativi propri della cultivar di provenienza e, talvolta, dell’area di coltivazione. Questo sempre nella consapevolezza che l’olio è la risultante di una serie di interazioni tra fattori genetici, ambientali e tecnologici che caratterizzano sia la fase di sviluppo e maturazione del frutto che la sua trasformazione (Montedoro e Servili, 1991).

La cultivar rappresenta la più importante variabile caratterizzante le produzioni olivicole per la resa (D'Amore *et al.*, 1977), per la velocità e modalità di accumulo dell’olio (Lavee e Wodner, 1991) e per le caratteristiche dell’olio.

Fatta eccezione per alcune cultivar, Frantoio, Leccino, Carolea e Coratina, che si sono diffuse grazie anche ad una più incisiva promozione vivaistica, la produzione oleicola italiana deriva dalla molitura di frutti riferibili ad una ampia piattaforma varietale con una distribuzione geografica abbastanza definita ed in alcuni casi addirittura puntiforme (Baratta e Campisi, 2001; Bartolini e Baroncelli, 1992; Prevost *et al.*, 1993).

Quest'ampia piattaforma varietale, frutto di un lento e costante lavoro di selezione operato dagli agricoltori, rappresenta la più importante variabile nella caratterizzazione delle produzioni oleicole (Cimato, 1988; Pannelli *et al.*, 1991) per gli effetti che essa esercita su diversi aspetti della biologia di fruttificazione ed in particolare, sulla velocità e modalità di sintesi ed accumulo dei costituenti principali e secondari dell'olio (Lavee e Wodner, 1991).

Ciononostante, diverse regioni, pur avendo una base produttiva di grande importanza, non sono presenti sul mercato con una forza altrettanto rilevante e con un’immagine pienamente riconoscibile.

L’evoluzione della politica comunitaria ed il complessivo modificarsi dei rapporti tra attività economiche ed il territorio nel quale queste avvengono, comporteranno nel

prossimo futuro, in virtù della polifunzionalità di questa coltura, l'accentuazione delle differenze tra olivicolture che sottendono scopi diversi.

Per l'olivicoltura condotta con spiccate finalità produttive, la sede di confronto è rappresentata, in misura sempre maggiore, dal mercato determinato dai i relativi flussi di offerta e di domanda, e dalla competizione con i partner del bacino del Mediterraneo, sia europei che africani; i primi forti per l'utilizzo di nuove tecnologie, i secondi altamente competitivi per i bassi costi di produzione.

In un simile contesto l'Italia si trova a mirare, fondamentalmente, a due obiettivi: il miglioramento degli aspetti qualitativi, con la valorizzazione del patrimonio varietale autoctono, e l'abbassamento dei costi di produzione. Su quest'ultimo aspetto incidono sia i sistemi di gestione sia soprattutto le operazioni di raccolta per le quali la meccanizzazione integrale riveste un ruolo di fondamentale importanza.

3.2. La qualità dell'olio di oliva

Il progresso che si è avuto negli ultimi venti anni nel campo delle scienze nutrizionali è sicuramente una delle chiavi del successo che l'olio di oliva sta riscuotendo nel mondo.

Numerose ricerche hanno infatti evidenziato come il consumo di olio, invece di altri grassi, abbia un effetto positivo sulla salute umana.

La scoperta delle proprietà salutistiche dell'olio extravergine di oliva, sommata alla nascita di nuove nicchie di mercato che richiedono prodotti tipici che sfuggono al fenomeno dell'appiattimento del gusto, specifico dei modelli alimentari di massa, hanno fatto sì che l'olio oggi sia consumato anche al di fuori del Mediterraneo.

Le qualità nutrizionali e salutistiche di un olio extravergine di oliva si devono indubbiamente alla peculiarità della sua composizione chimica.

La frazione saponificabile, che costituisce più del 98% dell'olio, comprende principalmente i gliceridi neutri ed in particolare i trigliceridi (98-99%), i digliceridi (1-1,5%), primo passo dell'idrolisi dei trigliceridi, e i monogliceridi (meno dell'1%).

Gli acidi grassi determinano e definiscono il tipo di trigliceride che può formarsi e vengono suddivisi a catena corta, media e lunga a seconda che il loro numero di atomi di carbonio sia compreso tra 4-8, tra 10-14 e tra 16-20; possono inoltre presentare catena satura o insatura e, in quest'ultimo caso, si suddividono in monoinsaturi, di-insaturi, e così via, a seconda del numero dei doppi legami presenti. In prevalenza negli oli di oliva si hanno grassi monoinsaturi (con un solo doppio legame lungo la catena alifatica) e, in minori concentrazioni, saturi (senza doppi legami) e polinsaturi (con 2 o 3 doppi legami).

Gli acidi grassi più rappresentativi sono i saturi palmitico (C16:0) e stearico (C18:0); i monoinsaturi palmitoleico (C16:1) ed oleico (C18:1) ed i polinsaturi linoleico (C18:2) e linolenico (C18:3), che costituiscono la quasi totalità (99% circa) degli acidi grassi.

La rivalutazione dell'olio di oliva quale grasso fondamentale per una dieta lipidica equilibrata è dovuta alla particolare composizione acidica che oltre ad essere ricca di acidi grassi monoinsaturi presenta un contenuto in acidi grassi polinsaturi (acido linoleico, acido linolenico) i quali sono detti "essenziali" nel senso che non possono essere sintetizzati dall'organismo umano e vanno quindi assunti tramite una dieta appropriata.

La composizione acidica di un olio è caratterizzata da un alto livello del rapporto insaturi-saturi, in particolare, da una forte predominanza dell'acido oleico sull'acido linoleico e linolenico.

Questo produce importanti ripercussioni a livello nutrizionale in quanto la composizione lipidica della dieta può incidere sulla regolazione del livello di colesterolo nel sangue, sui meccanismi di regolazione della permeabilità cellulare e sulla formazione di radicali liberi.

Al riguardo, sembra accertato come una dieta lipidica ad alta concentrazione di acido oleico incida positivamente sui meccanismi di regolazione del colesterolo. L'acido oleico, inoltre, si presenta abbastanza stabile ai processi di perossidazione lipidica verso i quali sono invece fortemente soggetti gli acidi grassi polinsaturi (linoleico e linolenico), in assenza di un'adeguata copertura in antiossidanti.

L'esclusività delle proprietà nutraceutiche di un olio extrargine di oliva è dovuta soprattutto alla peculiarità dei componenti minori che costituiscono la frazione insaponificabile del suo profilo chimico.

A questi composti, presenti in ridotte quantità pari a circa l'1-2% del peso dell'olio, corrispondono più di 230 sostanze chimiche appartenenti a diverse classi come alcoli alifatici e terpenici, steroli, cere, idrocarburi, composti volatili, carotenoidi, tocoferoli, pigmenti, vitamine e sostanze fenoliche. Tra gli idrocarburi è presente lo squalene; tra gli alcoli triterpenici i più importanti sono il cicloartenolo ed il 24-metilencicloartenolo, tra gli steroli è quasi assente il colesterolo, mentre è molto importante il β -sitosterolo; tra i pigmenti sono da annoverare i carotenoidi e la clorofilla e tra le vitamine quelle liposolubili (A, D, PP e H).

Alla frazione dei costituenti minori appartengono, in particolare, gli antiossidanti naturali degli oli vergini di oliva rappresentati da caroteni, tocoferoli e sostanze fenoliche idrofile. Questi antiossidanti sono i composti maggiormente correlati alla qualità salutistica dell'olio vergine di oliva.

Bisogna però considerare che, mentre i tocoferoli e i caroteni si possono trovare anche in altri oli vegetali o grassi animali, alcune sostanze fenoliche idrofile sono presenti esclusivamente nell'olio di oliva.

Nonostante le numerose variabili che influiscono sulla sintesi di questi composti nelle drupe e sul loro trasporto nell'olio, data la grande variabilità dei loro contenuti assoluti riscontrabili (da 100 a 800 ppm) e l'eterogeneità dei composti ascrivibili a questa classe, i composti fenolici possono rappresentare degli utili marker chimici per la discriminazione degli oli monovarietali.

Soltanto negli ultimi venti anni, soprattutto in seguito alle interessanti scoperte che sono state fatte sulle proprietà bio-farmaceutiche di alcuni composti, si è infatti iniziata a studiare la presenza di specifici classi di fenoli idrofili negli olio extravergine di oliva.

I risultati pubblicati su numerosi lavori scientifici mostrano che la peculiare composizione dei fenoli antiossidanti distingue nettamente un olio extravergine di oliva dagli altri grassi alimentari di origine vegetale e animale.

Da questi studi si evidenzia, senza ombra di dubbio, che la qualità dell'olio di oliva è "diversa" da tutte le altre. I motivi sono da ricondurre alle particolari caratteristiche del frutto e dell'olio ed ai sistemi di estrazione che prevedono l'impiego di una tecnologia solo meccanica. Preme sottolineare al riguardo, che sussistono numerose connessioni tra le esigenze richiamate dai nutrizionisti e quanto è riscontrabile nella tipologia degli oli di oliva vergini.

3.3. Le problematiche dell'olivicoltura tradizionale in Italia

La continua espansione della coltura dell'olivo nel mondo, indirettamente legata all'affermazione del modello alimentare mediterraneo, ha prodotto nel mercato mondiale una competizione sempre maggiore. Le aziende olivicole tradizionali italiane, caratterizzate da costi di produzione elevati, in questo contesto risultano piuttosto deboli e si reggono anche grazie alla politica di aiuti dell'Unione Europea, prorogata fino al 2013, che ha permesso fino ad oggi la sopravvivenza del comparto olivicolo europeo. In Italia, l'importanza relativa dell'olivicoltura si basa sulle singole economie agricole regionali, fatto confermato dal consistente peso della coltura nelle aree più vocate dell'Italia Centrale e del Mezzogiorno, che sono state oggetto di riconoscimento di specifici marchi collettivi di qualità.

L'olivicoltura tradizionale è caratterizzata da impianti a bassa densità e piante di gran mole che rendono difficili le operazioni di potatura e raccolta, costringendo ad un'ingente ricorso di manodopera con conseguente aumento dei costi e lunghi tempi di realizzazione. Tali aspetti sono in antitesi con le esigenze di una moderna "olivicoltura" che ha, oggi, fra i suoi obiettivi principali, la massima efficienza economica (Pampanini e Pignataro, 2006).

Per rendere più competitivo in ambito europeo e mondiale il comparto olivicolo italiano occorre guardare ai nuovi sistemi di coltivazione "ad elevata efficienza economica" più moderni, dinamici, altamente produttivi e facilmente meccanizzabili. Vi sono, infatti, fondate preoccupazioni sulla competitività dell'olivicoltura tradizionale, caratterizzata da elevate necessità di manodopera e quindi da alti costi di produzione. In parallelo il mercato dell'olio di oliva è mondiale ed i prezzi sono

sostanzialmente livellati a valori al sotto dei costi di produzione dell'Italia e di altri Paesi produttori (Deidda *et al.*, 2006; Godini, 2009; Pampanini e Pignataro, 2006).

3.4. Valorizzazione delle produzioni olivicole

L'Italia, forte della presenza storica e delle numerose varietà di olivo presenti nei vari areali, risulta essere tra le regioni più attive nella qualificazione dei prodotti oleicoli, nella convinzione che solo attraverso una politica di qualità (marchi collettivi di qualità) si possono ottenere sostanziali incrementi di valore aggiunto delle produzioni. Tuttavia, è abbastanza noto a tutti gli operatori del settore che tale strategia di protezione commerciale si adatta per uno specifico mercato di élite la cui ampiezza è, e lo sarà sempre più, determinata, nel prossimo futuro, dal soddisfacimento delle attese dei consumatori che richiedono qualità ma ad un prezzo sostenibile. Inoltre, considerato che non tutte le produzioni oleicole potranno essere destinate verso un mercato di élite, nasce l'esigenza di incrementare il livello di reddito degli oliveti. Tale obiettivo potrà essere conseguito mediante aggiornamenti di tecnica colturale che consentano la massima espressione delle potenzialità produttive delle piante ed un elevato livello di meccanizzazione, per ridurre al minimo i costi di produzione. Su quest'ultimo aspetto incidono soprattutto le operazioni di raccolta che, se effettuate con i metodi tradizionali, rappresentano sino all'80% dei costi della manodopera necessaria per la coltivazione (Godini *et al.*, 2006; Tombesi, 2006; Tous *et al.*, 2004). Nonostante la raccolta manuale rappresenti la principale voce di costo nell'oliveto, la raccolta meccanica risulta ancor oggi poco diffusa nell'olivicoltura italiana. Fattori ostacolanti il processo di meccanizzazione di tale operazione colturale possono essere individuati nella piccola superficie media dell'azienda, terreni in pendio, piante obsolete e di grande mole, bassa produttività dell'oliveto e, infine, l'elevato costo delle macchine.

Tra l'altro, una maggiore diffusione della raccolta meccanica comporta, oltre alla riduzione dei costi di produzione, l'attenuazione dei problemi di carenza di manodopera, di sicurezza dei cantieri di lavoro e di tempestività dell'intervento.

Il sistema di raccolta meccanica attualmente più diffuso in Italia è quello basato sullo scuotimento del tronco e/o delle branche mediante il quale, in certe tipologie d'impianto, si può realizzare una riduzione dei tempi di raccolta ed un significativo contenimento dei costi gestionali (Pannelli e Alfei, 2000; Tombesi, 2006). Tuttavia il sistema non è scevro da difetti.

Numerosi sono i fattori agronomici che influiscono sull'efficienza delle macchine e sulla produttività dei cantieri di lavoro per la raccolta delle olive. Tra questi, il carico di frutti, il peso dell'oliva, l'andamento della maturazione delle drupe, le caratteristiche dell'oliveto (sesti, forma di allevamento, volume della chioma, pendenza del suolo), la gestione della potatura e del suolo.

L'efficienza della raccolta meccanica aumenta con l'aumentare della produzione per albero, per cui la produttività del lavoro risulta sempre scarsa su olivi poco produttivi. Indicativamente per ottenere una buona efficienza alla raccolta meccanica, un olivo deve produrre almeno 10-15 kg di olive (Gucci *et al.*, 2004).

Il peso delle drupe influisce sulla resa alla raccolta meccanica in quanto il distacco dell'oliva dall'albero avviene per gravità. A parità di vibrazione impartita al tronco, olive più pesanti eserciteranno una trazione maggiore sul peduncolo e avranno maggiore probabilità di abscissione. Il peso del frutto dipende principalmente dalla varietà, dal carico di frutti e dalla disponibilità idrica nel suolo durante la crescita della drupa.

Varietà con maturazione poco scalare sono più adatte alla raccolta meccanica rispetto ad altre con marcata scalarità di maturazione. In ogni caso la forza di attacco del

peduncolo, cioè la forza da esercitare per operare il distacco dell'oliva, deve essere inferiore a 400-450 g per ottenere un'elevata resa di raccolta (Gucci *et al.*, 2004).

Anche la forma di allevamento può incidere sull'efficienza della raccolta.

Per l'impiego di vibro-scuotitori del tronco è indispensabile allevare le piante su un unico fusto privo di ramificazioni laterali per almeno un metro dal suolo. Per operare velocemente, e soprattutto se si utilizzano scuotitori con ombrello intercettatore, è utile lasciare un tratto più lungo di tronco privo di rami laterali (1,3-1,4 m) in modo da ridurre i tempi per il posizionamento della macchina e l'aggancio del fusto da parte della pinza del braccio vibratore (Tombesi, 2006).

La potatura deve essere effettuata in modo da ridurre la presenza di branchette secondarie o terziarie rivolte in senso discendente, che tendono a disperdere la vibrazione originaria con conseguente difficoltà al distacco dell'oliva. Per lo stesso motivo, varietà con portamento pendulo o semi-pendulo possono risultare meno adatte alla raccolta meccanica con vibro-scuotitori di varietà a portamento espanso o assurgente. Ai fini della raccolta per vibro-scuotitura, l'angolo ottimale con cui le branche primarie si inseriscono sul tronco deve essere di circa 45 °C.

All'aumentare del volume della chioma dell'albero diminuisce l'efficienza di raccolta in quanto la vibrazione perde di intensità con l'aumentare della lunghezza delle branche.

La velocità di spostamento e raccolta dei vibro-scuotitori del tronco diminuisce all'aumentare della pendenza del suolo, per cui nei terreni collinari la raccolta meccanica ha costi superiori, a parità di altre condizioni, rispetto a suoli in piano.

4. STRATEGIE PER LA RIDUZIONE DEI COSTI DI PRODUZIONE: IL MODELLO SUPERINTENSIVO

Il sistema di allevamento intensivo in olivicoltura (400-600 piante/ha) ha in qualche modo sopperito alla imperante richiesta di contenimento dei costi di gestione dell'oliveto (Tombesi, 2002). Tuttavia, la loro riduzione, con le attuali conoscenze, non può spingersi oltre ragionevoli limiti, in quanto alcune operazioni colturali devono essere eseguite ancora manualmente, come la potatura (Godini e Bellomo, 2002). La sostenibilità economica della olivicoltura italiana e di quella di molti altri paesi è legata alla possibilità di meccanizzare integralmente le operazioni colturali per ridurre l'impiego di manodopera ed abbassare i costi di produzione (Iannotta e Perri, 2006). Per questo motivo, la diffusione di sistemi intensivi non è stata quella sperata: oggi nelle aree olivicole mondiali solo il 20% circa dei nuovi impianti sono realizzati con tali sistemi mentre l'80% sono realizzati con il sistema superintensivo spagnolo (Tous *et al.*, 2006) che potenzialmente potrebbe essere molto efficiente (figura 5). Tale modello prevede densità di impianto comprese tra 1.600 e 2.000 piante per ettaro, forma di allevamento ad asse centrale allevate in filari continui, potatura meccanica e raccolta con vendemmiatrice-scavallatrice, una delle macchine raccogliatrici a maggiore efficienza e multifunzionalità oggi disponibili nel settore agricolo (Bellomo e Godini, 2003; Camposeo e Giorgio, 2006) (figura 6).

Le scavallatrici compiono la raccolta in 3-4 ore per ettaro con l'impiego di 2 operatori, riducendo così fortemente l'impiego di manodopera ed i costi (Famiani *et al.*, 2008; Godini, 2002; Ravetti, 2004 ; Tombesi, 2006; Tous *et al.*, 2007b; Tous *et al.*, 2003).. Gli impianti superintensivi sono però caratterizzati da un costo di impianto elevato,

circa 10.000 euro, dalla applicazione di attente tecniche di coltivazione ad alto input (irrigazione, concimazione, gestione suolo, potatura, controllo dei parassiti).



Figura 5 – Piante delle cultivar Arbequina in un impianto ad elevata densità (Spagna)



Figura 6 – Macchina scavallatrice per la raccolta in continuo (Gregoire G122)

Per ottenere una soddisfacente redditività dell'impianto occorre quindi avere produzioni precoci, elevate e costanti fino all'età di almeno 15 anni (Tombesi, 2006; Tous *et al.*, 2007b). Durante la fase produttiva le piante non debbono superare le dimensioni compatibili con la camera di scuotimento delle vendemmiatrici che è larga 1 metro e alta 2,5 - 3,0 metri. Dai primi sei ettari realizzati nel 1994 (Olint, 2000), il modello superintensivo spagnolo si è diffuso in Francia, Argentina, USA, Cile, Brasile, Tunisia, Turchia e Italia, investendo una superficie pari a circa 100.000 ha (Mateu *et al.*, 2008). In Italia la sua diffusione, iniziata solo nel 2001, oggi può contare su circa 100 ha (Sportelli, 2006). In occasione del VI International Symposium on Olive Growing, tenutosi nel settembre del 2008 a Evora (Portogallo) è emerso che, confermata la tendenza in atto, nei prossimi 10 anni gli impianti superintensivi di olivo insisteranno su circa 250.000 ettari di superficie, con incrementi, rispetto all'attualità, pari al 250%. Nello sviluppo di tali modelli d'impianto, che sono stati progettati adottando valori standard nei parametri architettonici (distanza tra le piante, altezza delle piante, spessore della chioma, ampiezza della fascia produttiva) si è tenuto conto delle esigenze poste dalla meccanizzazione della raccolta, ed in particolare dell'efficienza della macchina scavallatrice, piuttosto che dell'espressione dell'effettivo potenziale produttivo e qualitativo dell'oliveto. Pluriennali osservazioni condotte in due diverse aree olivicole della Spagna (Andalusia e Catalogna) sugli impianti superintensivi hanno mostrato marcate differenze produttive ma hanno anche evidenziato la comune tendenza a ridurre la produzione, una volta superati i 10.000 m³/ha di volume complessivo delle chiome (De La Rosa *et al.*, 2006; León *et al.*, 2006; Pastor Muñoz-Cobo *et al.*, 2006; Tous *et al.*, 2007a). A densità d'impianto elevate, la chioma di ciascun albero continua

ad accrescersi innescando fenomeni di ombreggiamento intra-pianta e tra piante contigue (Tous *et al.*, 2006). L'olivo, specie eliofila per eccellenza, reagisce a tali fenomeni indirizzando la nuova vegetazione verso spazi dove l'intensità luminosa raggiunge livelli sufficienti a garantire la regolare attività fotosintetica delle foglie (Proietti *et al.*, 1994). Come conseguenza, si assiste ad uno "spostamento" verticale della chioma, determinato dalla crescita verso l'alto della nuova vegetazione, con angoli più stretti nel punto d'inserzione dei rami sul fusto, e ad un aumento del diametro della stessa, causato dalla crescita "centrifuga" dei giovani germogli (Díaz-Espejo *et al.*, 2008). Nei casi più drammatici, quando l'intensità luminosa scende a valori inferiori al 30% rispetto alla radiazione massima, la pianta può mostrare profonde variazioni nel gradiente vegetativo che da basitono (i rami basali crescono più intensamente di quelli apicali) diviene tendenzialmente acrotono (Baldini, 1986). Nei rami in ombra, la progressiva riduzione dell'attività fotosintetica della lamina fogliare si ripercuote negativamente sulla crescita della nuova vegetazione, sulla quantità di gemme indotte a fiore e sulla fertilità complessiva della mignola: numero di fiori fertili, percentuale di frutti che allegano, regolare crescita e sviluppo dei frutti (Proietti, 2003). E' stato inoltre osservato che frutti portati da rami in ombra accumulano minori quantitativi di olio e, la composizione acidica e il contenuto di polifenoli subisce sensibili variazioni (Pastor *et al.*, 2007). Il problema della regolare ed uniforme intercettazione della luce assume particolare rilevanza negli impianti superintensivi, nei quali la precoce e abbondante fruttificazione e la costanza di produzione negli anni è strettamente legata alla quantità di luce fotosinteticamente attiva che raggiunge le foglie più giovani (Tombesi, 2003; Tombesi *et al.*, 1999). Indagini condotte in Australia per comprendere le cause più frequenti del declino produttivo che può interessare gli impianti superintensivi di olivo hanno evidenziato

l'importanza dell'orientamento del filare e dei rapporti tra spessore, inclinazione della chioma, altezza della pianta, distanze tra i filari. Tali fattori influenzano sensibilmente la quantità di luce complessivamente intercettata dall'impianto e la distribuzione della radiazione luminosa all'interno della chioma e, di conseguenza, l'efficienza produttiva del sistema (Connor e Fereres, 2005). Nell'ambito delle tecniche colturali dedicate alla gestione della pianta un ruolo fondamentale assume la potatura di produzione; con tale pratica è infatti possibile mantenere o migliorare la funzionalità della chioma (Baldini, 1986). Attraverso la rimozione mirata e selettiva di succhioni, rami esauriti, brachette che competono per il medesimo spazio, viene infatti favorita la penetrazione di sufficienti quantitativi di energia radiante anche nelle parti più interne della chioma (Tombesi, 2006). La scelta delle cultivar rappresenta un altro aspetto fondamentale nell'applicazione del sistema colturale superintensivo, poiché le piante devono svilupparsi in maniera equilibrata e poi mantenere una chioma che possa entrare nelle dimensioni della camera di scuotimento delle vendemmiatrici per un periodo più lungo possibile (almeno per 15 anni); fin dal 2°- 3° anno devono esprimere produzioni elevate, superiori a 7-8 t di olive ad ettaro (Godini *et al.*, 2006). Le cultivar che ad oggi possiedono tali requisiti, e sulle quali è stato calibrato il modello, sono tre: due spagnole, 'Arbequina' e 'Arbosana', ed una greca 'Koroneiki' (Rallo *et al.*, 2005; Tous *et al.*, 2008). La regolarità e l'entità della produzione e la lunghezza della fase produttiva sono fondamentali per il successo economico dell'oliveto superintensivo perché in pochi anni deve consentire di ammortizzare le spese di impianto e coprire i costi elevati delle tecniche colturali intensive. La produzione deve essere innescata precocemente e dovrebbe essere il principale fattore di regolazione e limitazione dell'accrescimento vegetativo e contribuire alla ripartizione degli assimilati, dirigendoli in larga proporzione verso i frutti (Tombesi, 2003). Un aspetto

altrettanto importante è lo sviluppo e la maturazione dei frutti: essi debbono accrescersi regolarmente, senza subire una forte competizione da parte di altri organi della pianta, ed essere raccolti quando abbiano raggiunto un elevato contenuto e un'alta qualità dell'olio e consentano un'elevata resa di raccolta con le macchine scavallatrici (Tombesi, 2006; Tombesi *et al.*, 2009). L'elevata qualità dell'olio, in particolare, rappresenta un obiettivo fondamentale per la competitività dell'olivicoltura e, tenendo conto che dipende fortemente dall'ambiente, dalla varietà e dalle tecniche colturali, negli impianti superintensivi è necessario un attento studio per ottenere prodotti che qualitativamente rispondano alle aspettative del consumatore (Proietti *et al.*, 2008). Da quanto sopra evidenziato emerge l'importanza di conoscere il vigore che alcuni ambienti olivicoli nazionali inducono nelle varietà Arbequina e Arbosana, attualmente ritenute le più rispondenti per gli impianti superintensivi. In alcuni ambienti favorevoli allo sviluppo, anche queste hanno infatti assunto dimensioni superiori a quelle idonee per il sistema, con conseguenti danneggiamenti alla pianta e rottura dell'equilibrio tra attività vegetativa e riproduttiva (Tous *et al.*, 2006; Tous *et al.*, 2003).

5. RELAZIONI IDRICHE NELLE PIANTE

5.1. Aspetti generali

Le piante dei climi di tipo mediterraneo sono sottoposte a stress causato dalle alte temperature estive accompagnate dalla siccità. Tali condizioni influenzano notevolmente la crescita e la produttività delle piante coltivate. L'olivo (*Olea europaea* L.) è una specie sclerofilla resistente alla siccità, e nel bacino del Mediterraneo, dove ha origine è sottoposta a stagioni di siccità prolungata. Le piante sensibili alla siccità, regolano lo stato idrico dei tessuti attraverso una serie di adattamenti morfologici, anatomici e fisiologici che controllano la perdita di acqua e migliorano l'assorbimento della stessa. Poiché l'olivo ha un basso tasso di crescita, meccanismi di adattamento fisiologici piuttosto che morfologici sono predominanti nella gestione del deficit idrico di breve durata (Lakso, 1985). L'olivo ha un'altissima efficienza dell'uso dell'acqua, molto superiore a quella di numerose altre specie. Questo può essere spiegato come quantità di acqua assimilata per unità di traspirato, e dipende da molti fattori, sia anatomici che fisiologici (Gucci, 2004). Le caratteristiche che rendono l'olivo capace di captare, trasportare e rilasciare l'acqua in atmosfera in condizioni di scarsa umidità del suolo sono presenti sia nelle radici che nelle foglie. Queste caratteristiche morfologiche (radici espanse, foglie piccole e rigide, con cuticola spessa, stomi sulla pagina inferiore delle foglie adulte e non direttamente esposta sulla superficie, ma coperti da tricomi che fungono da filtro per le radiazioni ultraviolette e, allo stesso tempo mantengono la superficie fogliare umida) sono tipiche di piante xerofite che non si adattano bene in ambienti con alta umidità (Barone e Di Marco, 2003).

Tuttavia, alcune differenze tra le cultivar di olivo sono state osservate per il loro adattamento e capacità di produzione in condizioni di siccità (Chartzoulakis *et al.*, 1999). Un declino dello stato idrico della pianta ha conseguenze su molti processi fisiologici, come l'espansione delle foglie e altre funzioni della pianta (Hsiao, 1973). La maggior parte delle coltivazioni sono molto sensibili al deficit idrico, e il loro rendimento può essere influenzato negativamente anche dai deficit idrici di breve durata (Hsiao *et al.*, 1976). E' ampiamente noto che lo stress idrico influisce sulla resa e anche sulla qualità delle produzioni (Uriu e Magness, 1967).

5.2. Risposta della pianta allo stress idrico

Diversi ricercatori, che hanno studiato la relazione tra attività fotosintetica e condizioni ambientali, hanno dimostrato che la siccità e le alte temperature sono i più importanti fattori di stress ambientale che interrompono l'attività della pianta (Giorio *et al.*, 1999).

Nogues e Baker (2000) ha mostrato che alcune cultivar di olivo coltivate nel bacino del Mediterraneo mostrano basse attività fotosintetica e di traspirazione durante la stagione secca. (Chartzoulakis *et al.*, 1999) ha riferito che una serie di meccanismi di adattamento sono innescati in tali impianti per resistere a queste condizioni. Questi adeguamenti portano a cambiamenti dello stato idrico della foglia, alla chiusura degli stomi e quindi, ad una riduzione del tasso fotosintetico. La riduzione della fotosintesi, causata dal deficit idrico potrebbe essere dovuta ad una diminuzione della conduttanza stomatica.

Giorio *et al.*, (1999) ha riferito che il controllo stomatico è il principale fattore fisiologico in grado di ottimizzare l'uso dell'acqua in di siccità. La stessa idea è stata sviluppata da Moriana *et al.*, (2002) i quali hanno notato che in condizioni di temperatura elevata, le piante di olivo sono in grado di ridurre l'eccessiva perdita di acqua chiudendo gli stomi. Le foglie tollerano valori estremamente bassi di potenziale idrico (-10 MPa) e possono perdere fino al 40% di acqua del tessuto con perfetta capacità per la reidratazione. La conseguenza di questo adattamento alla siccità nell'olivo è una bassa attività fotosintetica che limita il tasso di crescita e la produzione finale (Bongi e Palliotti, 1994). Il controllo stomatico è un fattore fisiologico significativo che ottimizza l'uso dell'acqua in condizioni di siccità.

Anche se le piante di olivo mostrano una traspirazione superiore rispetto alle altre specie da frutto, l'assimilazione e il tasso di traspirazione di queste specie

diminuiscono con l'aumento dello stress (Noguès e Baker, 2000; Xiloyannis *et al.*, 1988). Sofo *et al.*, (2007) hanno dimostrato che piante di olivo sottoposte a deficit idrico mostrano un più basso contenuto d'acqua e di potenziale idrico nei loro tessuti, che crea un gradiente di potenziale particolarmente elevato tra foglie e radici, e arresta la crescita della chioma, ma non l'attività fotosintetica e la traspirazione. Una volta raggiunto un valore di stress elevato, le piante di olivo potrebbero non essere in grado di recuperare pienamente e riprendere a traspirare con buona efficienza (Tognetti *et al.*, 2004).

5.3. Parametri di riferimento per la gestione dell'irrigazione

5.3.1. Evapotraspirazione (ETp)

L'olivo è in genere coltivato in zone dove l'acqua per l'irrigazione è scarsa. Questo, insieme con il sorprendente aumento della superficie irrigata di questa coltura in questi ultimi anni, rende indispensabile un calcolo per migliorare la determinazione dell'esigenza idrica della pianta. Allo stesso tempo, vi è un crescente interesse nella determinazione dei componenti che entrano in gioco nell'equazione del bilancio idrico negli oliveti. Tale conoscenza è necessaria per ottimizzare la gestione delle acque nell'impianto (Palomo *et al.*, 2000).

La metodologia generale spesso utilizzata per determinare il fabbisogno idrico dell'olivo è stata proposta dalla Food and Agriculture Organization (FAO) e si basa sull'evapotraspirazione delle colture (ETc) che tiene conto dell'evapotraspirazione di riferimento e del coefficiente colturale (Allen *et al.*, 1998).

Per una corretta gestione dell'irrigazione, occorre una quantificazione precisa dell'evapotraspirazione delle piante. L'irrigazione è utilizzata per sostituire le perdite d'acqua del suolo che non vengono sostituite con mezzi naturali (ad esempio le precipitazioni). Gli interventi sono di solito mirati a fornire acqua prima che si verifichi uno stato di stress idrico. Le perdite di acqua avvengono principalmente attraverso l'evapotraspirazione delle colture (ETc) e le stime esatte di ETc sono necessarie per la determinazione con esattezza dell'acqua persa dal suolo. Stime accurate dell'ETc sono particolarmente importanti per la gestione efficiente di irrigazione con basso volume di acqua (cioè, a goccia e micro-sprinkler) e sistemi di irrigazione a pioggia. Il primo passo nella programmazione irrigua è quello di analizzare dati storici. Pertanto, una serie storica della ETo è altamente raccomandata.

L'evapotraspirazione delle colture dipende dalle condizioni meteorologiche e dai fattori di impianto e di gestione. Supponendo che non vi sia stress il valore dell'evapotraspirazione reale (ETa) è massimo (ETc). Se adeguatamente irrigate, la maggior parte delle colture avranno l'evapotraspirazione massima $ETc = ETo \times Kc$. In alcuni casi, le colture sono volutamente sottoirrigate per ridurre la crescita vegetativa (nel cotone), aumentare la ripartizione dei fotosintetati nelle parti raccolte (nella barbabietole da zucchero), ridurre l'accumulo di acqua nel prodotto raccolto (ad esempio, pomodori), o migliorare la qualità della coltura (uva da vino). Se il raccolto è volutamente sottoirrigato, un fattore di ulteriore stress (Ks) può essere necessario per regolare ETc a ETa. E' importante ricordare che i coefficienti delle colture sono utilizzati per determinare ETc e non ETa (Snyder, 2007).

L'evapotraspirazione è anche un parametro molto importante nei modelli idrologici e climatici ed è una variabile fondamentale per le applicazioni pratiche come la gestione delle acque reflue nelle zone umide e la valutazione di pericolo di incendio. I progressi nella capacità di registrazione, trasferimento dati, e delle strumentazioni hanno portato ad un aumento di interesse a in breve termine, nelle misure di ET in campo con tecniche micro meteorologiche, compreso il bilancio del rapporto energetico di Bowen (Angus e Watts, 1984; Bowen, 1926), eddy covariance (Shaw e Snyder, 2003) e di surface renewal (Paw *et al.*, 1995). Il vantaggio delle misure di campo è che forniscono l'evapotraspirazione reale (ETa), sotto qualsiasi livello di stress fisiologico e di copertura. Gli svantaggi sono la necessità di effettuare misurazioni in diversi punti per fornire stime regionali dell'ETa, e costi elevati per attuare una rete di misura di grandi dimensioni (Spano *et al.*, 2009).

L'evapotraspirazione colturale (Etc) è normalmente calcolata come prodotto tra l'evapotraspirazione di riferimento ET (ETo) e un coefficiente colturale (Kc), che

dipende dalle caratteristiche della copertura del terreno e delle colture, seguendo il metodo FAO (Allen *et al.*, 1998). Nel caso dell'olivo, le informazioni sul K_c sono ancora scarse e oggi viene ottenuto principalmente tramite misure dell'ET con il bilancio idrico del suolo. La variabilità dei K_c , nonché del coefficiente di copertura (K_r), misurata in luoghi diversi rende difficile applicare il metodo della FAO in luoghi dove non esistono informazioni sperimentali. Inoltre, i valori pubblicati di entrambi i coefficienti sono spesso utilizzati in aree con condizioni diverse da quelle in cui sono stati ottenuti i coefficienti (Palomo *et al.*, 2000).

Il valore reale di ET_c può essere stimato in base al bilancio idrico del suolo determinato da misure dirette del cambiamento nel contenuto di acqua nel suolo e del drenaggio sotto l'apparato radicale ad una certa profondità (Moreno *et al.*, 1988). La stima della perdita di acqua tramite drenaggio in una zona del suolo sottostante le radici necessita determinazioni dettagliate e precise delle caratteristiche idrauliche del suolo. L' ET_c ottenuta dal bilancio idrico del suolo in oliveti può essere confrontata con la traspirazione della coltura (T_c) ottenuta con il metodo del flusso linfatico nell'olivo (Moreno *et al.*, 1988; Palomo *et al.*, 2000).

Le misurazioni del flusso linfatico sono state effettuate nei tronchi di molte specie (Steinberg *et al.*, 1990). Più recentemente le tecniche di heat-tracer sono state impiegate per determinare la dinamica di captazione di acqua dalle radici per brevi periodi (Moreno *et al.*, 1996). I sistemi Sap-flow (flusso linfatico) sono facilmente automatizzati, e hanno dimostrato di essere abbastanza affidabili per l'impiego in campo per lunghi periodi di tempo. I confronti sono stati fatti tra il flusso linfatico e altri indicatori di stress idrico utilizzati per la pianificazione dell'irrigazione. Gli esempi includono melo (Nadezhdina, 1999), vite (Escalona *et al.*, 2002), susino e altre

specie (Fernandez et al., 2008). Negli ultimi anni, altri metodi alternativi per la programmazione dell'irrigazione sono stati proposti.

Recenti studi (Spano *et al.*, 2009) hanno fornito un utile strumento che sviluppa modelli empirici "ECOWAT" per la stima dell'ET negli ecosistemi naturali e forestali. ECOWAT utilizza i dati meteorologici per la stima dell'evapotraspirazione standard di riferimento (ET_o) e coefficienti di calibrazione per stimare l'ET in ecosistemi all'interno di una regione che ha una simile domanda evapotraspirativa. Una volta tarato per un ecosistema particolare, ECOWAT ha il potenziale per fornire previsioni storiche e stime di evapotraspirazione per le applicazioni pratiche da parte dei gestori degli ecosistemi. ECOWAT è stato testato per un'ampia gamma di ecosistemi e siti.

5.3.2. *Stem Water Potential (Potenziale idrico del fusto)*

Negli ultimi anni l'uso di metodi atti ad indicare lo stato idrico della pianta sono diventati molto popolari per lo studio delle relazioni pianta-acqua e per la pianificazione di programmi di irrigazione. La misurazione dello stato idrico della pianta può essere utile per la programmazione di irrigazione a causa della sua natura dinamica, che è direttamente collegata alle condizioni climatiche e del suolo, nonché con la produttività delle colture (Goldhamer *et al.*, 2003; Remorini e Massai, 2003). L'approccio più utilizzato per la valutazione dello stato idrico della pianta è stato quello di determinare il potenziale idrico fogliare (leaf water potential) (Ameglio *et al.*, 1999). Tuttavia, Chone *et al.*, (2001) e Shackel *et al.* (1997) hanno dimostrato che il midday stem water potential (ψ_{stem}) è un metodo più significativo e affidabile per la programmazione dell'irrigazione di colture arboree.

È importante notare che qualsiasi tipo di gestione dell'irrigazione utilizzato nell'oliveto deve prendere in considerazione l'effetto finale sulla qualità e sulla composizione dell'olio di oliva ottenuto, soprattutto per quanto riguarda il suo contenuto e profilo in composti minori, come fenoli e volatili, che sono principalmente responsabili dell'aroma e del gusto (Angerosa, 2002). Diverse indagini sono state condotte al fine di valutare l'effetto dell'irrigazione sulla composizione dell'olio, e si è visto che c'è una relazione tra lo stress idrico nell'olivo e i composti fenolici presenti nel prodotto finale (Servili *et al.*, 2007; Tovar *et al.*, 2001). Tuttavia, ci sono studi, che non notano alcun effetto dell'irrigazione sulla composizione fenolica (Patumi *et al.*, 2002), e altri studi indicano una maggiore concentrazione di composti di fenoli negli oli ottenuti da piante durante la crescita sopra il limite di stress (Inglese *et al.*, 1996).

L'acqua si muove all'interno della pianta seguendo quattro fasi: dal suolo alle radici;

dalle radici al sistema xilematico; dal sistema xilematico alle foglie tramite il picciolo; dalle foglie all'atmosfera attraverso stomi. Lo stato idrico della pianta dipende dal potenziale idrico degli strati di terreno nei pressi dell'apparato radicale, dalla dimensione della chioma e dalla domanda di evaporazione (Chone' *et al.*, 2001).

La camera a pressione (Scholander *et al.*, 1965) è uno strumento affidabile per determinare lo stato idrico delle piante. Le misure che questo strumento può fornire sono il potenziale idrico fogliare all'alba (ψ_{dawn}), il potenziale idrico giornaliero (ψ_{leaf}) e lo stem water potential (ψ_{stem}).

Prima dell'alba il potenziale idrico della foglia è zero, visto che il flusso linfatico non è attivo. Questo ci dà un'informazione sullo stato idrico del suolo nei pressi dell'apparato radicale, dato che lo stato idrico della pianta prima dell'alba è considerato in equilibrio con lo stato idrico del suolo. Il ψ_{leaf} giornaliero misurato su una singola foglia riflette una combinazione di molti fattori: la domanda idrica della foglia [deficit di pressione di vapore (VPD), la radiazione intercettata dalla foglia]; disponibilità di acqua nel suolo; conduttività idraulica interna della pianta e regolazione stomatica. ψ_{stem} è misurata su una foglia non traspirante. Il Daily Stem Water Potential ψ_{stem} è il risultato della traspirazione di piante intere, e la conduttività idraulica del suolo e il sistema suolo/ radice. ψ_{stem} indica la capacità delle colture di condurre l'acqua dal suolo verso l'atmosfera. ψ_{stem} è stato utilizzato con successo come indicatore di deficit idrico in alberi di pesco e susino (Intrigliolo e Castel, 2006). Negli alberi di prugne (Shackel *et al.*, 1997).

5.3.3. *Stato idrico del suolo*

Il suolo è il sistema attraverso cui viene fornita acqua alle piante e per questo motivo si preferirebbe monitorare la condizione idrica dello stesso, perché di più semplice determinazione. Tuttavia, il monitoraggio del suolo da solo una misura indiretta dello stato idrico della pianta.

Il monitoraggio del suolo mostra dei difetti. La scelta del punto dove monitorare l'umidità del suolo è problematica, tuttavia, perché la zona esplorata dalle radici delle piante perenni è irregolare e solitamente occupa un grande volume. Inoltre, il contenuto di acqua nel suolo varia all'interno del campo, specialmente in suoli profondi e soggetti ad irrigazione. Dunque sarebbe necessario effettuare dozzine di misure per avere un dato rappresentativo e attendibile (Warrick e Nielsen, 1980). Perciò la questione di trasformare queste letture in stime dell'acqua disponibile e stabilire delle soglie per programmare calendari d'irrigazione rimane oggetto di studio.

Prendendo in considerazione questi difetti, si potrebbe considerare lo stato idrico della pianta come indicatore ed integrarlo con la lettura della disponibilità idrica del suolo all'interno della zona esplorata dalle radici (Naor e Cohen, 2003).

Molti approcci per migliorare la gestione delle risorse idriche sono stati sviluppati, alcuni di questi prevedono l'utilizzo di sensori per monitorare costantemente il contenuto di acqua del suolo (Hanson *et al.*, 2000). Il sensore di matrice granulare (GMS) è un'opzione per stimare indirettamente il contenuto di acqua del suolo. Esso misura la resistenza elettrica del suolo che può essere convertita in potenziale idrico del suolo (ψ_{soil}), o utilizzando una formula di taratura prevista nella letteratura per terreni sabbiosi (Irmak e Haman, 2001) e limosi, o calibrarlo per un tipo specifico di suolo.

Il Watermark è un GMS a costo relativamente basso, che è facile da utilizzare e installare e può funzionare costantemente su un intervallo di tensione di acqua nel suolo da 10 kPa a 200 kPa (Leib *et al.*, 2003), che è al di sopra di una gamma più ampia di Tensiometri in commercio. Tuttavia, ci sono prove di alcune limitazioni. Ad esempio, il Watermark non risponde a modifiche di potenziale idrico del suolo superiore a 10 kPa e, pertanto, non può essere uno strumento adatto nei casi in cui le pratiche di irrigazione mantengono una tensione bassa del suolo (Irmak e Haman, 2001). Inoltre, il Watermark non risponde correttamente alla rapida essiccazione o riuniformazione parziale del suolo, mostrando un comportamento isterico (McCann *et al.*, 1992), che di conseguenza può portare alla non corretta stima dello stato idrico del suolo effettivo in queste situazioni. Infine, c'è anche la prova che il Watermark non è adatto per una misurazione accurata e riproducibile di ψ_{suolo} o acqua contenuta nel suolo, poichè la taratura sembra essere univoca per ogni singolo sensore (Intrigliolo e Castel, 2004; Leib *et al.*, 2003). Nonostante tutte queste limitazioni, il Watermark può essere utile quando è necessaria un'indicazione relativa all'umidità del suolo, come indicato dalle relazioni sul successo del suo uso per la pianificazione dell'irrigazione per alcune colture erbacee (Shock *et al.*, 1998) e legnose (Intrigliolo e Castel, 2004).

Ci sono molti metodi per misurare l'umidità del suolo, ma la maggior parte di essi forniscono solo una singola misurazione in un determinato spazio e tempo, il che rende difficile registrare frequenti misurazioni. Attualmente, numerosi metodi sono considerati idonei per il monitoraggio continuo dell'umidità del suolo con disturbi minimi del suolo stesso. Tali metodi sono basati sulla frequenza riflettometrica di campo e vengono utilizzate non solo per la ricerca, ma anche per scopi commerciali (Vera *et al.*, 2009). Le informazioni fornite da tali sensori sono utili per valutare le

dinamiche di assorbimento d'acqua nel terreno da parte delle piante in tempo reale, il che non era possibile in precedenza con altri dispositivi (Vera *et al.*, 2009).

In tempi recenti, misurare il contenuto di acqua del suolo è divenuto un compito meno noioso che in precedenza dato che nuovi metodi comprendono l'acquisizione automatica dei dati (Evet *et al.*, 2002). Diversi sensori disponibili in commercio basati su capacitanza, impedenza e trasmissione sono in grado di effettuare misure costanti e in tempo reale, che semplificano il processo decisionale per una precisa pianificazione dell'irrigazione (Starr e Paltineanu, 2002). Numerosi studi hanno descritto l'applicazione di tecniche per creare calendari di irrigazione basate da sensori di capacitanza di profondità che forniscono dati sul contenuto di acqua del suolo a diverse profondità e le dinamiche presenti nella zona esplorata dalle radici (Vera *et al.*, 2009). Esperimenti sulle dinamiche dell'acqua nel suolo sono stati effettuati mediante il monitoraggio continuo del contenuto di acqua nel suolo usando sensori di EnviroSCAN i quali possono offrire informazioni utili per la gestione della pratica irrigua. Le misurazioni del contenuto di acqua nel suolo con questi metodi dipende dal grado di umidità, temperatura, salinità, permittività del suolo, e divario tra l'aria il suolo e il sensore, ecc. e superare i limiti dei metodi delle sonde gravimetriche e a neutroni.

C'è stata un'ampia ricerca che ha messo a confronto le diverse tecnologie utilizzate per la misura del contenuto d'acqua del suolo (Evet *et al.*, 2002). Non c'è, tuttavia, un metodo che venga preferito sugli altri, dato che ognuno ha i suoi vantaggi e svantaggi a seconda delle informazioni desiderate e delle applicazioni. Recentemente, diversi ricercatori (Starr e Paltineanu, 2002; Vera *et al.*, 2009) hanno utilizzato metodi con sonde di capacitanza come valida alternativa alle sonde di neutroni e altre metodi di monitoraggio dell'umidità del suolo più convenzionali.

L'EnviroSCAN con sonde di capacitance a multisensori (MCP) e, sistema di monitoraggio dell'umidità del suolo sono stati ampiamente utilizzati come strumento di gestione dell'irrigazione dal 1991 (Buss, 1993) e più recentemente in diverse indagini sull'umidità del suolo su vaste aree (Starr e Paltineanu, 2002).

Tra i metodi indiretti la Riflettometria nel Dominio del Tempo (TDR) e nella frequenza (FDR) rappresentano le tecnologie più accreditate, vista la loro applicabilità nella misura in continuo dei contenuti idrici del suolo.

Con la tecnica TDR un segnale elettromagnetico viene inviato da un generatore di impulsi elettrici ad una sonda interrata costituita, nella configurazione più usuale, da due o più conduttori metallici paralleli. La velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica, v , è legata alle proprietà dielettriche del suolo.

Le misure basate su volumi di suolo sono limitate a causa delle difficoltà e spese di rappresentare con precisione le condizioni eterogenee trovate nella zona principale (Campbell e Campbell, 1982)..

Proprio a causa di queste difficoltà, per una corretta programmazione dell'irrigazione spesso si preferisce affiancare ai dati dell'umidità del suolo, anche i dati dello stato idrico delle piante.

5.3.4. *Indice di stress delle piante*

Misure indirette dello stress idrico nelle piante sono spesso basate sulla temperatura della foglia, che è inversamente correlata con la traspirazione e l'apertura stomatica (Fuchs, 1990). La temperatura della chioma è un dato indicativo dello stato idrico negli impianti ed è influenzata dal bilancio energetico della chioma che è composto da numerosi fattori quali l'evaporazione, flusso radiativo, temperatura dell'aria, velocità del vento. Senza sufficienti informazioni su questi fattori, la misura della temperatura della foglia da sola non è sufficiente per consentire stime del tasso di traspirazione o di conduttanza stomatica.

Dal 1970 e il 1980, in particolare, c'è stato molto impegno per lo sviluppo di indici termici per lo studio di stress idrici delle colture che potrebbero essere utilizzati per scopi quali la programmazione irrigua (Idso, 1982; Idso *et al.*, 1981). Queste sono basate sulla misura della temperatura della chioma con termometri a infrarossi. Pertanto, il rilevamento all'infrarosso della temperatura della chioma può essere utilizzato per monitorare la conduttanza stomatica o per stimare il tasso di traspirazione delle piante ed è un grande strumento per indicare il fabbisogno idrico, e quindi utile per la gestione delle colture. In qualsiasi condizione ambientale, la temperatura della foglia o della chioma sono direttamente correlate al tasso di evapotraspirazione dalla superficie della chioma (Jackson, 1982).

Il 'Crop Water Stress Index', **CWSI** (Idso *et al.*, 1981; Jackson, 1982) si basa sulla differenza tra la temperatura della chioma, solitamente misurata dalla termometria all'infrarosso (IRT), e quello di una soglia di stress idrico che si riferisce alla temperatura di una coltura ben irrigata. Nonostante i buoni risultati con l'approccio CWSI dalle regioni aride alle semi-aride, le limitazioni del suo uso come strumento di

routine derivano dalla sua elevata sensibilità a fattori climatici, come le radiazioni e la velocità del vento (Jackson *et al.*, 1988), che non sono incluse nel calcolo del CWSI, e dalla necessità di definire specifiche soglie di stress per diverse colture e per diverse zone agroclimatiche (Jackson *et al.*, 1988).

Al fine di superare le difficoltà, un CWSI normalizzato che usi superfici di riferimento asciutte e bagnate (T_{dry} e T_{wet} , rispettivamente), per esempio, sezioni bagnate o completamente traspirante della chioma, è stato proposto da Clawson *et al.*, (1989). Questo approccio è stato utilizzato da Jones (1999), e il successo ottenuto con l'utilizzo di piante di riferimento umide e secche è stato segnalato da Leinonen e Jones (2004). Jones *et al.*, (1997) hanno detto che la temperatura osservata nella foglia viene confrontata con la temperatura che le foglie stesse avrebbero raggiunto nelle condizioni di zero e massima traspirazione presso lo stesso ambiente. Hanno usato le superfici di riferimento umido e secco, localizzate nella chioma della vite, come soglie, e tutte le temperature comprese tra queste soglie, che si sono verificate nell'immagine termica, sono stati assunti a rappresentare la temperatura della chioma. La superficie asciutta rappresenta la situazione senza traspirazione e la superficie umida rappresenta il tasso massimo potenziale di traspirazione.

Il CWSI normalizzato che usa immagini termiche per misure di temperatura della chioma, combinato con le immagini del visibile e dell'infrarosso vicino e per esclusione di materiali non fogliari nelle stime di temperatura, e le superfici di riferimento umido e secco naturale o artificiale, sono stati sviluppati e utilizzati, e allo stesso tempo sono state affrontate le questioni relative alla loro uniformità e riproducibilità (Fuchs, 1990).

Recenti studi (Berni *et al.*, 2009) indicano che l'uso di equazioni teoriche di CWSI in base all'equazione del bilancio energetico (Jackson *et al.*, 1988) sono limitate dalla

necessità di stimare la radiazione netta e la resistenza aerodinamica, ma consentono il calcolo della conduttanza della chioma (Leinonen *et al.*, 2006). Questi studi convalidano una metodologia che mappa la distribuzione spaziale del CWSI e la conduttanza della chioma in un campo tramite immagine termica da alta risoluzione spaziale e le variabili termiche atmosferiche in situ. Questo approccio è particolarmente adatto per il monitoraggio di aree di medie dimensioni (dell'ordine di centinaia di ettari) che utilizzano aeromobili senza pilota in grado di effettuare frequenti sopralluoghi di breve durata in modo da individuare lo stress idrico e pianificare l'irrigazione.

Uno dei vantaggi del metodo del telerilevamento è che un'istantanea di entrambe le immagini termiche e RGB possono essere prese istantaneamente per fornire informazioni in merito simultanea gran parte del frutteto. Dalle considerazioni di bilancio energetico, si può dimostrare che la temperatura della foglia è inversamente correlata con il tasso di traspirazione (Fuchs, 1990).

I recenti progressi tecnologici in immagini termiche offrono la possibilità di acquisire informazioni sulla temperatura della superficie territoriale in alta risoluzione. Nonostante questi miglioramenti significativi nell'hardware e software, utilizzati nell'ottenimento di immagini termiche, vi è una mancanza di conoscenze riguardo il collegamento a distanza tra la temperatura misurata della chioma e il CWSI reale, ovvero misure effettuate a terra quali stress idrici delle colture, come la conduttanza fogliare e il potenziale idrico. Tuttavia, la conoscenza di questi rapporti è necessaria al fine di tradurre i dati di immagine termica in modo accurato in stime di stress idrico, che possono poi servire come strumenti di supporto decisionale per la programmazione dell'irrigazione. Pertanto, le immagini termiche forniscono un approccio ideale per la raccolta di un gran numero di dati di temperatura su singole

foglie, necessarie per i metodi basati sulle distribuzioni di frequenza della temperatura. La termografia permette anche di distinguere le foglie dallo sfondo. Se eseguita manualmente, tuttavia, l'elaborazione delle immagini può richiedere del tempo e un'interpretazione delle immagini può essere soggettiva.

5.4. Il problema idrico nel mondo

5.4.1. Situazione attuale

Il clima mediterraneo è caratterizzato da estati secche e inverni freddi e umidi. Gli stress abiotici in combinazione con la variabilità del clima sono i fattori limitanti per la qualità e la resa della produzione agricola. Recenti previsioni stimano che le precipitazioni invernali nella regione mediterranea aumenteranno intorno al 2050, mentre la pioggia estiva diminuirà dal 10 al 15%. Inoltre, il settore agricolo deve anche sopportare un aumento del costo dell'acqua causata dalla crescita della domanda, dei costi energetici e della distribuzione (Lavini *et al.*, 2008). In alcuni paesi, l'acqua attualmente in uso in agricoltura viene considerata come una possibile fonte da parte del settore comunale per colmare le lacune causate dal fabbisogno di approvvigionamento urbano. Molti coltivatori sono tuttora alle prese con i tagli proposti dai distretti di acqua, e, a seconda delle condizioni atmosferiche, questi tagli potrebbero aumentare ulteriormente. Nel caso di una grave siccità, quando l'enfasi può essere sulla sopravvivenza delle piante piuttosto che sulla produzione, i coltivatori avranno bisogno di informazioni circa le opzioni disponibili, al fine di pianificare la loro strategia.

Dato che il principale problema nel mondo relativo all'acqua è la scarsità della stessa c'è una grande incertezza su come sarà l'approvvigionamento idrico per le generazioni future. Ciononostante, l'agricoltura irrigua è ancora praticata in molte zone del mondo, con un totale disprezzo per i principi di base della conservazione delle risorse e sostenibilità. Pertanto, la gestione delle acque di irrigazione in un'epoca di scarsità d'acqua dovrà essere eseguita nel modo più efficiente, al fine di risparmiare l'acqua e di massimizzare la produttività. L'irrigazione è applicata al fine di evitare

disavanzi di acqua che riducono la produzione. Questa situazione generale rende cruciale lo studio di modelli di pianificazione dell'irrigazione che consentono di evitare le perdite di acqua e migliorarne l'uso. Il processo di utilizzo dell'acqua da parte delle colture ha due componenti principali: uno causato dalle perdite di acqua dal suolo per evaporazione e dalle colture per traspirazione, chiamato evapotraspirazione (ET), e l'altra che comprende tutte le perdite derivanti dalla distribuzione di acqua nel terreno (Fereres e Soriano, 2007).

Dati gli elevati costi dell'irrigazione, fino ad ora la strategia più utilizzata è stata quella di fornire acqua sufficiente in modo che i raccolti traspirassero al loro massimo, e che la richiesta evapotraspirativa ET venisse soddisfatta pienamente lungo tutta la stagione. Questo approccio è sempre più complesso specialmente in regioni dove l'acqua è scarsa. Così, un cambiamento strategico nella gestione dell'irrigazione è in atto, che limita l'acqua disponibile per l'irrigazione (Fereres e Soriano, 2007). In tali situazioni, gli agricoltori ricevono spesso assegnazioni di acqua inferiori al fabbisogno massimo di ET. Ridurre ET senza una perdita di produzione agricola è molto difficile, perché l'evaporazione dalla chioma è strettamente collegata con l'assimilazione del carbonio (Steduto *et al.*, 2006).

5.5. Strategie di deficit irriguo

La distribuzione di acqua inferiore ad una richiesta di ET è chiamata **deficit idrico (DI)** ed è una strategia di ottimizzazione in base alle quali le colture vengono deliberatamente mantenute con un certo grado di deficit idrico e riduzione della produzione. È chiamato in diversi modi (irrigazione parziale, deficit idrico controllato, e irrigazione limitata). Le strategie di deficit irriguo (DI) sono ampiamente utilizzate in agricoltura. Oltre a rendersi necessario in molti casi, a causa della mancanza di acqua per irrigazione, il DI può essere adeguato per una migliore gestione delle colture in alcuni frutteti, ad esempio, in frutteti ad alta densità, per il controllo vigore della pianta, o quando le piante sono coltivate per la produzione di olio di alta qualità. L'obiettivo fondamentale del deficit idrico è quello di aumentare l'efficienza dell'uso dell'acqua, sia riducendo che eliminando le irrigazioni meno produttive. Invece di lavorare per ridurre al minimo il deficit idrico delle colture, il manager dell'irrigazione deve decidere quale livello di deficit raggiungere e riconoscere quando tale livello è stato raggiunto. Per quantificare il livello di DI, è necessario definire la piena domanda evapotraspirativa della coltura. Da quando Penman (1948) ha sviluppato una formula per il calcolo dell'ET, la ricerca sui fabbisogni idrici delle colture ha visto diversi progressi. Per la corretta applicazione di ogni strategia di DI è necessario un indicatore sensibile dello stress idrico, in grado di funzionare in condizioni di campo. Tra questi, quelli che si basano su indicatori di stress idrico della pianta sono probabilmente quelli che hanno le maggiori potenzialità: misure del contenuto di acqua nel tronco, temperatura della chioma, flusso di linfa (SF) e le variazioni di diametro del tronco (SDV) (Fernández *et al.*, 1997).

Anche se le piante di olivo sono resistenti alla siccità, è ben noto che l'irrigazione rappresenta un aspetto molto importante per la qualità e la quantità del prodotto (Nanos *et al.*, 2002).

Da prove condotte da al Motilva *et al.*, (2000) è emerso che nell'olivo, il deficit idrico conduce ad un aumento della concentrazione di polifenoli. Gli stessi autori hanno visto che la resa in olio è aumentata, probabilmente come conseguenza dell'inferiore contenuto d'acqua nel frutto.

La tendenza attuale nell'irrigazione di piante di olivo è di sviluppare sistemi diversi (DI) per cui l'acqua viene applicata ad un tasso inferiore alle esigenze di evapotraspirazione con piccole riduzioni di produzione (Tognetti *et al.*, 2005).

Di seguito si elencano le principali strategie di deficit idrico adottate:

Deficit irriguo sostenuto (sustained deficit irrigation SDI)

Applica una frazione fissa del tasso di evapotraspirazione per tutta la stagione irrigua.

Deficit irriguo regolato (regulated deficit irrigation RDI)

Si impone un periodo di stress idrico che è controllato in termini di intensità. Il concetto di deficit idrico regolato (RDI) è stato proposto da Chalmers *et al.*, (1981) per il controllo della crescita vegetativa in pescheti, e hanno trovato che il risparmio di acqua di irrigazione può essere realizzata senza ridurre la resa. Anche se risultati simili sono stati riportati, per le pere (Mitchell *et al.*, 1989), è stato visto che l'RDI non ha avuto successo in altri ambienti (Girona *et al.*, 1993). Tuttavia, gli esperimenti con RDI hanno avuto successo in molte specie da frutto come il mandorlo (Goldhamer e Salinas, 2000), pistacchio (Goldhamer e Beede, 2004), agrumi, melo (Ebel *et al.*, 1995), albicocco (Ruiz-Sanchez *et al.*, 2000), uva da vino (Bravdo e Naor,

1996;.. McCarthy et al, 2002), e olivo (Moriani *et al.*, 2003), quasi sempre con risultati positivi. Chalmers (et al., 1981) ha affermato che il deficit irriguo regolato (RDI) è basato sulla riduzione dell'irrigazione durante certi periodi del ciclo annuale della pianta. Questi periodi riguardano momenti in cui i processi di crescita in atto sono meno sensibili allo stress idrico e quando gli effetti derivati dello stress idrico sono vantaggiosi per la resa, come nel caso di riduzione della forza nei frutteti ad alta densità. Se RDI è adeguatamente gestito, non vi è alcuna riduzione delle dimensioni del frutto o della resa (Tatura, 2000).

Bassa frequenza (low frequency DI)

È quando il terreno viene lasciato a secco fino a quando l'acqua prontamente disponibile viene consumata, quindi il terreno viene irrigato e portato alla capacità di campo e lasciato asciugare di nuovo. Il successo di questa tecnica dipende dalla capacità idrica del suolo, che deve essere caratterizzato prima che qualsiasi strategia irrigua venga applicata.

Parziale asciugatura della zona esplorata dalle radici (partial rootzone drying PRD)

Questo è una tecnica relativamente nuova- primo articolo sul PRD è stata quella di Dry et al., (1996). L'obiettivo è di irrigare con quantità simili di irrigazione del RDI, ma raggiungere un maggiore rendimento delle colture. Questo è possibile irrigando metà della zona esplorata dalle radici mentre l'altra metà è tenuta in asciutto, alternando l'irrigazione da una metà all'altra ogni 2-3 settimane. In teoria, questo innesca un meccanismo radice gemma-radice che tramite segnalazioni induce la chiusura degli stomi e migliora l'efficienza dell'uso dell'acqua. D'altra parte, il sistema di irrigazione per il PRD è più costoso rispetto ad un tradizionale sistema di irrigazione localizzata,

in quanto sono necessarie due ali irriganti per fila di piante, e la gestione è più complicata. L'uso della tecnica PRD nei frutteti è certamente controversa: mentre piante coltivate in contenitori hanno mostrato differenze, spostandoci in scala commerciale, queste differenze non sono state osservate. Ciò può essere dovuto alla variabilità della distribuzione dell'acqua nella zona esplorata dalle radici in alberi da frutto adulti (Naor, 2006).

6. SCOPO DELLA TESI

Sulla base delle suddette premesse la presente tesi si propone di ampliare le conoscenze fondamentali sulla risposta vegeto-produttiva, sulla qualità dell'olio e su alcuni aspetti ecofisiologici in impianti superintensivi per fornire le necessarie indicazioni alla progettazione e conduzione di tali impianti nei differenti ambienti olivicoli siciliani.

Poiché il materiale genetico con il quale è stato testato il modello superintensivo spagnolo è del tutto estraneo all'olivicoltura italiana, la valutazione delle caratteristiche vegeto-produttive delle cultivar estere negli ambienti siciliani contribuisce in modo determinante, alla messa a punto e alla diffusione di nuovi modelli di allevamento, come risposta alla domanda di innovazione e di competitività nel settore (Camposeo e Giorgio, 2006). Si ritiene, quindi, che sia di rilevante importanza, ai fini della valorizzazione del patrimonio olivicolo nazionale, conoscere la plasticità di adattamento a nuovi modelli d'impianto di alcune tra le più importanti varietà siciliane. È, infine, ritenuto necessario individuare e sperimentare sistemi di controllo volti mantenere la pianta in equilibrio per un lungo periodo (Caruso *et al.*, 2006).

In dettaglio il presente lavoro è stato articolato in due esperimenti; di seguito vengono precisati gli obiettivi di ciascuno di essi.

Esperimento 1

Nello specifico, è stato valutato il comportamento agronomico delle cultivar spagnole Arbequina e Arbosana utilizzate negli impianti intensivi in relazione alle condizioni ambientali di un comprensorio olivicolo della Sicilia che dal punto di vista climatico,

orografico e pedologico é particolarmente adatto allo sviluppo degli impianti superintensivi. Si è inoltre ritenuto utile verificare la possibilità di adattamento della cultivar Biancolilla, tra le più deboli e produttive del patrimonio olivicolo siciliano, alle suddette tipologie d'impianto e modelli di gestione colturale.

Esperimento 2

Ricerche svolte in parallelo sull'irrigazione "in deficit" in impianti superintensivi hanno dimostrato che quantitativi di acqua pari a 1900 m³/ha (70% circa del fabbisogno irriguo stagionale stimato) sono risultati sufficienti a far raggiungere alle piante i più alti livelli di produzione di frutti e di olio (Campisi *et al.*, 2009). Nella maggior parte dei comprensori olivicoli siciliani la disponibilità di acqua è molto limitata e, di conseguenza, i costi per la gestione dell'irrigazione sono molto elevati; perciò, nell'ottica di massimizzare l'efficienza dell'irrigazione (cioè raggiungere la massima produttività con il minimo consumo d'acqua) si è ritenuto di cruciale importanza condurre degli esperimenti volti alla valutazione della risposta ecofisiologica e vegeto-produttiva della cultivar estera Arbequina sottoposta a due livelli di stress idrico: moderato e severo.

7. MATERIALI E METODI

7.1. Esperimento 1 - Rilievi sull'attività vegeto-produttiva di un uliveto superintensivo

Le osservazioni sono state condotte nel triennio 2008-2010 presso l'azienda agricola Gandolfo, ubicata in C.da Scacciaiazzo, nel territorio del comune di Marsala (TP). L'azienda è estesa 9 ettari di cui 5 destinati ad oliveti tradizionali; sui restanti 4 ettari, nel 2004 è stato realizzato un impianto superintensivo con le varietà spagnole Arbequina e Arbosana, la varietà greca Koroneiki e la varietà siciliana Biancolilla. Da un punto di vista pedologico l'oliveto insiste su "terre rosse mediterranee".

L'impianto, presenta una densità di circa 1.900 piante/ha (3,5x1,5 m) per quanto riguarda le varietà estere; la cultivar Biancolilla, più vigorosa delle precedenti è stata disposta alle distanze di 5 x 2,5 (800 piante/ha). L'impianto è stato costituito, utilizzando piante autoradicate delle cultivar Arbequina, Arbosana, e Koroneiki epiantate innestate su semenzali di Biancolilla.

Le osservazioni sono state effettuate su tre gruppi di 5 piante per cultivar scelte in rapporto all'omogeneità del diametro del tronco, del volume della chioma e dell'altezza della pianta.

Subito dopo la raccolta, al termine della stagione vegetativa, è stato misurato, per ciascuna pianta in osservazione, il diametro del tronco, ad un'altezza di circa 15 cm sopra il colletto, per calcolare l'area della sezione del tronco.

Al fine di valutare la dinamica della crescita vegetativa, su quattro rami per pianta, due dei quali inseriti su brachette articolate sulla parete esposta a Est e due inseriti su brachette della parete esposta a Ovest, a partire dagli inizi del mese di aprile, con

cadenza trimestrale, è stata valutata la lunghezza dell'asse vegetativo emesso dalla gemma apicale di rami di un anno.

Nel momento in cui gran parte delle infiorescenze ha raggiunto lo stadio fenologico di “mignola bianca”, che precede di un paio di giorni la fioritura sono state prelevate, da ciascuna di due piante per blocco, 20 mignole sulle quali sono stati rilevati il numero medio di fiori e la percentuale di fiori con ovario abortito. Nel 2009, a partire dall'inizio della fase di allegagione della drupa, con cadenza quindicinale, fino alla raccolta, su quattro rami per pianta è stato calcolato il numero complessivo di frutti per stimare l'entità della cascola fisiologica delle drupe. Circa due settimana prima della data di raccolta e alla raccolta, su campioni di 100 frutti per pianta, è stato determinato il grado medio di maturazione, facendo riferimento all'indice di Jaén.

Il valore del suddetto indice, fatto registrare dalle drupe alle diverse date di rilievo è stato determinato suddividendo i frutti nelle seguenti classi di maturazione:

- olive con epicarpo di colore verde intenso (0);
- olive con epicarpo verde con tracce di arrossamento che coprono un quarto della superficie (inizio invaiatura) (1);
- olive con epicarpo rossiccio per più della metà della superficie (fine invaiatura) (2);
- olive con epicarpo nero (3).

L'indice è stato calcolato come media ponderata delle olive che ricadevano nelle diverse classi di maturazione.

Alla raccolta, su un campione di 10 frutti per pianta, sono state effettuate le misure del diametro equatoriale, longitudinale e trasversale della drupa. Con una bilancia

elettronica di precisione, è stato inoltre rilevato il peso di ciascuna drupa e quello del corrispondente nocciolo per calcolare il rapporto polpa/nocciolo.

Nel 2008 per la raccolta meccanica sono state utilizzate due diverse macchine scavallatrici: la Braud (mod. VL660), per la raccolta dei frutti di Biancolilla e di Arbequina; la Pellenc (mod. 3300) per quelli di Arbosana e di Arbequina. Sulla vendemmiatrice Braud si è proceduto, ad aumentare il numero di battitori, da 5 a 7 per lato. Nessuna modifica è stata apportata nella vendemmiatrice Pellenc. Nel 2009 la raccolta meccanica dei frutti è stata fatta utilizzando la Gregoire (mod. 107) modificata nel numero di battitori, elevati a 13 per lato. Nel 2010 è stata nuovamente utilizzata una Pellenc, mod. 3400 Smart. Per valutare l'efficienza della raccolta meccanica, sono state selezionate 30 piante omogenee per dimensioni del tronco, volume della chioma, altezza della pianta e carico produttivo. Su tali piante, suddivise in tre gruppi da 10 alberi, si è proceduto alla raccolta meccanica dei frutti che sono stati successivamente pesati; quelli rimasti sulla pianta dopo il passaggio della macchina sono stati raccolti a mano e quindi pesati. Per determinare la quantità di olive non intercettate dalle scaglie della macchina, sono state pesate le olive cadute sulle reti posizionate preventivamente sotto le piante.

È stato così possibile valutare l'efficienza della raccolta meccanica come rapporto tra quantità di olive raccolte dalla macchina e la produzione complessiva della pianta. Infine dalla massa di olive raccolte da ogni singola macchina, è stato prelevato un campione di 100 drupe sul quale è stato valutato il numero di olive riportanti danni attribuibili alla raccolta meccanica.

Sempre nelle medesime piante, sono stati contati il numero di rami presenti e il numero di rami rotti a seguito del passaggio della macchina.

Le olive raccolte da ciascun blocco di 10 piante sono state molite separatamente, entro le 12 ore, presso un frantoio aziendale a ciclo continuo a tre fasi (mod. FR25-4V81-V2-V2700). Da ciascuna partita di frutti sono stati prelevati due campioni di oli da 500 ml, conservati in bottiglia di vetro scuro a temperatura ambiente. I campioni di olio ottenuti sono stati analizzati presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agro-Forestali (Sezione Industrie), seguendo il protocollo previsto dal Reg. CE 2568/91 (acidità libera, numero di perossidi, spettrofotometrica nell'ultravioletto, composizione, clorofilla e carotenoidi).

7.2. Esperimento 2 - Risposta ecofisiologica e vegeto-produttiva della cultivar Arbequina sottoposta a due livelli di stress idrico differenti in un uliveto superintensivo.

Ricerche svolte in parallelo sull'irrigazione "in deficit" presso la medesima azienda hanno dimostrato che quantitativi di acqua pari a 1900 m³/ha (70% circa del fabbisogno irriguo stagionale stimato) sono risultati sufficienti a far raggiungere alle piante i più alti livelli di produzione di frutti e di olio (Campisi *et al.*, 2009).

Sono state, perciò, condotte prove per valutare gli effetti di due differenti regimi idrici, con apporti pari a circa il 65% (stress idrico moderato) e al 45% (stress idrico severo) della richiesta irrigua (IR) valutata nel 2010 (pari a 1800 m³/ha), sulla crescita vegetativa, la fruttificazione ed alcuni aspetti ecofisiologici della cultivar Arbequina.

La richiesta irrigua (IR) è stata calcolata seguendo la procedura suggerita nel quaderno FAO num. 56 (Allen *et al.*, 1998) con l'ausilio del software CropWat 8.0 (Land and Water Development Division of FAO). A tal fine sono stati utilizzati i

valori di ET_0 (evapotraspirazione di riferimento), di temperatura massima e minima e di piovosità, forniti dal Servizio Informativo Agrometeorologico della Sicilia (SIAS), stazione di Marsala (TP).

Il calendario di irrigazione ha previsto dal 30 giugno al 4 settembre interventi irrigui a cadenza settimanale. Le quantità di acqua somministrata, cumulata per entrambi i trattamenti, è riportata nella figura 7.

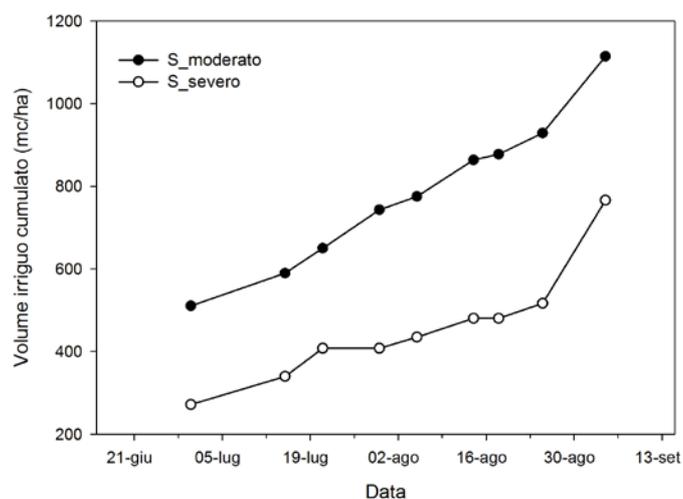


Figura 7 – Quantitativi di acqua somministrati nell’arco della stagione irrigua del 2010.

Ciascun trattamento è stato praticato su 15 piante, suddivise in tre blocchi di 5 alberi. Le piante sottoposte al trattamento definito di stress moderato (S_{moderato}) hanno ricevuto, nell’arco della stagione, complessivamente $1114 \text{ m}^3/\text{ha}$ mentre a quelle cui è stato applicato il trattamento indicato come stress idrico severo (S_{severo}) sono invece stati somministrati $766 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Mediante una camera di Scholander (Scholander *et al.*, 1965) è stato effettuato il monitoraggio del potenziale idrico del fusto (stem water potential); le relative osservazioni sono state effettuate in giornate caratterizzate da condizioni meteorologiche stabili e cielo terso, dalle ore 12:00 alle ore 13:00. I rilievi sono stati

eseguiti operando su tre foglie, di altrettante piante, mature ed esposte al sole, articolate nella parte mediana della chioma. Ciascuna foglia, prima di essere prelevata, è stata avvolta con una pellicola trasparente e un film di alluminio, allo scopo di impedirne la traspirazione e quindi porle in condizioni di equilibrio con lo xilema. In tale condizione, dopo circa 90 minuti, il potenziale idrico della foglia si mantiene in equilibrio con quello del fusto della pianta.

Le misurazioni sono state realizzate eseguendo un taglio netto, mediante l'ausilio di un bisturi, alla base del picciolo fogliare e ponendo la foglia all'interno della camera di pressione entro la quale era immediatamente immesso azoto in pressione, fino a determinare la fuoriuscita di linfa dalla superficie di taglio del picciolo; a quel punto veniva eseguita la lettura della pressione sul manometro: la pressione registrata all'interno della camera è infatti uguale ma di segno opposto al potenziale dell'acqua della pianta.

Per entrambi i trattamenti, da aprile a settembre, su quattro rami per pianta, due dei quali inseriti su rami articolati sulla parete esposta a Est e due inseriti su rami della parete esposta a Ovest, con cadenza quindicinale, è stata valutata la lunghezza del germoglio emesso dalla gemma apicale di rami di un anno.

Durante la stagione vegetativa, nell'ultima decade di agosto, in giorni con cielo sereno, è stato rilevato, mediante barre solarimetriche, l'andamento giornaliero della radiazione fotosinteticamente attiva (PPFD) intercettata all'interno e lungo il profilo della chioma di tre piante per entrambe le tesi (S_severo e S_moderato). Tali misurazioni sono state eseguite posizionando, tra due piante attigue poste lungo la fila, a 90 e 180 cm dal suolo, due barre solarimetriche disposte in croce lungo le direzioni N-S (lunghezza 1 metro) e E-O (lunghezza 2 metri) (figura 8a).

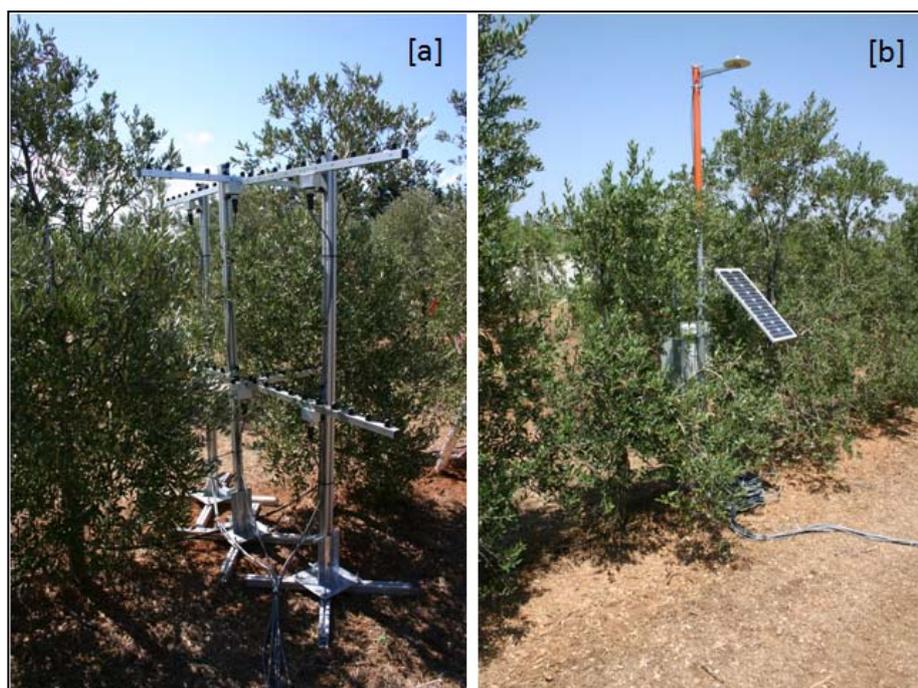


Figura 8 – Barre solarimetriche utilizzate per il rilievo dell’andamento giornaliero del PPF_D intercettato all’interno e lungo il profilo della chioma [a]. Sensore di riferimento posto al di sopra della chioma [b] (2010).

Ciascuna barra era munita di 10 sensori Li-190 Quantum (Li-Cor Biosciences – Nebraska, USA) ad intervalli di 10 cm. Un sensore è stato posizionato al di sopra della chioma, in piena luce, come riferimento per la determinazione della radiazione solare e del flusso fotonico fotosinteticamente attivo (PPFD) (figura 8b). Tutti i dati rilevati dai sensori sono stati mediati ogni ora e registrati ininterrottamente tramite un datalogger CR1000 (Campbell Scientific Inc. –Utah, USA)

Le olive raccolte dalle piante sottoposte a ciascun trattamento sono state molite separatamente, entro le 12 ore, presso un frantoio aziendale a ciclo continuo a tre fasi (mod. FR25-4V81-V2-V2700). Da ciascuna partita di frutti sono stati prelevati due campioni di oli da 500 ml, conservati in bottiglia di vetro scuro a temperatura ambiente. I campioni di olio ottenuti sono stati analizzati presso il laboratorio del

Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agro-Forestali (Sezione Industrie), seguendo il protocollo previsto dal Reg. CE 2568/91 (acidità libera, numero di perossidi, spettrofotometrica nell'ultravioletto, composizione, K232 e K270).

7.3. Elaborazione dati

Tutti i dati raccolti sono stati caricati su supporto elettronico per essere sottoposti ad analisi della varianza e le medie separate mediante test di Tukey per i livelli di significatività $P \leq 0,05$.

8. RISULTATI E DISCUSSIONE

8.1. Esperimento 1 - Rilievi sull'attività vegeto-produttiva di un uliveto superintensivo

Nel 2008 su piante alla quarta foglia la produzione media per pianta è risultata pari a 2,3 kg nella cultivar Arbosana, 2,7 kg in Arbequina e 3,5 kg in Biancolilla (figura 9). Nel 2009 la produzione delle piante di Arbequina (5,15 kg/pianta) e Arbosana (5,5 Kg/pianta) è stata quasi doppia rispetto all'anno precedente, mentre nella Biancolilla è stato registrata una sensibile diminuzione (2 kg/pianta). Nel 2010 si è assistito ad un ulteriore incremento delle produzioni nelle piante di Arbequina (7 kg/pianta) e di Arbosana (7,35 kg/pianta) mentre non hanno mostrato alcuna variazione quelle di Biancolilla la cui produzione è stata di circa 2,1 kg per pianta (figura 9). Le produzioni unitarie, ottenute rapportando la produzione media/pianta al numero di piante/ettaro, nei tre anni di osservazioni non hanno fatto emergere alcuna differenza degna di rilievo tra Arbequina e Arbosana mentre sono risultate significativamente inferiori nella Biancolilla (figura 9).

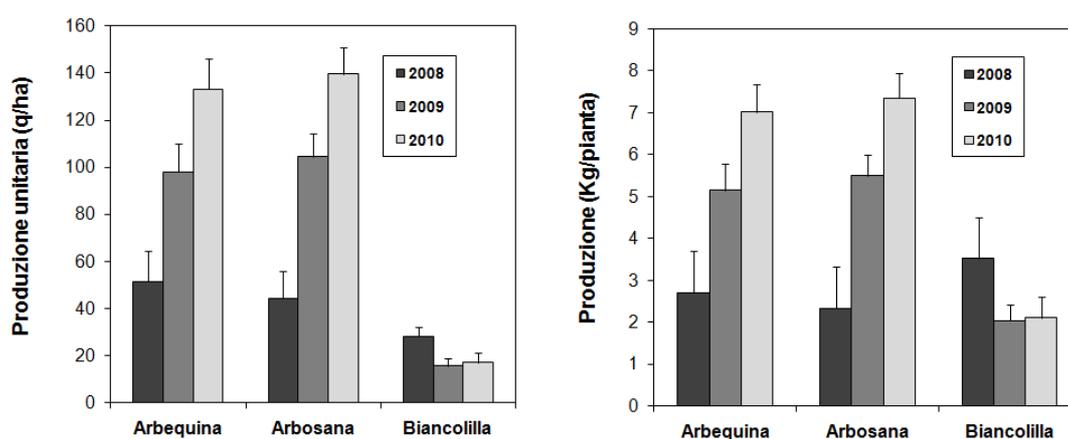


Figura 9 - Produzione pianta (kg) e unitaria (q/ha) delle tre cultivar in studio nei tre anni di osservazioni (2008/2010).

In dettaglio nel 2008 le produzioni sono risultate statisticamente identiche nelle cultivar Arbequina (51 q.li/ha) e Arbosana (44 q.li/ha); produzioni significativamente inferiori sono invece state riscontrate per la Biancolilla (28 q.li/ha). Anche nel 2009 e nel 2010 la Biancolilla ha mostrato una minore produzione unitaria (16 q.li/ha) rispetto alle altre due cultivar in osservazione. In particolare l'Arbequina ha prodotto 98 e 133 q.li/ha rispettivamente nel 2009 e nel 2010 mentre l'Arbosana 104 e 140 q.li/ha nei due suddetti anni rispettivamente (figura 9).

Riguardo alla vigoria delle piante (figura 10), valutata attraverso l'area della sezione del tronco (AST), differenze statisticamente significative sono state registrate nelle piante di Biancolilla con valori di AST superiori del 60% rispetto alle cultivar spagnole ed un incremento dell'area della sezione del tronco quasi doppio rispetto a quello registrato in Arbequina e Arbosana.

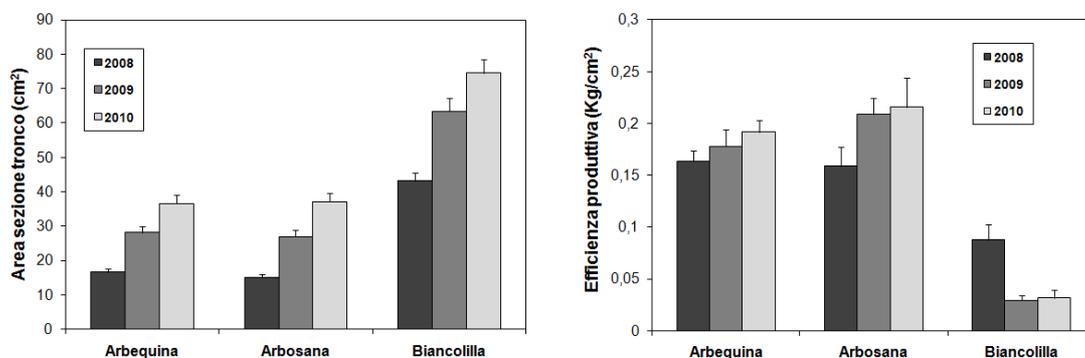


Figura 10 - Area della sezione del tronco (cm²) ed efficienza produttiva (kg/cm²) delle piante delle tre cultivar in studio nei tre anni di osservazioni. (2008/2010).

Relativamente al parametro efficienza produttiva (figura 10) non sono state evidenziate differenze significative tra le cultivar Arbequina e Arbosana (0,18 kg/cm²), mentre una minore efficienza produttiva è stata registrata nelle piante di Biancolilla (approssimativamente 0,03 kg/cm²). Nel complesso si rileva come tale

parametro abbia mostrato un trend positivo per le cultivar spagnole e negativo per la Biancolilla.

La cascola dei frutti (figura 11) è risultata più intensa nel periodo compreso tra la seconda metà di giugno e la fine di luglio per poi attenuarsi durante il mese di agosto. Una leggera ripresa della cascola è stata registrata, soprattutto nelle cultivar Arbequina e Biancolilla, nel mese di settembre, con l'approssimarsi della fase di invaiatura dei frutti. Alla raccolta la percentuale di frutti cascolati è stata del 10% nell'Arbequina, del 7,5% nell'Arbosana e del 7% nella Biancolilla.

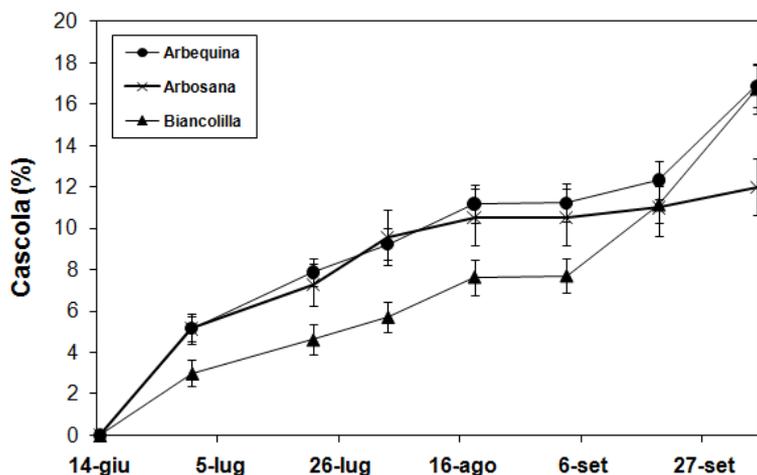


Figura 11 - Andamento della cascola fisiologica (%) delle drupe rilevata in piante delle cultivar in studio nel 2008.

Il numero medio di fiori per mignola (tabella 1) è risultato nella cultivar Arbosana pari a 21; 16 in Arbquina e 8 in Biancolilla. In tutte e tre le cultivar la percentuale di fiori con aborto dell'ovario è risultata pressoché simile oscillando da un minimo di 8,8 nella cultivar Biancolilla ad un massimo di 10,8 in Arbequina.

Tabella 1 - Aspetti di biologia fiorale (2008).

Cultivar	N° medio fiori/mignola	Aborto dell'ovario
Arbequina	16 ($\pm 0,36$)	10,8% ($\pm 1,0$)
Arbosana	21 ($\pm 0,47$)	9,9% ($\pm 1,5$)
Biancolilla	8 ($\pm 0,22$)	8,8% ($\pm 1,1$)

In entrambi gli anni di osservazione la cultivar Biancolilla si è distinta per aver prodotto frutti di più grosse dimensioni, con un maggior rapporto polpa nocciolo ed un peso medio che è risultato più del doppio rispetto alle cultivar spagnole (tabella 2).

Tabella 2 - Peso medio delle drupe.

Cultivar	2008	2009
Arbequina	1,83 ($\pm 0,07$)	1,68 ($\pm 0,43$)
Arbosana	1,85 ($\pm 0,07$)	1,42 ($\pm 0,32$)
Biancolilla	4,74 ($\pm 0,06$)	5,33 ($\pm 1,18$)

I migliori risultati, in termini di efficienza meccanica, sono stati conseguiti dalle scavallatrice Pellenc e Gregoire nelle cultivar Arbequina ed Arbosana con valori di efficienza sempre superiori al 90% (tabella 3). In entrambe le cultivar il maggior valore di efficienza alla raccolta è stato ottenuto con la scavallatrice Pellenc che ha fatto registrare valori compresi tra 94 e 98% (tabella 3)

Tabella 3 - Efficienza meccanica, efficienza alla raccolta, % di olive danneggiate e percentuale di rami rotti per le tre differenti cultivar in relazione alla macchina utilizzata per la raccolta meccanica.

Macchina	Cultivar	Efficienza meccanica (%)	Efficienza alla raccolta (%)	Olive danneggiate (%)	Rami rotti (%)
Braud (2008)	Arbequina	86,62	81,15	3,5	0,58
	Biancolilla	94,39	90,98	2,7	2,34
Pellenc (2009)	Arbequina	99,34	96,61	1,5	0,47
	Arbosana	97,30	94,72	3,1	2,46
Gregoire (2009)	Arbequina	98,44	91,42	0,8	2,74
	Arbosana	97,00	90,56	0,2	0,44
Pellenc (2010)	Arbequina	100,00	98,28		1,79
	Arbosana	99,32	97,96		2,33

Per quanto riguarda la cultivar Biancolilla, il gran numero di rami rotti manifestatosi già alla raccolta delle prime piante ha indotto a ritenere non applicabile la raccolta con macchine scavallatrici. Di lieve entità sono risultati i danni provocati alle olive dai differenti cantieri di raccolta saggiati. I minori quantitativi di olive danneggiate sono stati rinvenuti nel campione di frutti di Arbosana raccolto con la scavallatrice Gregoire (0,2%); più danneggiate sono risultate le drupe di Arbequina raccolte con la macchina Braud (3,5%). La scavallatrice che ha determinato il minor numero di rami rotti nelle piante della cultivar Arbosana è stata la Gregoire (0,44 %); la Pellenc (0,47%) per quanto concerne la cultivar Arbequina.

Per ciò che riguarda le caratteristiche qualitative degli oli ottenuti dalla molitura delle olive delle tre cultivar, i valori di acidità, numero di perossidi, K232, K270 e DK, sono risultati inferiori ai limiti stabiliti dal regolamento 2568/91 per la classe

merceologica extravergine di oliva (tabella 4). Gli oli di tutte e tre le cultivar hanno mostrato una composizione acidica molto simile tra loro. Particolarmente interessante è il dato relativo al contenuto in acido oleico risultato, negli oli di tutte e tre cultivar, superiore al 74%. Il contenuto in clorofilla e carotenoidi è invece risultato maggiore nella cultivar Biancolilla rispetto alle cultivar spagnole.

Tabella 4 - Risultati delle analisi chimico-fisiche degli oli ottenuti dalle tre cultivar sotto osservazione (2009).

Cultivar	Acidità (% acido oleico)		Perossidi (meq O ₂ attivo/kg)		Carotenoidi (ppm)		Clorofille					
	Arbequina	0,45		3,88		0,048		0,021				
Arbosana	0,49		3,48		0,027		0,013					
Biancolilla	0,56		4,09		0,033		0,015					
Analisi degli acidi grassi (C)												
Cultivar	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	22:0	Squalene
Arbequina	13,11	0,94	0,08	0,15	2,16	74,24	8,27	0,68	0,11	0,07	0,03	0,16
Arbosana	11,03	0,81	0,04	0,07	2,46	75,61	7,87	0,60	0,33	0,33	0,12	0,73
Biancolilla	12,30	1,12	0,10	0,21	0,78	74,51	8,55	0,82	0,40	0,27	0,10	0,84

8.2. Esperimento 2 - Risposta ecofisiologica e vegeto-produttiva della cultivar *Arbequina* sottoposta a due livelli di stress idrico differenti in un uliveto superintensivo.

Nella figura 12 sono riferite le temperature massime e minime giornaliere registrate nella stazione di Marsala da maggio a ottobre.

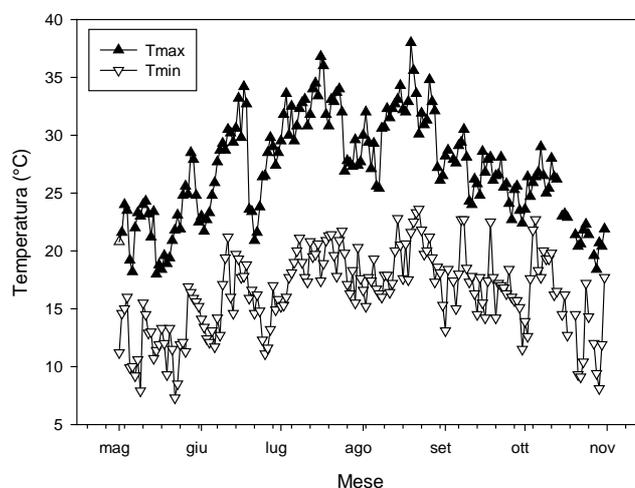


Figura 12 – Temperature massime e minime registrate nella stazione di Marsala da maggio a ottobre 2010.

I dati relativi alla precipitazioni totali giornaliere e all’evaporazione potenziale giornaliera mostrano come i mesi estivi del 2010 siano stati estremamente siccitosi (figura 13). Nessun evento piovoso di rilievo è stato, infatti, registrato da maggio a settembre. Le prime precipitazioni significative si sono verificate nell’ultima decade di settembre (78 mm complessivi) e nelle prime due settimane di ottobre (40 mm totali).

Da maggio a settembre la richiesta evapotraspirativa dell’ambiente (ETP) è stata costantemente superiore a 5 mm al giorno, per poi diminuire con il manifestarsi dei primi eventi piovosi.

I dati registrati nella stazione di Marsala hanno permesso di calcolare la richiesta irrigua (IR) che, secondo la metodologia FAO quaderno 56 (Allen *et al.*, 1998), è risultata pari a 180 mm.

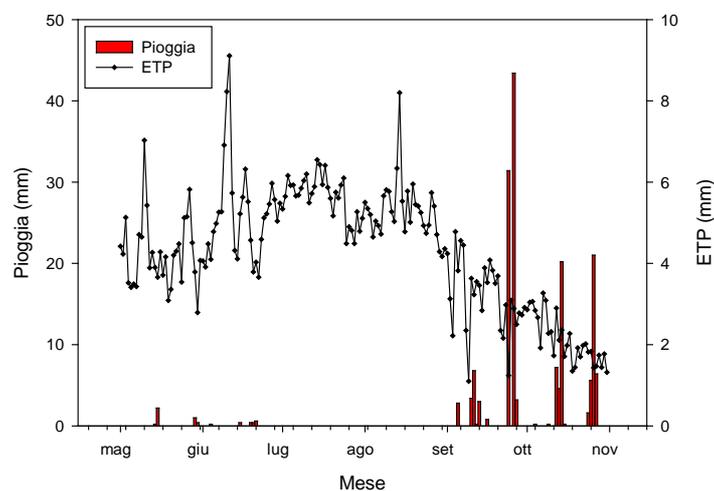


Figura 13 – Andamento delle precipitazioni totali giornaliere e dell'evapotraspirazione potenziale giornaliera (ETP) registrate nella stazione di Marsala da maggio a ottobre 2010.

La figura 14 riporta l'evoluzione della lunghezza del germoglio nella stagione vegetativa 2010 in piante della cultivar Arbequina sottoposte a due differenti livelli irrigui. La lunghezza dei germogli delle piante che hanno ricevuto una maggiore quantità di acqua (S_moderato) è risultata costantemente superiore rispetto al trattamento S_severo. Lo scarto tra i valori di accrescimento del germoglio nei due trattamenti, inizialmente ridotto (inferiore al 10%), è poi cresciuto progressivamente nell'arco della stagione irrigua fino a fare registrare differenze statisticamente significative. Le piante che hanno beneficiato di un volume irriguo più elevato (S_moderato) hanno, infatti, fatto rilevare a settembre un lunghezza media del germoglio pari a 18,8 cm, circa il 20% superiore a quella misurata sulle piante sottoposte ad uno stress idrico severo (S_severo).

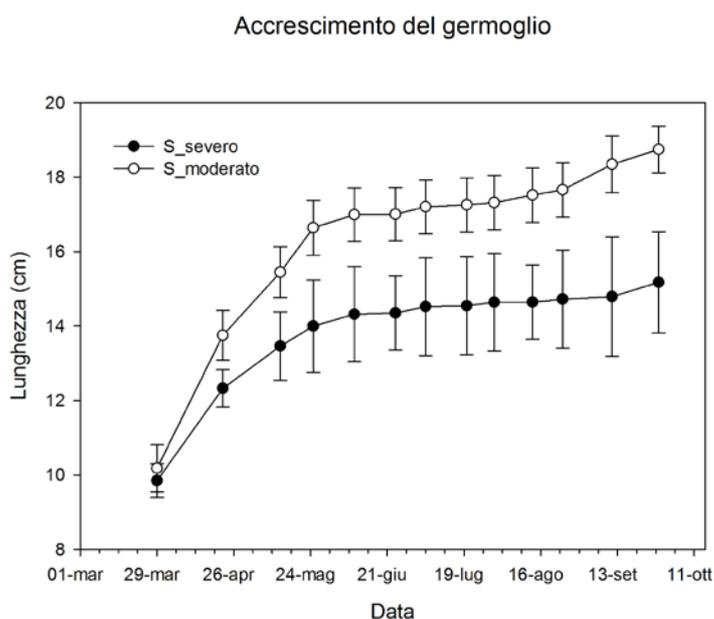


Figura 14 - Evoluzione della crescita del germoglio in piante della cultivar Arbequina sottoposte a due livelli idrici differenti (S_moderato e S_severo) nel 2010.

I dati relativi alla produzione per pianta e alla produzione unitaria (q.li/ha) sono riportati nella tabella 5. Nessuna differenza statisticamente significativa è stata registrata fra i due trattamenti irrigui (S_severo e S_moderato) in termini di produzione.

Tabella 5 - Produzione pianta (kg) e unitaria (q.li/ha) in piante della cultivar Arbequina sottoposte a due livelli idrici differenti (S_moderato e S_severo) nel 2010.

Trattamento	Prduzione pianta	Produzione unitaria
	(kg/pianta)	(q.li/ha)
S_moderato	2,4 ± 0,5	44,8 ± 10,1
S_severo	2,4 ± 0,7	45,6 ± 13,3

Nella figura 15 sono riportati i potenziali idrici del fusto (stem water potential) rilevati nell'arco della stagione irrigua per entrambi i trattamenti. I valori del parametro in questione non hanno fatto registrare differenze significative fra le tesi in studio fino

alla fine di luglio. Durante tutto il mese di agosto i potenziali del trattamento sottoposto a stress severo (S_severo) si sono mantenuti costantemente su valori significativamente inferiori (circa 20%) rispetto al trattamento S_moderato. In corrispondenza del rilievo del 15 agosto, entrambi i trattamenti hanno fatto registrare i valori più bassi pari, rispettivamente, a -4,2 MPa (S_severo) e -3,14 MPa (S_moderato). Le differenze fra le due tesi si sono di nuovo attenuate nell'ultima parte della stagione.

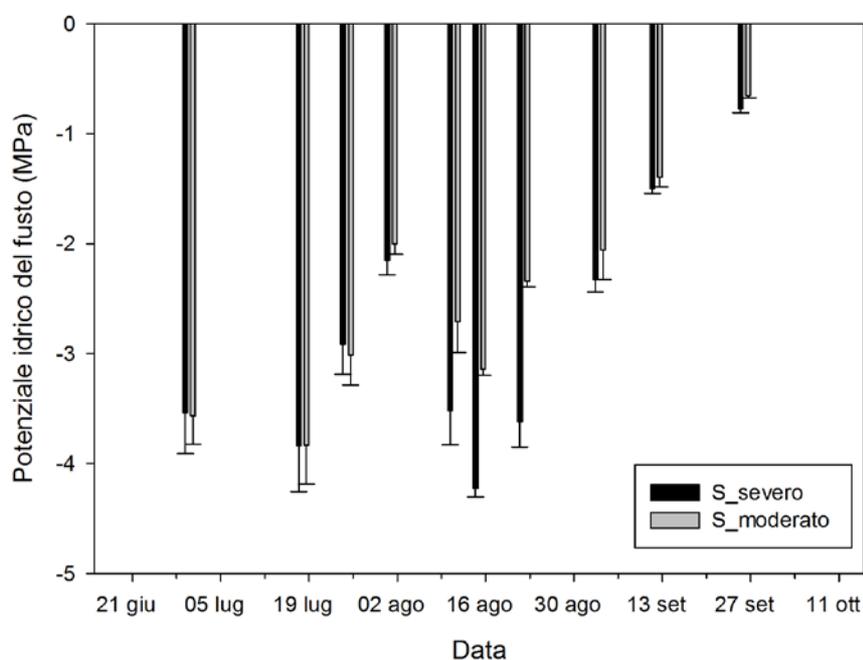


Figura 15 – Potenziali idrici del fusto in piante della cultivar Arbequina sottoposte a due livelli idrici differenti (S_moderato e S_severo) nel 2010.

La figura 16 riporta i profili di PPF_D intercettato all'interno e lungo la chioma di piante della cultivar Arbequina sottoposte ai due trattamenti irrigui; i valori sono espressi come percentuale della luce intercettata in pieno sole dal sensore di riferimento. Entrambi i trattamenti hanno fatto registrare una distribuzione della luce intercettata all'interno e lungo la chioma molto simile sia per quanto riguarda

l'orientamento Est-Ovest (perpendicolare all'asse del filare) sia lungo il filare, orientamento Nord-Sud (figura 16). Differenze apprezzabili, invece, sono state rilevate per quanto riguarda l'intensità del PPFd intercettato che, a parità di altezza lungo il profilo della chioma e di distanza dall'asse del filare, è risultato mediamente del 20% superiore nel trattamento S_moderato rispetto a S_severo.

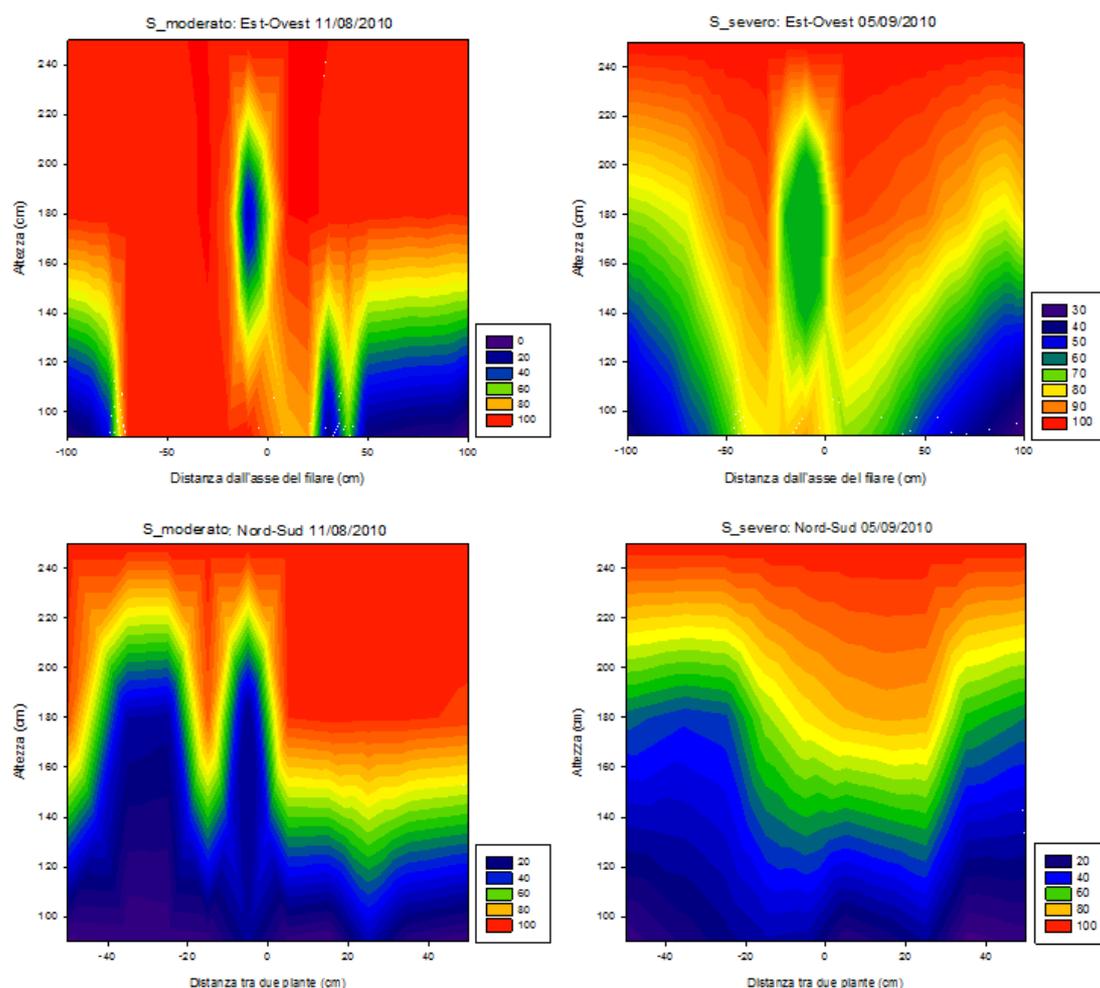


Figura 16 – PPFd mediamente intercettato alle ore 13:00 all'interno e lungo il profilo della chioma di piante della cultivar Arbequina sottoposte a due livelli di stress idrico (severo e moderato) (2010). I valori sono espressi come percentuale della luce intercettata in pieno sole dal sensore di riferimento.

Nella vegetazione esposta nella direttrice Est-Ovest, nelle piante di entrambi i trattamenti, la luce è stata prevalentemente intercettata lungo la parete dalla sommità

della pianta fino ad un'altezza della chioma compresa fra 140 e 160 cm; anche la porzioni inferiori della chioma hanno, tuttavia, captato discrete quantità di luce. Nella vegetazione esposta lungo l'asse di orientamento Nord-Sud, per tutti e due i livelli irrigui, il modello di intercettazione è risultato differente rispetto a quello Est-Ovest; la luce è stata, infatti, intercettata prevalentemente dalla fascia di vegetazione superiore (fino a 140 cm) e poco o nulla dalla fascia inferiore.

Per ciò che riguarda le caratteristiche qualitative degli oli ottenuti dalla molitura delle olive, i valori di acidità, numero di perossidi, K232 e K270, sono risultati inferiori ai limiti stabiliti dal regolamento 2568/91 per la classe merceologica extravergine di oliva (tabella 6). Gli oli di entrambe i trattamenti hanno mostrato una composizione acidica molto simile tra loro.

Tabella 6 - Risultati delle analisi chimico-fisiche degli oli ottenuti da piante di piante della cultivar Arbequina sottoposte a due livelli di stress idrico (severo e moderato) (2010).

Cultivar	Acidità (% acido oleico)		Perossidi (meq O ₂ attivo/kg)					K 232		K 270		
S_moderato	0,48		10,4					2,133		0,176		
S_severo	0,40		8,8					1,878		0,094		
Analisi degli acidi grassi (C)												
Cultivar	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	22:0	Squalene
S_moderato	13,1	1,4	0,2	0,3	2,4	68,1	12,8	0,8	0,5	0,3	0,1	0,23
S_severo	13,0	1,5	0,2	0,3	2,0	68,9	12,3	0,8	0,6	0,3	0,2	0,64

9. CONCLUSIONI

È molto difficile trarre conclusioni dai risultati ottenuti nell'ambito del lavoro di ricerca condotto e oggetto della presente tesi poiché, eccezione fatta per la Biancolilla, non si ha alcun riferimento relativo al comportamento bio-agronomico delle cultivar Arbequina ed Arbosana nel contesto olivicolo siciliano. Bisogna infatti fare riferimento a dati pubblicati in Spagna, Paese nel quale le due suddette cultivar hanno avuto origine e vengono coltivate e, per quanto concerne l'Italia, alle esperienze condotte in Puglia da Camposeo (2006) e da Godini (2006). Anche per quanto concerne gli impianti superintensivi, nonostante la diffusa presenza di tali tipologie d'impianto nella Penisola Iberica e nei nuovi Paesi olivicoli, non sempre sono stati resi pubblici i dati produttivi e qualitativi del prodotto. In sintesi, molto poco è oggi noto del connubio Arbequina-Arbosana/impianti superintensivi per cui l'unico termine di raffronto dei dati rilevati nel corso del presente lavoro è rappresentato dal prototipo degli impianti superintensivi, il campo sperimentale costituito in Catalogna negli anni '90 e che, attualmente è uno degli impianti superintensivi "più vecchi" (Tous *et al.*, 2008; Tous *et al.*, 2006).

Pur tenendo infatti conto delle non trascurabili differenze ambientali (evoluzione climatica stagionale) e colturali (densità d'impianto, concimazione, irrigazione) e limitando il raffronto alla cultivar Arbequina, per la quale si dispone di un maggiore numero di dati, emerge che al terzo e al quarto anno, almeno per quanto attiene agli aspetti vegetativi e produttivi, non vi sono sostanziali differenze.

A fronte infatti di una produzione/pianta di circa 6 kg rilevata sulle piante dell'impianto sperimentale di Reus, nell'impianto di Marsala, la produzione/pianta è stata, nel primo anno di osservazioni, mediamente di circa 2,7 kg, mentre, nelle

annate successive, il livello produttivo della cultivar spagnola è aumentato sensibilmente assestandosi sui valori riscontrati nell'impianto spagnolo (5 kg/pianta nel 2008 e 7 kg/pianta nel 2009).

Una sensibile differenza è invece riscontrabile nel contenuto in acido oleico che negli oli prodotti a Marsala ha raggiunto valori superiori al 75% decisamente più elevati di quelli comunemente ottenuti in Catalogna che in genere si attestano al 64 % (Rallo *et al.*, 2006).

Relativamente agli aspetti più strettamente biologici sembra opportuno evidenziare come l'elevato numero di fiori per mignola, associato alla bassa incidenza dell'aborto dell'ovario, riscontrati nell'Arbosana e nell'Arbequina, determini un'elevata fertilità delle cultivar spagnole rispetto alla Biancolilla, fenomeno che si concretizza alla maturazione con la fruttificazione a grappolo (Camposeo *et al.*, 2008).

Preme inoltre sottolineare che la Biancolilla, tra le cultivar più deboli del panorama varietale siciliano, rispetto alle cultivar spagnole, ha mostrato scarsa adattabilità ai sistemi intensivi a causa del più marcato vigore, del più lungo periodo improduttivo, della minore efficienza produttiva delle piante, della più spiccata tendenza a produrre ad anni alterni e della più spiccata suscettibilità all'occhio di pavone.

I rilievi ecofisiologici, infine, hanno messo in evidenza, come ci si poteva aspettare, delle sostanziali differenze fra i trattamenti sottoposti a diversi livelli irrigui sia in termini di crescita della nuova vegetazione sia, di conseguenza, in termini di intercettazione luminosa. Le piante che hanno usufruito di un volume irriguo stagionale di 1100 m³/ha hanno mostrato un accrescimento del germoglio maggiore rispetto a quelle che hanno ricevuto una quantità d'acqua pari a 750 m³/ha. Questi risultati hanno perciò determinato pur lievi differenze nell'intercettazione all'interno e lungo il profilo della chioma.

Si ritiene importante evidenziare che le zone della chioma nelle quali sono stati riscontrati valori di intensità luminosa al di sotto di quelli che possono limitare il regolare andamento dei processi di induzione, differenziazione e morfogenesi degli organi riproduttivi, ovvero del 30 % rispetto all'energia disponibile (Famiani *et al.*, 2009; Famiani e Walker, 2009) sono localizzate non solo in prossimità dell'asse centrale della pianta, ma anche nelle parti di chioma che si sviluppa lungo il filare e, dell'interfilare, al disotto di 120-140 cm di altezza. Considerato che negli impianti superintensivi i primi 60 cm di tronco devono essere lasciati privi di vegetazione per consentire l'intercettazione delle olive raccolte dalle "scaglie" della scavallatrice, e che lo sviluppo verticale della chioma non può superare, nel complesso, i 260 cm, si deduce l'importanza della corretta potatura della pianta per non incorrere in problemi di perdita di efficienza produttiva.

Da non sottovalutare, inoltre, l'importanza dei livelli di luce ai fini della composizione chimica degli oli. E' stato infatti rilevato (Proietti *et al.*, 2009) che buone condizioni ottimali di illuminazione favoriscono la sintesi di polifenoli con marcati effetti sulle caratteristiche sensoriali e sul valore "funzionale" degli oli.

Nessuna differenza significativa imputabile ai due livelli di stress idrico, infine, è stata riscontrata sia sulla produzione per pianta e unitaria sia per quanto riguarda le caratteristiche qualitative degli oli.

È importante notare che entrambe i livelli di stress imposti nell'oliveto hanno preso principalmente in considerazione l'effetto finale sulla qualità e sulla composizione dell'olio di oliva ottenuto.

I risultati ottenuti hanno confermato quanto riportato da diverse indagini che sono state condotte al fine di valutare l'effetto dell'irrigazione sulla composizione dell'olio, (Gómez-Rico *et al.*, 2007; Servili *et al.*, 2007; Tovar *et al.*, 2001). Infatti, anche se le

piante di olivo sono resistenti alla siccità (Fererres e Goldhamer, 1990), è ben noto che l'irrigazione rappresenta un aspetto molto importante per la qualità e la quantità del prodotto (Nanos *et al.*, 2002).

Un moderato deficit irriguo si conferma perciò uno strumento adeguato per una gestione ottimale degli oliveti superintensivi, per consentire il controllo del vigore della pianta, senza rinunciare alla produzione di olio di alta qualità.

10. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Acerbo G. 1937. La marcia storica dell'olivo nel Mediterraneo. Atti della Società per il Progresso delle Scienze. Riun. XXV. I:1-22.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. e Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage. FAO, Roma, Italy. 300 p.
- Ameglio T., Archer P., Cohen M., Valacogne C., Daudet F., Dayau S. e Cruiziat P. 1999. Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. Plant Soil 207:155-167.
- Angerosa F. 2002. Influence of volatile compounds on virgin olive oil quality evaluated by analytical approaches and sensor panels. Journal of Lipid Science and Technology. 104:639-660.
- Angiolillo A., Mencuccini M. e Baldoni L. 1999. Olive genetic diversity assessed using amplified length polymorphisms. Theor Appl Genet. 98:411 – 421.
- Angus D.E. e Watts P.J. 1984. Evapotranspiration-how good is the Bowen ratio method? Agric. Water Manage. 8:133-150.
- Baldini. 1986. Arboricoltura generale. Ed. Clueb, Bologna.
- Baratta B. e Campisi G. 2001. Le cultivar siciliane. In "Gli oli d'oliva siciliani" Ed. Dugo G. Società Editrice L'EPOS, s.a.s., Palermo.
- Barone E. e Di Marco L. 2003. Morfologia e ciclo di sviluppo. In Olea - Trattato di olivicoltura. Ed. P. F. Edagricole, Bologna., pp 13-33.
- Bartolini G. e Baroncelli S. 1992. La caratterizzazione varietale dell'olivo e relative problematiche. Atti Congresso "Salvaguardia e valorizzazione Risorse Genetiche". Alghero, 21-23 sett

- Bartolini G. e Petruccelli R. 2002. Classification, origin, diffusion and history of the olive. FAO. Roma.
- Bellomo F. e Godini A. 2003. Primeros campos experimentales de olivo superintensivo en Puglia-Italia. *Olint.* 7:29-30.
- Boardman J. 1977. The olive in the Mediterranean: its culture and use. *Phil Trans. R. Soc. Lond. B.* 275:187-196.
- Bongi G. e Palliotti A. 1994. Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops: Temperate Crops, Olive. CRC Press.
- Bottari V. e Spina P. 1952. Le varietà di olivo coltivate in Sicilia. Istituto Poligrafico dello Stato., Roma.
- Bowen I.S. 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev.* 27:779-787.
- Breviglieri N. e Battaglia E. 1954. Ricerche cariologiche in *Olea europaea* L. *Caryologia.* 2-3:271-283.
- Buss P. 1993. The use of capacitance based measurements of real time soil water profile dynamics for irrigation scheduling. In Under pressure. *Irrig.* 93. Proc. Natl. Conf. Irrig and Drainage, Launceston, Tasmania. 17-19 May
- Campbell G.S. e Campbell M.D. 1982. Irrigation scheduling using soil moisture measurements: theory and practice. *Adv Irrig.* 1:25-42.
- Campisi G., Caruso T., Farina G., Marino G. e Marra F.P. 2009. Comportamento agronomico di un impianto superintensivo di olivo in Sicilia sottoposto a irrigazione "in deficit". I Convegno Nazionale dell'Olivo e dell'Olio - Portici (NA), 1-2 ottobre - *Acta Italus Hortus.* 1

- Camposeo S., Ferrara G., Palasciano M. e Godini A. 2008. Varietal behavior according to the superintensive oliveculture training system. *Acta Hort.* 791:271-274.
- Camposeo S. e Giorgio V. 2006. Rese e danni da raccolta meccanica di un oliveto superintensivo. Atti Convegno nazionale «Maturazione e raccolta delle olive: strategie e tecnologie per aumentare la competitività in olivicoltura», Alanno (PE), 1 aprile:131-135.
- Caruso T., Motisi A., Buffa R., Lo Gullo M.A., Ganino T., Secchi F. e Salleo S. 2006. Meccanismi coinvolti nel controllo della crescita vegetativa dell'olivo attraverso l'impiego del portinnesti. *Frutticoltura.* 3:51-55.
- Chalmers D.J., Mitchell P.D. e van Heek L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 106:307-312.
- Chartzoulakis K., Patakis A. e Bosabalidis A.M. 1999. Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars. *Environ. Exp. Bot.* 42:113-120.
- Chone´ X., van Leeuwen C., Dubourdiu D. e Gaudille`re J.P. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Ann. Bot.* 87
- Cimato A. 1988. Rassegna bibliografica sull'olivo. CN.R., Firenze.
- Clawson K.L., Jackson R.D. e Pinter P.J. 1989. Evaluating plant water stress with canopy temperature differences. *Agronomy Journal* 81:858-863.
- Connor D.J. e Fereres E. 2005. The physiology of adaptation and yield expression in olive. *Horticulture Reviews.* 31:155-229.
- Connor D.J. e Fereres E. 2005. The physiology of adaptation and yield expression in olive. *Horticulture Reviews.* 31:155-229.

- D'Amore F., Celati R., Ferrara G.C. e Panichi C. 1977. Secondary changes in the chemical and isotopic composition of the geothermal fluids in Lardell of yield. *Geothermics*, 5:153-163.
- De La Rosa R., Leon L., Guerrero N., Barranco D. e Rallo L. 2006. Resultados preliminares de un ensayo de densidades de plantacion en olivar en seto. *Especial Olivicultura*. IV:43-46.
- Deidda P., Fiorino P. e Lombardo N. 2006. Italian olive growing between evolution and extinction. *Proceeding Olivebioteq, 2nd International Seminar*:15-28.
- Díaz-Espejo A., Fernández E.J., Durán P.J., Girón I.F., Sinoquet H., Sonohat G., Phattaralerphong J., Infante J.M., Chamorro V., Villagarcía L. e Palomo M.J. 2008. Canopy architecture and radiation interception measurements in olive. V *International Symposium on Olive Growing - Acta Horticulturae*. 791
- Ebel R.C., Proebsting E.L. e Evans R.G. 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. *HortScience* 30:1229-1232.
- Escalona J.M., Flexas J. e Medrano H. 2002. Drought effects on water flow, photosynthesis and growth of potted grapevines. *Vitis*. 41:57-62.
- Evett S.R., Laurent J.P., Cepuder P. e Hignett C. 2002. Neutron scattering, capacitance, and TDR soil water content measurements compared on four continents. In: *Proceedings of the 17th Water Conservation Soil Society Symposium, Thailand*
- Falisticco e Tolsi. 1996. Cytogenetic investigation in *Olea europaea* L. *Journal of Genetics and Breeding*. 3:235-238.
- Famiani F., Baldicchi A., Battistelli A., Moscatello S. e Walker R.P. 2009. Soluble sugar and organic acid contents and the occurrence and potential role of

- phosphoenolpyruvate carboxykinase (PEPCK) in gooseberry (*Ribes grossularia* L.). *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84
- Famiani F., Giurelli A., Proietti P., Nasini L., Farinelli D. e Guelfi P. 2008. Yield to the machine-aided harvesting in traditional and intensive olive orchards. / Prove in umbria su cultivar frantoio e moraiolo: sì alla raccolta agevolata in oliveti tradizionali e intensivi. *Informatore Agrario.* 64:103-107.
- Famiani F. e Walker R.P. 2009. Changes in abundance of enzymes involved in organic acid, amino acid and sugar metabolism, and photosynthesis during the ripening of blackberry fruit., *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 134:167-175.
- Faostat. 2004. <http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops>.
- Fereres E. e Goldhamer D.A. 1990. Deciduous fruit and nut trees. *In* Irrigation of agricultural crops Ed. Stewart BA N.D. ASA, Madison, Wis, pp 987–1017.
- Fereres E. e Soriano M.A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *. Journal of Experimental Botany.* 58,:147-159.
- Fernández J.E., Palomo M.J., Diaz-Espejo A. e Giron I.F. 1997. Calibrating compensation haet-pulsetecnique for measuring sap flow in olive. *Acta Hort.* 474
- Fuchs M. 1990. Infrared measurement of canopy temperature and detection of plant water stress. *Theoretical and Applied Climatology.* 42:253-261.
- Germano A. 1998. L'olivo e l'olio nell'antichità (1a parte). *Olivo & Olio.* 6:52 - 55.
- Giorio P., Sorrentino G. e d'Andria R. 1999. Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in fieldgrown olive trees under water deficit. *Environmental and Experimental Botany.* 42:95-104.
- Godini A. 2002. Apulian traditional olive training systems. *Acta Horticulturae:*311-315.

- Godini A. 2009. L'olivicoltura italiana deve innovarsi. *L'Informatore Agrario*. 7:66-70.
- Godini A. e Bellomo F. 2002. Olivicoltura superintensiva in Puglia per la raccolta meccanica con vendemmiatrice. *Atti Convegno internazionale di Olivicoltura, Spoleto, 22-23 aprile:230-234.*
- Godini A., Camposeo S. e Scavo V. 2006. Gli aspetti agronomici dell'olivicoltura superintensiva. *L'Informatore Agrario*. 1:65-67.
- Goldhamer D.A., Fereres E. e Salinas M. 2003. Can almond trees directly dictate their irrigations needs? *Calif Agric*. 57:138-144.
- Goldhamer D.A. e Salinas M. 2000. Evaluation of regulated deficit irrigation on mature orange trees grown under high evaporative demand. *Proceedings of the International Society of Citriculture, IX Congress. Orlando, FL: ISC. 227-231*
- Gómez-Rico A., Salvador M.D., Moriana A., Pérez D., Olmedilla N. e Ribas F. 2007. Influence of different irrigation strategies in a traditional Cornicabra cv. Olive orchard on virgin olive oil composition and quality. *Food Chemistry*. 100:568-578.
- Gucci R. 2004. Irrigazione in olivicoltura. Aggiornamenti sulle tecniche colturali in olivicoltura. *Accademia Nazionale dell'olivo e dell'olio. Castagneto Carducci 24-25 gennaio 2002, Spoleto 3-4 aprile 2003:3-8.*
- Gucci R., Serravalle M. e Vieri M. 2004. Raccolta agevolata e meccanica delle olive. *L'Informatore Agrario*. 31:35-38.
- Hanson R.B., Orloff S. e Peters D. 2000. Monitoring soil moisture helps refine irrigation management. *Calif Agric*. 54:38-42.
- Hsiao T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. 24:519-570.

- Hsiao T.C., Acevedo E., Fereres E. e Henderson D.W. 1976. Stress metabolism. Water stress, growth and osmotic adjustment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. B:479–500.
- Iannotta N. e Perri E. 2006. L'esperienza della Spagna nell'olivicoltura superintensiva. *L'Informatore Agrario*. 1:59-63.
- Idso S.B. 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*. 27
- Idso S.B., Jackson R.D., Pinter P.J., Reginato R.J. e Hatfield J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*. 24:45-55.
- Inglese P., Barone E. e Gullo G. 1996. The effect of complementary irrigation on fruit growth, ripening pattern and oil characteristics of olive (*Olea europaea* L.) cv. Carolea. *J. Hortic. Sci.* 71: 257-263.
- Intrigliolo D.S. e Castel J.R. 2004. Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum. *Irrig Sci.* 23:93-102.
- Intrigliolo D.S. e Castel J.R. 2006. Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. *Agric Water Manag.* 83:173-180.
- Irmak S. e Haman D.Z. 2001. Performance of the Watermark granular matrix sensor in sandy soils. *Appl Eng Agric.* 17:787- 795.
- Jackson R.D. 1982. Canopy temperature and crop water stress. *Advances in Irrigation Research*. 1:43-85.
- Jackson R.D., Kustas W.P. e Choudhury B.J. 1988. A re-examination of the crop water stress index. *Irrigation Science* 9:309-317.

- Jones H.G. 1999. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Plant, Cell and Environment*. 22:1043-1055.
- Jones H.G., Aikman D.A. e McBurney T. 1997. Improvements to infrared thermometry for irrigation scheduling. *Acta Horticulturae*. 449:259-266.
- Lakso A.N. 1985. The effects of water stress on physiological processes in fruit crops. *Acta Hort.* . 171:275-290.
- Lavee S. e Wodner M. 1991. Factors affecting the nature of oil accumulation in fruit of olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 66:583-591.
- Lavee S. 1985. *Olea europaea*. In *Handbook of flowering* Ed. Halevy A.H. CRC Press, Boca Raton Fl, pp 423-434.
- Lavini A., d'Andria R., Patumi M., Morelli G., Tognetti R. e Sebastiani L. 2008. Water management of olive trees (*Olea europea* L.) in a hilly environment of Central-South Italy. *Options Méditerranéennes Serie A*
- Leib B.G., Jabro J.D. e Mathews G.R. 2003. Field evaluation and performance comparison of soil moisture sensors. *Soil Sci*. 168:396-408.
- Leinonen I., Grant O.M., Tagliavia C.P.P., Chaves M.M. e Jones H.G. 2006. Estimating stomatal conductance with thermal imagery. *Plant, Cell and Environment*. 29:1508–1518.
- Leinonen I. e Jones H.G. 2004. Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of Experimental Botany*. 55:1423-1431.
- León L., De la Rosa R., Guerrero N., Rallo L., Barranco D., Tous J., Romero A. e Hermoso J.F. 2006. Ensayos de variedades de olivo en plantación de alta

- densidad. Comparación de resultados entre Andalucía y Cataluña. *Fruticultura Profesional*. 160:21-26.
- Mateu J., Rius X. e Lacarte J.M. 2008. Evoluzione della superficie piantata a olivi con il sistema superintensivo o a cespuglio nel mondo. *Suppl. Olint*. 15:1-7.
- McCann I.R., Kincaid D.C. e Wang D. 1992. Operational characteristics of the watermark model 200 soil water potential sensor for irrigation management. *Appl Eng Agric*. 8:603-609.
- Mitchell P.D., van den Ende B., Jerie P.H. e Chalmers D.J. 1989. Response of 'Bartlett' pear to withholding irrigation, regulated deficit irrigation, and tree spacing. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 114:15-19.
- Montedoro G.F. e Servili M. 1991. I caratteri che definiscono la qualità dell'olio d'oliva. *Atti del Convegno Qualità dell'olio d'oliva e tecnologie di lavorazione*. Lecce:Italy:17-30.
- Moreno F., Fernández J.E., Clothier B.E. e Green S.R. 1996. Transpiration and root water uptake by olive trees. *Plant Soil*. 184:85-96.
- Moreno F., Vachaud G., Martín-Aranda J., Vauclin M. e Fernandez J.E. 1988. Balance hídrico de un olivar con riego gota a gota. Resultados de cuatro años de experiencias. *Agronomie*. 8:521-537.
- Morettini A. 1950. *Olivicoltura REDA*. 596 p.
- Moriana A., Orgaz F., Pastor M. e Fereres E. 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 128:425-431.
- Moriana A., Villalobos F.J. e Fereres E. 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant Cell Environ*. 25:395-405.

- Nadezhdina N. 1999. Sap flow index as an indicator of plant water status. *Tree Physiol* 19:885-891.
- Nanos G.D., Kazantzis I., Kefalas P., Petrakis C. e Stavroulakis G.G. 2002. Irrigation and harvest time affect almond kernel quality and composition. *Scientia Hort* 96:249-256.
- Naor A. 2006. Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards. *Horticultural Reviews* 32:111- 165.
- Naor A. e Cohen S. 2003. Sensitivity and Variability of Maximum Trunk Shrinkage, Midday Stem Water Potential, and Transpiration Rate in Response to Withholding Irrigation from Field-grow Apple Trees. *Hort-Science*. 38:547-551.
- Noguès S. e Baker N.R. 2000. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *J Exp Bot* 51:1309-1317.
- Palomo M.J., Díaz-Espejo A., Fernández J.E., Moreno F. e Girón I.F. 2000. Water balance in an olive orchard. *Acta Hort*. 537:573-580.
- Pampanini R. e Pignataro F. 2006. Analysis of production cost and olive cultivation models. Second International Seminar Olivebioteq 2006, 5-10 Novembre, Marsala. 1:503-510.
- Pannelli G. e Alfei B. 2000. Raccolta e potatura adeguate all'uomo e alla pianta. *Olivo e olio*. 9:30-45.
- Pannelli G., Famiani F., Servili M. e Montedoro G.F. 1991. Effetti di cultivar, epoca e modalità di raccolta, sulle caratteristiche quantitative e qualitative della produzione di olio di oliva. Atti del Convegno "Problematiche qualitative dell'olio di oliva". Sassari 6 novembre:247-258.

- Pastor M., Garcia-Vila M., Soriano M.A., Vega V. e Fereres E. 2007. Productivity of olive orchards in response to tree density. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 82:555-562.
- Pastor Muñoz-Cobo M., Hidalgo Moya J.C., Vega Macias V. e Fereres Castiel. 2006. Densidades de plantacion en olivar de regadio. El caso de las plantaciones superintensivas en Andalucía. *Fruticultura Profesional*. 160:27-42.
- Patumi M., d' Andria R., Marsilio V., Fontanazza G., Morelli G. e Lanza B. 2002. Olive and oil quality after intensive monocone olive growing (*Olea europaea* L. cv. Kalamata) in different irrigation regimes. *Food Chem*. 77:27-34.
- Paw K.T., Qiu J., Su H.B., Watanabe T. e Brunet Y. 1995. Surface renewal analysis: a new method to obtain scalar fluxes without velocity data. *Agric. Forest Meteorol*. 74:119-137.
- Penman H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A* 193:120-148.
- Prevost G., Bartolini G. e Messeri C. 1993. *Cultivar italiane di olivo e loro sinonimi*. Menegazzo editore, Lucca.
- Proietti P. 2003. Changes in photosynthesis and fruit characteristics in olive in response to assimilate availability. *Photosynthetica*. 41:559-564.
- Proietti P., Nasini L., Balduccini M.A., Famiani F. e Ilarioni L. 2009. Effetti della concimazione fogliare azotata sull'attività dell'olivo e sulla qualità dell'olio. *Atti del I Convegno Nazionale dell'Olivo e dell'Olio - Portici (NA), 1-2 ottobre - Acta Italus Hortus*. 1
- Proietti P., Tombesi A. e Boco M. 1994. Influence of leaf shading and defoliation on oil synthesis and growth of olive fruits. *Acta Horticulturae*. 356:272-277.

- Rallo L., Barranco D., Caballero J.M., Del Rio C., Martin A., Tous J. e Trujillo I. 2005. Variedades de olivo en España. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México.
- Rallo L., De La Rosa R., Leon L., Guerrero N. e Barranco D. 2006. L'olivicultura intensiva in Spagna. Atti del Seminario Internazionale sulla Linea Tematica: Innovazione tecnologica in olivicoltura tra esigenze di qualità e di tutela ambientale, Cittanova. 11 settembre.:21-25.
- Rallo L., Barranco D., Caballero J.M., Del Rio C., Martin A., Tous J. e Trujillo I. 2005. Variedades de olivo en España. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México.
- Ravetti L.M. 2004 The Australian olive industry. Proceeding 2004 Harvest Workshop. Lara, Australia 21-22 July:1-15.
- Reale S., Doveri S., Diaz A., Angiolillo A., Lucentini L., Pilla F., Martin A., Donini P. e Lee D. 2006. SNP-based markers for discriminating olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Genome*. 49:1193-1205.
- Remorini D. e Massai R. 2003. Comparison of water status indicators for young peach trees
Irrig Sci. 22::39-46.
- Rugini E. e Lavee S. 1992. Biotechnology of Perennial Fruit Crops. *In* Hammerschlage Eds. F. A..eLitz R.E.
- Sanz-Cortés F., Martínez-Calvo J., Badenes M.L., Bleiholder H., Hack H., Llácer G. e Meier U. 2002. Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea* L.). *Ann. Appl. Biol.* 140:151-157.
- Scholander P.F., Hammel H.J., Bradstreet A. e Hemmingsen E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*. 148:339-346.

- Servili M., Esposito S., Lodolini E., Selvaggini R., Taticchi A. e Urbani S. 2007. Irrigation effects on quality, phenolic composition and selected volatiles of virgin olive oil cv. Leccino. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55:6609-6618.
- Shackel K.A., Ahmadi H. e Biasi W. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *Horttechnology*. 7: 23-29.
- Shaw R.H. e Snyder R.L. 2003. Evaporation and eddy covariance. . *In Encyclopedia of Water Science* Ed. Stewart B.A., Howell, T. . Marcel Dekker Inc., New York.
- Shock C.C., Feibert E.B.G. e Saunders L.D. 1998. Potato yield and quality response to deficit irrigation. *HortScience* 33:655-659.
- Simmonds N.W. 1976. *Evolution of crop plants* Ed. Longman. London e New York.
- Snyder R.L. 2007. *Irrigation Scheduling - Water Balance Method*. Ed. Biomet U.D.
- Sofo A., Manfreda S., Dichio B., Fiorentino M. e Xiloyannis C. 2007. The olive tree: a paradigm for drought tolerance in Mediterranean climates. *Hydrol Earth Syst Sci Discuss*. 4:2811-2835.
- Spano D., Snyder R.L. e Sirca C. 2009. ECOWAT-A model for ecosystem evapotranspiration estimation *Agricultural and Forest Meteorology*. 149:1584-1596.
- Sportelli G.F. 2006. Nome in codice, Agromillora. Aiuto, arrivano gli spagnoli. *Olivo e Olio*:8-9.
- Starr J.L. e Paltineanu I.C. 2002. Capacitance devices. *In Methods of soil analysis* Ed. Topp J.H.D.a.G.C. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI, pp 463-474.
- Steduto P., Hsiao T.C. e Fereres E. 2006. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science*

- Steinberg S.L., McFarland M.J. e Worthington J.W. 1990. Comparison of trunk and branch sap flow with canopy transpiration in pecan. *J. Exp. Bot.* 41:653--659.
- Tatura I.G. 2000. Irrigation scheduling for regulated deficit irrigation (RDI). AG0299 ISSN 1329-8062. State of Victoria, Department of Primary Industries.
- Tognetti R., d'Andria R., Morelli G. e Alvino A. 2005. The effect of deficit irrigation on seasonal variations of plant water use in *Olea europaea* L. *Plant and Soil* 273:139-155.
- Tognetti R., d'Andria R., Morelli G., Calandrelli D. e Fragnito F. 2004. Irrigation effects on daily and seasonal variations of trunk sap flow and leaf water relations in olive trees. *Plant Soil.* 263,:249-264.
- Tombesi A. 2002. Tecniche per lo sviluppo dell'olivicoltura italiana. *Frutticoltura.* 10:17-26.
- Tombesi A. 2003. Biologia fiorale e di fruttificazione. *In* *Olea - Trattato di Olivicoltura.* Edagricole, pp 35-65.
- Tombesi A. 2006. Planting systems, canopy management and mechanical harvesting. *Second Interational Seminar Olivebioteq, 5-10 Novembre Marsala:*307-316.
- Tombesi A., Boco M. e Pilli M. 1999. Influence of light exposure on olive fruit growth and composition. *Proc. 3rd Int. ISHS Symp. on Olive Growing, Acta Hort.* 474:255-259.
- Tombesi A., Farinelli D., Ruffolo M., Scatolini G. e Siena M. 2009. Un triennio di raccolta meccanica per promuovere l'olivicoltura in Umbria. *Acta Italus Hortus.* 1:26-30.
- Tous J., Romeo A., Plana J. e Hermoso J.J. 2008. Olive oil cultivar suitable for very-high density planting conditions. *Acta Hort.* . 791

- Tous J., Romeri A., Plana J. e Hermoso J.F. 2004. Olive oil cultivars suitable for very-high density planting conditions. 5th International Symposium on Olive Growing. 29 settembre-2 ottobre, Izmir, Turchia
- Tous J., Romero A. e Hermoso J.F. 2006. High density planting systems, mechanization and crop management in olive. second Interational Seminar Olivebioteq, 5-10 Novembre Marsala.:423-430.
- Tous J., Romero A. e Hermoso J.F. 2007a. The hedgerow system for olive growing. OLEA - FAO OLIVE NETWORK. Cordoba, Spain. 26
- Tous J., Romero A., Hermoso J.F. e Mallén N. 2007b. The hedgerow system for olive growing. *In* Agricultura, Revista Agropecuaria. Editorial Agricola Espanola S.A., Madrid; Spain, pp 360-367.
- Tous J., Romero A. e Plana J. 2003. Plantaciones superintensivas en olivar. Comportamiento de 6 variedades. Agricultura. 851:346-50.
- Tovar M.J., Romero M.P. e Motilva M.J. 2001. Changes in the phenolic composition of olive oil from young trees (*Olea europaea* L. Cv. Arbequina) grown under linear irrigation strategies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49:5502-5508.
- Uriu K. e Magness J.R. 1967. Deciduous tree fruits and nuts. *In* Irrigation of agricultural lands Monograph Ed. Hagan H.R.H., & T. W. Edminster. WI: American Society of Agronomy, Madison.
- Vera J., Mounzer O., Ruiz-Sánchez M.C., Abrisqueta I., Tapia L.M. e Abrisqueta J.M. 2009. Soil water balance trial involving capacitance and neutron probe measurements. *Agruculture Water Management*. 96:905-911.

- Warrick A.W. e Nielsen D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. *In* Applications of soil physics. Ed. Hillel D. Academic Press., New York, pp 319-344.
- Xiloyannis C., Pezzarossa B., Jorba J. e Angelici P. 1988. Effects on soil water content on gas exchange in olive trees. *Adv. Hortic. Sci.* 2:58-63.
- Zohary D. e Spiegel-Roy P. 1975. Beginnings of fruit growing in the Old World. *Science.* 187:319-327.
- Zohary D. e Spiegel-Roy P. 1994. Domestication of Plants in the Old World (second edition). Ed. Clarendon O., p 279.