



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**NUOVI SISTEMI PRODUTTIVI E IRRIGUI PER
UNA MANDORLICOLTURA SOSTENIBILE**

**NEW PRODUCTION AND IRRIGATION SYSTEMS
FOR A SUSTAINABLE ALMOND CULTURE**

TIPO TESI: COMPILATIVA

Studente:
DAMIANO D'ALOISO

Relatore:
PROF. FRANCO CAPOCASA

ANNO ACCADEMICO 2018-2019

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
1 LA COLTURA DEL MANDORLO NEL MONDO	3
2 DESCRIZIONE DELLA SPECIE	5
2.1 LE CULTIVAR DI MANDORLO	7
2.1.1 CULTIVAR ITALIANE	7
2.1.2 CULTIVAR CALIFORNIANE	9
2.1.3 CULTIVAR FRANCESI E SPAGNOLE	10
2.2 I PORTINNESTI DEL MANDORLO.....	12
2.2.1 I PORTINNESTI DA SEME.....	13
2.2.2 I PORTINNESTI CLONALI.....	14
2.2.3 IBRIDI INTERSPECIFICI.....	16
3 DENSITA' D'IMPIANTO E SISTEMI PRODUTTIVI	18
3.1 MANDORLICOLTURA ESTENSIVA	18
3.2 MANDORLICOLTURA INTENSIVA.....	19
3.3 MANDORLICOLTURA SUPERINTENSIVA	20
4 QUALITA' COMMERCIALE DELLE MANDORLE	22
4.1 STANDARD E QUALITA' DELLE MANDORLE SECONDO USDA.....	22
4.1.1 LIVELLI DI QUALITA' DELLE MANDORLE CON GUSCIO	23
4.1.2 LIVELLI DI QUALITA' DELLE MANDORLE SGUSCIATE	24
4.2 STANDARD E QUALITA' DELLE MANDORLE CON GUSCIO, SECONDO UNECE	26
5 SCOPO DELLA TESI	29
6 IL DEFICIT IDRICO.....	30
6.1 DEFICIT IDRICO SOSTENUTO (SDI)	32
6.2 DEFICIT IDRICO REGOLATO (RDI).....	32
6.3 ESSICAZIONE PARZIALE DELLA RIZOSFERA (PRD)	33
7 ANALISI DEI CASI DI STUDIO	35
CASO DI STUDIO 1	36
CASO DI STUDIO 2	42
CASO DI STUDIO 3	48
8 CONCLUSIONI	52
9 BIBLIOGRAFIA.....	54

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1: CLASSI DI QUALITÀ DELLE MANDORLE IN GUSCIO, SECONDO USDA (USDA, S.D.).....	24
TABELLA 2: CLASSI DI QUALITÀ DELLE MANDORLE SGUSCIATE SECONDO USDA (USDA, S.D.).....	25
TABELLA 3: CLASSI DI QUALITÀ DELLE MANDORLE IN GUSCIO, SECONDO UNECE.	28
TABELLA 4: VALORI ANNUALI MEDI DELLA CRESCITA DEL TRONCO (TD), MISURATI ALLA FINE DI CIASCUNA STAGIONE DI CRESCITA (2003-2006), E IL TASSO DI CRESCITA DEL DIAMETRO DEL TRONCO (EGEA, ET AL., 2010).....	37
TABELLA 5: INFLUENZA DEI TRATTAMENTI D'IRRIGAZIONE SULLE COMPONENTI DELLA RESA (EGEA, ET AL., 2010).....	39
TABELLA 6: VALORI DELLA PRODUTTIVITÀ DELL'ACQUA (PW) E DELL'EFFICIENZA PRODUTTIVA (E) NEI DIVERSI TRATTAMENTI DI IRRIGAZIONE (EGEA, ET AL., 2010).	41
TABELLA 7: RESA E PESO DEL SEME, AREA DELLA SEZIONE TRASVERSALE DEL TRONCO (TCSA), INCREMENTO ANNUALE DEL TCSA, PESO DEI RESIDUI DI POTATURA, PRODUTTIVITÀ DELL'ACQUA D'IRRIGAZIONE (IWP) ED EFFICIENZA DI PRODUZIONE (PE), NELLE QUATTRO STRATEGIE D'IRRIGAZIONE (EGEA, ET AL., 2013).	44

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1: ANDAMENTO MONDIALE DELLA PRODUZIONE DI MANDORLE IN GUSCIO E DEGLI ETTARI INVESTITI NELLA COLTURA DAL 1998 AL 2018 (HA X 1000; T X 1000).....	3
FIGURA 2: TOP TEN DEI PAESI PRODUTTORI DI MANDORLE NEL 2018 (T X 1.000).....	4
FIGURA 3: POTATURA MECCANIZZATA IN UN MANDORLETO SUPERINTENSIVO (FRUIT JOURNAL).....	21
FIGURA 4: RELAZIONI TRA IRRIGAZIONE APPLICATA, EVAPOTRASPIRAZIONE E RESA DELLA COLTURA. IW INDICA IL PUNTO OLTRE IL QUALE LA PRODUTTIVITÀ DELL'IRRIGAZIONE INIZIA A DECRESCERE, MENTRE AL DI LÀ DEL PUNTO IM LA RESA NON AUMENTA INCREMENTANDO IL VOLUME IRRIGUO. (FERERES & SORIANO, 2007).....	31
FIGURA 5: RAPPORTO TRA IL VALORE MEDIO DELLA PRODUTTIVITÀ DELL'ACQUA (PW) E LA QUANTITÀ DI ACQUA TOTALE DI IRRIGAZIONE (WA) APPLICATA IN CIASCUN TRATTAMENTO, NELLE STAGIONI DI CRESCITA 2005-2006 (EGEA, ET AL., 2010).	42
FIGURA 6: ANDAMENTO TEMPORALE DEI VALORI ANNUALI DI STRESS IDRICO NELLE QUATTRO STRATEGIE D'IRRIGAZIONE (EGEA, ET AL., 2013).....	45
FIGURA 7: RESA DEL SEME NELLE DIVERSE STRATEGIE D'IRRIGAZIONE (MONKS, ET AL., 2017).....	51

INTRODUZIONE

La seguente tesi si propone di analizzare nuove strategie di irrigazione nei mandorleti, che permettano di utilizzare l'acqua in maniera più efficiente e più vantaggiosa dal punto di vista ambientale.

L'attuale limitazione delle risorse idriche sta minacciando la produttività delle aziende agricole produttrici di mandorle e questa tendenza dovrebbe aumentare nei prossimi decenni; pertanto gli agricoltori sono tenuti ad affrontare la carenza idrica implementando pratiche agronomiche sostenibili volte a mantenere la resa delle colture con meno acqua.

Regioni come la California, dove la mandorlicoltura intensiva ha avuto un enorme successo e che negli anni ha portato ad un'elevata diffusione della coltura, oggi si trovano ad affrontare non poche problematiche associate all'elevato impatto ambientale che essa comporta. Considerando questi aspetti, possiamo prevedere che le nuove problematiche agroambientali determineranno sicuramente una rivisitazione delle modalità di produzione delle mandorle, lasciando spazio a sistemi di produzione più sostenibili dal punto di vista ambientale, caratterizzati dal risparmio di risorse ambientali come l'acqua.

Inoltre, si aprono possibilità anche per i paesi del bacino del Mediterraneo, ed in generale per paesi che non dispongono di elevate risorse idriche, di ritagliarsi uno spazio dignitoso nel mercato globale delle mandorle, adottando strategie di irrigazione più efficienti.

Inizialmente il lavoro darà una visione della mandorlicoltura mondiale, indicando i maggiori paesi produttori e le relative problematiche idriche che si trovano ad affrontare. Successivamente verranno descritte le varie cultivar ed i portinnesti più diffusi oggi presenti sul mercato, ponendo attenzione alle varie tipologie di impianto ed i relativi sistemi di produzione.

La parte terminale della tesi volge alla descrizione ed al confronto di tre strategie di risparmio idrico che, si è visto, se ben sfruttate ed organizzate possono consentire importanti risparmi in termini di volumi di adacquamento, rivalutando la sostenibilità della mandorlicoltura (un aspetto molto discusso nell'ultimo decennio).

Si parlerà quindi di tre strategie di irrigazione deficitaria (DI): il deficit idrico sostenuto (sustained deficit irrigation – SDI), lo stress idrico controllato (regulated deficit irrigation - RDI) ed infine il parziale

disseccamento della rizosfera (partial rootzone drying - PRD). Verrà analizzato un confronto tra queste tre strategie, provando a definire il più vantaggioso sia in termini ambientali che produttivi.

1 LA COLTURA DEL MANDORLO NEL MONDO

La produzione di mandorle negli ultimi anni sta riscuotendo un notevole successo, dovuto al crescente consumo mondiale ed alla buona redditività della coltura. Possiamo notare come nel mondo gli ettari investiti nella mandorlicoltura, in venti anni, sono aumentati del 32%, passando da 1.568.847 nel 1998 a 2.071.844 ha nel 2018; nello stesso periodo la produzione di mandorle in guscio è aumentata del 142,8%, passando da 1.310.894 a 3.182.902 tonnellate (*Figura 1*) (*FAOSTAT, 2020*).

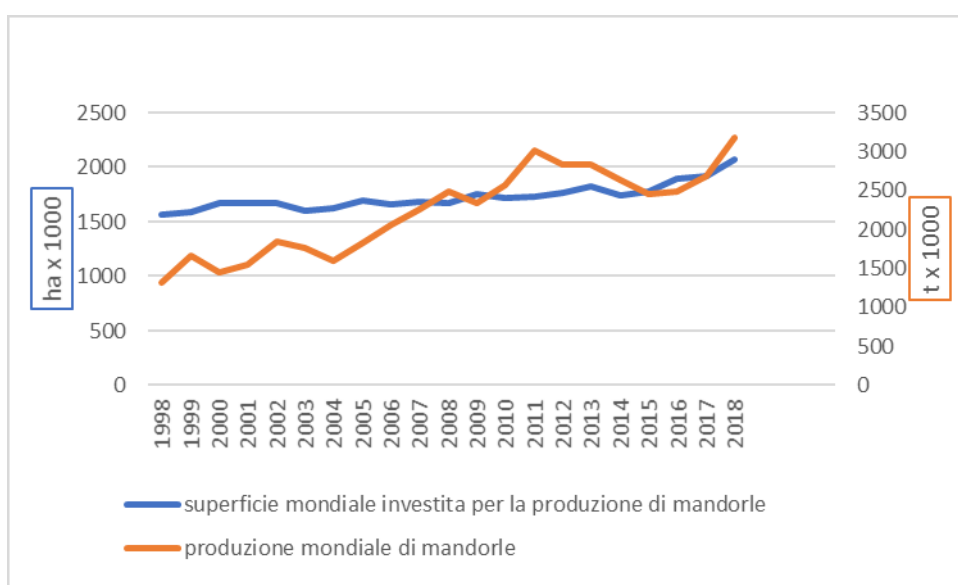


Figura 1: Andamento mondiale della produzione di mandorle in guscio e degli ettari investiti nella coltura dal 1998 al 2018 (ha x 1000; t x 1000).

La mandorlicoltura statunitense occupa stabilmente la leadership mondiale del settore, avendo saputo interpretare ed organizzare in poco più di mezzo secolo, dal decennio seguente la II guerra mondiale, un comparto che oggi rappresenta il 60% della produzione mondiale, con una produzione che nel 2018 si è aggirata intorno a 1.872.500 tonnellate di mandorle in guscio.

In California la mandorlicoltura intensiva ha avuto un enorme successo ed una rapida crescita del settore, comportando però non poche problematiche associate all'elevato impatto ambientale che essa comporta.

Un problema da affrontare per la mandorlicoltura californiana è quello relativo alla gestione della risorsa idrica ed in particolar modo delle acque di falda; infatti negli ultimi anni la California ha sofferto di lunghi periodi siccitosi che hanno generato grandi difficoltà nella gestione dei mandorleti a cui comunemente sono destinati volumi irrigui di 10-12.000 m³/ha per anno, impensabili nelle condizioni colturali dei Paesi mediterranei.

Il ricorso sempre maggiore alle acque di falda ha portato nell'ultimo decennio ad una serie di regolamentazioni riguardanti sia la qualità che i quantitativi utilizzabili, che finiranno per avere un notevole impatto sulla mandorlicoltura californiana in quanto saranno regolamentati i volumi di emungimento dai pozzi privati, saranno stabilite distanze minime tra i pozzi e verranno previste tasse e imposte per l'utilizzo della risorsa.

Gli altri paesi principali produttori di mandorle sono la Spagna, con una produzione annuale di circa 339.033 tonnellate, seguita rispettivamente da Iran, Marocco, Turchia e Italia (*Figura 2*) (*FAOSTAT, 2020*); quest'ultima è stata il primo produttore mondiale nel periodo prebellico, dove la produzione era concentrata nelle regioni del sud ed in particolare in Puglia ed in Sicilia; successivamente, nel secondo dopoguerra, c'è stato un lento ma continuo declino a causa del fatto di non aver colto l'innovazione e non aver abbandonato i vecchi sistemi di produzione tradizionali.

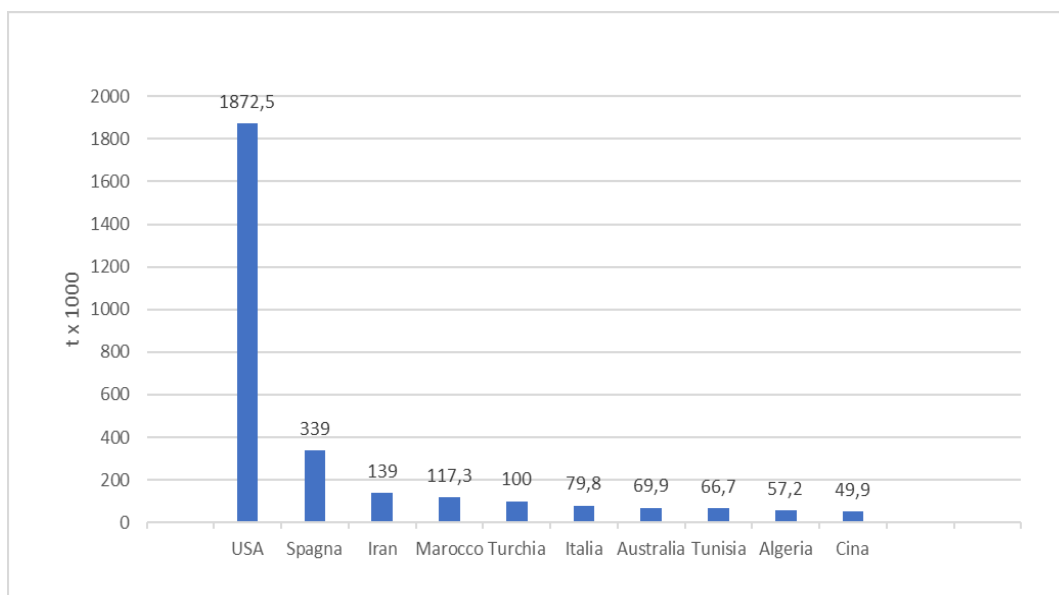


Figura 2: Top ten dei paesi produttori di mandorle nel 2018 (t x 1.000).

2 DESCRIZIONE DELLA SPECIE

Un tempo le principali varietà coltivate di mandorlo, a seme dolce e a seme amaro, afferivano solamente alla specie *Prunus amygdalus* Batsch; o *Prunus dulcis* Miller, oggi si tende a distinguere tre sottospecie: *sativa* con seme dolce ed endocarpo duro (comprende la maggior parte delle varietà coltivate), *amara* con seme amaro (presenza nel seme di un glucoside cianogenico chiamato "amigdalina", costituito da glucosio, aldeide benzoica e acido cianidrico) che viene utilizzata esclusivamente per la produzione di portinnesti e nell'industria dolciaria, e *fragilis* con seme dolce ed endocarpo fragile.

Il mandorlo è un albero da frutto caducifoglie e latifoglie, appartenente all'ordine *Rosales*, famiglia delle *Rosaceae*, sottofamiglia delle *Prunoidee*, genere *Prunus* e sezione *Prunophore*.

È un albero con un'altezza che può arrivare fino a 5-7 metri, che presenta un apparato radicale fittonante poco ramificato ed una corteccia bruna e rugosa, screpolata longitudinalmente; la chioma può essere sia assurgente che espansa, presentante delle foglie picciolate e lanceolate lunghe fino a 12 cm.

I principali rami del mandorlo sono il ramo misto, il brindillo e il dardo.

- Brindillo: è un ramo fruttifero, molto sottile che ha un ciclo produttivo di un anno. È lungo dai 10 ai 25 cm e sulla sommità presenta gemme miste che producono foglie e frutti, ma possiamo trovare gemme a fiore anche lungo la sua lunghezza. Il mandorlo giovane produce sostanzialmente solo sui brindilli, mentre la pianta adulta a seconda della varietà può privilegiare dardi oppure brindilli e rami misti.
- Ramo misto: più robusto e lungo del brindillo, ma con un ciclo di vita simile a quest'ultimo, all'apice presenta una gemma mista.
- Dardo: è un ramo molto corto con gemme a fiore, resta produttivo per diversi anni e in alcune varietà è il maggior ramo fruttifero.

I fiori sono bianchi o leggermente rosati, con un diametro fino a 5 cm; questi sono composti da 5 sepali, 5 petali, 40 stami (disposti su tre verticilli) e un ovario semi-infero, uni o biovulare.

Il frutto è una drupa deiscente con un epicarpo verde e tomentoso, un mesocarpo fibroso e asciutto e un endocarpo che corrisponde al guscio, che può presentarsi di diversa forma e dimensioni in base alla

cultivar; l'epicarpo insieme al mesocarpo costituiscono il mallo che a maturazione si apre lungo la linea di sutura mettendo a nudo il guscio.

Il seme corrisponde alla mandorla contenuta all'interno del guscio, formata da un tegumento esterno (marrone chiaro o scuro) che avvolge i due cotiledoni bianchi e l'embrione.

Il mandorlo è caratterizzato da una fioritura precoce, è infatti una delle prime specie da frutto che fiorisce dopo il riposo invernale. La sua fioritura dura da 1 a 3 settimane e in Italia inizia a partire dalla metà di febbraio fino agli inizi di marzo; presenta dei fiori ermafroditi ed un'impollinazione entomofila operata dalle api.

La maggior parte delle varietà coltivate sono caratterizzate da fenomeni di autoincompatibilità, provocati dalla sterilità degli organi florali; fanno eccezione alcune cultivar storiche pugliesi come ad esempio 'Genco', 'Supernova' e 'Tuono', che risultano autocompatibili.

Siccome la produzione del mandorlo si identifica con quella del seme e la maggior parte delle varietà risultano autoincompatibili, per garantire una buona produzione, è indispensabile massimizzare sia l'impollinazione che la fecondazione dei fiori. Dunque si rende necessario, al momento dell'impianto, piantare varietà diverse e sistemare delle arnie in modo da favorire l'impollinazione operata dalle api.

Per quanto riguarda l'accrescimento del frutto si hanno solo due fasi, la citochinesi e l'indurimento nocciolo, in quanto non si verifica la fase di distensione cellulare. L'indice di maturazione utilizzato è la deiscenza dei mali (in Italia può variare da metà agosto a tutto ottobre).

2.1 LE CULTIVAR DI MANDORLO

Il germoplasma del mandorlo è formato da circa 100 varietà diverse presenti sia in Italia che all'Estero e originatesi principalmente a partire dalla propagazione per seme delle piante.

Ad oggi infatti la maggior parte delle varietà locali presenta un'origine naturale e ignota, mentre sono poche le varietà moderne ottenute per incrocio e impiegate nei programmi di miglioramento genetico della specie.

Le nuove cultivar che oggi il mercato è interessato a produrre sono caratterizzate in primis dall'autofertilità e dalla fioritura tardiva, caratteristiche indispensabili per ridurre i problemi derivanti da andamenti climatici bizzarri e dalle gelate tardive, caratteristiche degli ambienti mediterranei, che possono influenzare negativamente l'impollinazione ed una buona allegagione dei frutti; in California la fioritura tardiva può aiutare ad evitare i danni che la pioggia causa durante la fioritura.

Un'altra caratteristica importante per le nuove cultivar è la bassa tendenza a produrre semi doppi, caratteristica che si rivela di estrema importanza sia per il mercato statunitense, sia per il mercato europeo, soprattutto nel momento in cui il prodotto è destinato all'industria dei confetti.

Molto importanti sono anche le altre numerose caratteristiche agronomiche e commerciali come il livello di produzione, il vigore, le caratteristiche di crescita e di ramificazione, la resistenza alle malattie, la qualità del prodotto e così via.

Per la creazione di nuove cultivar da coltivare nel clima mediterraneo, sono stati realizzati vari incroci tra varietà dai caratteri unici, utilizzando ad esempio le cultivar pugliesi per l'autofertilità, le cultivar ucraine per la fioritura tardiva e le cultivar francesi e spagnole per la qualità dei frutti.

2.1.1 *CULTIVAR ITALIANE*

- 'Pizzuta d'Avola': è in assoluto la più celebre delle cultivar di mandorlo per l'utilizzo nella confetteria, distinguendosi per forma e sapore del seme. I suoi punti deboli sono la fioritura troppo precoce nell'Italia continentale, l'autosterilità e la tendenza a produrre semi doppi in percentuale superiore al 5%.

- ‘Falsa Barese’: è caratterizzata da una fioritura tardiva, è autofertile, dalla produzione elevata e costante, con una limitata percentuale di semi doppi. Non presenta eccellenti caratteristiche estetiche dei semi, a causa del colore scuro e della ruvidezza dei tegumenti.
- ‘Fascionello’: eccelle, sebbene meno di ‘Pizzuta d’Avola’, per le caratteristiche estetiche del seme, che ne fanno la seconda delle due cultivar leader della mandorlicoltura siciliana per l’industria dei confetti. La fioritura troppo precoce la rende incompatibile con le condizioni climatiche della sottozona continentale. L’autosterilità e la tendenza a produrre semi doppi in percentuali superiori al 5% sono gli altri suoi punti deboli.
- ‘Fellamasa’: non è stata ancora compiutamente valutata in modo unanime. Nonostante l’autofertilità, la produttività è risultata incostante in più ambienti di prova e la tendenza a produrre semi doppi è apparsa evidente.
- ‘Fragiulio Grande’: si tratta di una cultivar adatta all’industria dei confetti, presenta una fioritura più tardiva di ‘Fascionello’ e ‘Pizzuta d’Avola’ e quindi risulta più adatta per ambienti di coltivazione della sottozona continentale. L’autosterilità e le particolari esigenze in fatto d’impollinatori, ne fanno una cultivar dalla produttività incostante. La produzione di semi doppi tende ad eccedere il limite del 5%.
- ‘Genco’: la fioritura tardiva, l’autofertilità, la produzione elevata e costante, e l’assenza di semi doppi hanno reso questa cultivar ben accetta. I suoi punti deboli sono il ritardo della maturazione, che potrebbe sconsigliarne la diffusione in aree collinari continentali, nonché le caratteristiche estetiche del seme, ovoidale breve.
- ‘Pepparudda’: cultivar autofertile, caratterizzata da una produttività elevata e costante. La forma del seme non la rende gradita in ambienti più avvezzi a semi adatti per la confetteria. La fioritura relativamente precoce non la fa ritenere idonea in tutti gli ambienti continentali.
- ‘Sannicandro’: è una cultivar autofertile e produttiva, sebbene a fioritura precoce. Il seme è di buon sapore, adatto per particolari linee di lavorazione da parte dell’industria dolciaria, non presentando semi doppi. La forma «tondina» del seme non ha finora trovato un apprezzamento unanime.

- ‘Supernova’: cultivar dalla fioritura tardiva, autofertile, caratterizzata dalla produzione elevata e costante tanto nella sottozona continentale quanto in quella insulare. Tendenza a produrre semi doppi ben oltre il 5%.
- ‘Trianella’: è tra le cultivar adatte alla produzione di confetti che presenta un’epoca di fioritura più tardiva rispetto a ‘Pizzuta d’Avola’, ‘Fascionello’ e ‘Fragiulio Grande’. L’autosterilità obbliga alla consociazione con idonei impollinatori, presenta inoltre una tendenza a produrre semi doppi in percentuale superiore al 5%.
- ‘Tuono’: è l’autofertile pugliese più conosciuta e utilizzata in programmi di miglioramento genetico del mandorlo. Fioritura tardiva, maturazione precoce e sapore del seme sono i suoi punti forti. I suoi punti deboli sono la predisposizione all’alternanza di produzione, la sensibilità a *Monosteira unicosata* (cimice del mandorlo) ed al complesso del mosaico, nonché la tendenza a produrre elevate percentuali di semi doppi, quest’ultima è una caratteristica che ha trasmesso a tutti i suoi discendenti (‘Ayles’, ‘Antoñeta’, ‘Cambra’, ‘Felisia’, ‘Lauranne’, ‘Marta’, ‘Moncayo’, ‘Steliette’).
- ‘Garibaldina’: varietà di origine pugliese, autofertile, con albero di vigore medio a portamento espanso, di rapida messa a frutto ed elevata produttività. L’epoca di fioritura è intermedia. I semi doppi sono assenti e il seme è ovatoellittico, di peso medio.

2.1.2 *CULTIVAR CALIFORNIANE*

- ‘Nonpareil’: è la cultivar più diffusa in California. E’ una cultivar a guscio morbido che produce un seme di dimensioni medie, di forma piatta e con una superficie liscia, uniforme e attraente, molto apprezzato nel mercato globale. La raccolta è precoce e l’albero ha una buona struttura che presenta un alto rendimento e una certa resistenza al gelo nella fase di pre-fioritura. Possiede un guscio chiaro e morbido con una grande apertura della sutura. E’ vulnerabile ai danni dei vermi, degli uccelli e dei roditori. Ha una resa in sgusciato molto alta, pari al 65-70%.
- ‘Padre’: è una cultivar molto produttiva a fioritura tardiva, caratterizzata da mandorle piccole di forma ampia e corta, con una superficie rugosa. Il guscio è duro e di buona integrità, non presenta nessuna apertura della sutura.

- ‘Mission’: viene chiamata anche ‘Texas’, presenta una fioritura ed una maturazione tardiva. L’albero ha una buona struttura ed è molto produttivo. E’ una varietà a guscio duro e la mandorla somiglia a quella della cultivar ‘Padre’.
- ‘Monterey’: è una cultivar che fiorisce leggermente dopo ‘Nonpareil’ e viene raccolta più tardi rispetto a quest’ultima, caratterizzata da una crescita vigorosa e dalla presenza di semi doppi. La mandorla è grande e di forma stretta allungata con una superficie profondamente rugosa. Presenta un guscio duro con una superficie regolare ed una piccola apertura della sutura.
- ‘Carmel’: cultivar a maturazione tardiva, facile da coltivare e da allevare. La raccolta non presenta problemi ed è resistente al Navel orangeworm. Il seme è di dimensioni medie, di forma stretta e con una superficie leggermente rugosa. E’ una varietà a guscio morbido, che presenta una buona integrità ed una discreta apertura della sutura.
- ‘Sonora’: cultivar a fioritura precoce, molto produttiva. La mandorla è grande, di forma stretta e lunga, di colore chiaro e con una superficie regolare. Il guscio è morbido di colore marrone scuro, presenta una superficie irregolare, con una grande apertura della sutura.

2.1.3 *CULTIVAR FRANCESI E SPAGNOLE*

- ‘Ferragnes’: è una cultivar originaria della Francia ma molto diffusa anche in Italia e nel resto d’Europa. E’ molto produttiva, presenta una fioritura tardiva e matura 2-3 giorni dopo ‘Nonpareil’. Ha un guscio duro ed il seme è grande e allungato.
- ‘Ferraduel’: è una cultivar francese con caratteristiche molto simili a ‘Ferragnes’, creata per avere una cultivar impollinatrice di quest’ultima.
- ‘Lauranne® Avijor’: originaria della Francia, figlia di cultivar pugliesi, si caratterizza positivamente per la fioritura tardiva, per l’autofertilità e per la buona produttività. Dalla cultivar madre ‘Tuono’ ha ereditato la tendenza a produrre una percentuale di semi doppi superiore al 5%.
- ‘Marcona’: è la principale cultivar commerciale in Spagna. Fiorisce presto e matura mediamente tardi. La crescita è caratterizzata dalla fioritura su lunghi germogli, che la rende molto precoce

nella produzione ma anche soggetta all'alternanza di produzione. Il guscio è molto duro e la mandorla è grande e piatta. E' suscettibile alla moniliosi.

- 'Guara': cultivar spagnola molto produttiva, presenta una fioritura tardiva ed è autofertile. Ha un guscio molto duro e presenta una percentuale media di semi doppi.
- 'Soleta': varietà spagnola ottenuta da un incrocio di 'Blanquerna' x 'Belle d'Aurons', autofertile, con albero di vigore medio dal portamento semi-espanso, di rapida messa a frutto ed elevata produttività. L'epoca di fioritura è tardiva, il seme è ellittico allungato, di peso medio. Non presenta semi doppi.
- 'Belona': cultivar di origine spagnola ottenuta da un incrocio di 'Blanquerna' x 'Belle d'Aurons', si presta bene anche ad impianti super intensivi ed alle conseguenti operazioni meccanizzate. E' autofertile, l'albero è di vigore medio a portamento semiespanso, presenta un'epoca di fioritura tardiva, con una rapida messa a frutto ed un'elevata produttività. I semi doppi sono assenti ed il seme è di forma arrotondata e di peso medio.
- 'Marta'; varietà spagnola ottenuta da un incrocio di 'Ferragnés' x 'Tuono', è autofertile, l'albero è molto vigoroso a portamento assurgente, di rapida messa a frutto ed elevata produttività. L'epoca di fioritura è tardiva. I semi doppi sono assenti e il seme è allungato, di peso medio.
- 'Antoñeta': varietà spagnola ottenuta da un incrocio di 'Ferragnés' x 'Tuono', è autofertile, con albero di vigore elevato ed a portamento espanso, di rapida messa a frutto ed elevata produttività. L'epoca di fioritura è tardiva. Il seme è arrotondato di peso medio e i semi doppi sono assenti.
- 'Vayro': è stata creata in Spagna da un incrocio di '4-665' x 'Lauranne' realizzato nel 1991. Presenta una fioritura tardiva, è una cultivar autofertile molto produttiva e precoce nell'entrata in produzione. L'albero è molto vigoroso, con una densità dei rami media. Sembra tollerante a *Phomopsis amygdali*. Il seme ha un bell'aspetto, con dimensioni medie e di forma appuntita. Non presenta semi doppi.
- 'Marinada': è una cultivar spagnola originata da un incrocio tra 'Lauranne' x 'Glorieta' realizzata nel 1994. Fiorisce molto tardi, è autofertile e altamente produttiva, con una rapida entrata in produzione. L'albero mostra vigore medio ed è caratterizzato da una crescita medio-

eretta, con una densità dei rami medio-scarso. La mandorla ha un bell'aspetto, di medie dimensioni e arrotondata. Non presenta semi doppi.

- 'Constantí': è una cultivar spagnola ottenuta nel 1993. Presenta una fioritura tardiva, è autofertile, produttiva e precoce nell'entrata in produzione. L'albero è vigoroso e ha una crescita medio-eretta, la densità dei rami è media. La forma del seme è rotonda.
- 'Tarraco': è stata ottenuta da un incrocio tra 'FLTU18' × 'Anxaneta' del 1991, in Spagna. Fiorisce molto tardi, è autoincompatibile, altamente produttiva e molto precoce nell'entrata in produzione. L'albero mostra vigore medio e ha una crescita medio-eretta, la densità dei rami è medio-scarso. La mandorla è grande, di bell'aspetto, di forma oblunga. Non presenta semi doppi (*Vargas, et al., 2008*).

2.2 I PORTINNESTI DEL MANDORLO

I portinnesti del mandorlo possono essere suddivisi in tre gruppi: portinnesti da seme, portinnesti clonali e ibridi interspecifici.

I principali fattori da prendere in considerazione quando si effettua la scelta del portinnesto, sono l'intensificazione, la disponibilità idrica, le condizioni climatiche, le caratteristiche del terreno e gli agenti patogeni presenti all'interno di quest'ultimo.

La scelta del portinnesto per la coltivazione del mandorlo nei climi aridi deve essere basata sulla scarsa disponibilità e/o scarsa qualità dell'acqua e sui rigidi programmi di irrigazione che ci si trova ad affrontare; pertanto i portinnesti devono essere tolleranti allo stress idrico con un sistema radicale profondo ed esteso, capaci di adattarsi eventualmente a terreni pesanti con scarso drenaggio ed altamente salini.

Di recente per il mandorlo sono state condotte alcune prove su diversi tipi di portinnesto. Dal tradizionale portinnesto di mandorlo x pesco ('GF-', 'Garnem', 'Felinem' e 'Monegro') a portinnesti ibridi più vecchi come 'Barrier' e 'Isthara', nonché alcune cultivar di susino come 'Adesoto' e 'Montizo', e alcuni nuovi ibridi interspecifici come 'Root-PAC-40' e 'Root-PAC-20' (*Rubio-Cabetas, 2016*).

2.2.1 I PORTINNESTI DA SEME

I Portinnesti da seme sono chiamati anche semenzali o portinnesti franchi, questi sono piante che originano dal seme e sono caratterizzati da un elevato vigore e da un'ottima adattabilità alle più varie condizioni climatiche e pedologiche.

L'elevata vigoria che caratterizza i semenzali assicura la longevità dell'albero, così come la lenta entrata in produzione e la disomogeneità delle piante, di fatti a causa di questi ultimi due aspetti non vengono più utilizzati generalmente nei sistemi produttivi moderni, che puntano ad avere alberi sempre più piccoli in modo tale da consentire una rapida entrata in produzione ed una maggiore adattabilità alle operazioni meccanizzate.

I portinnesti da seme di mandorlo

La pianta tradizionale di mandorlo è stata utilizzata a lungo in passato grazie alle sue caratteristiche di robustezza ed alla capacità di crescere in terreni poveri, ricchi di calcare e con scarse precipitazioni, grazie al suo apparato radicale profondo. In situazioni estreme, queste caratteristiche consentono loro di sopravvivere meglio di altre colture, sebbene oggi coltivare mandorle in queste condizioni ha un interesse economico scarso o nullo.

Una caratteristica negativa del portinnesto franco del mandorlo è la disomogeneità nello sviluppo e nella crescita, l'elevata sensibilità alla manipolazione e al trapianto in campo e la sensibilità ai nematodi, ai funghi e ai coleotteri appartenenti al genere *Capnodis*; inoltre il semenzale di mandorlo è anche sensibile all'asfissia radicale, indi per cui non è adatto in condizioni di irrigazione, tranne quando il sistema di irrigazione è localizzato ed il terreno è ben drenato (*Rubio-Cabetas, 2016*).

Le cultivar classiche spagnole usate per i portinnesti franchi sono: 'Atocha', 'Desmayo', 'Largueta', 'Garrigues', 'Marcona' e 'Ramillete' (*Ramos, 1976*). In Spagna il portinnesto 'Garrigues' è stato il più utilizzato, grazie alla sua omogeneità e al suo apparato radicale forte e profondo, con la pecca di presentare in alcuni casi delle disaffinità d'innesto.

Altre cultivar usate come portinnesti franchi sono: 'Mission' in California, 'Chellaston' in Australia e 'Don Carlo' in Italia (*Fideghelli & Loreti, 2009*). In Israele sono presenti 'Alnem 1' e 'Alnem y', che sono portinnesti di mandorle amare che presentano il vantaggio di essere resistenti ai nematodi del nodo radicale.

I portinnesti da seme di pesco

Il pesco presenta una buona affinità d'innesto con il mandorlo ed inoltre le cultivar di mandorlo innestate sul pesco sono caratterizzate da una rapida crescita nei primi anni di sviluppo.

I semenzali di pesco sono stati utilizzati per lo sviluppo della mandorlicoltura irrigua, essendo meno sensibili del mandorlo ai ristagni idrici e ad altre problematiche che può presentare quest'ultimo in condizioni di irrigazione.

Il pesco è stato selezionato per la produzione di semi poiché in genere da origine a piante abbastanza omogenee.

Un vantaggio che offrono i portinnesti di pesco, oltre all'adattabilità degli alberi alle condizioni irrigue, è la conoscenza delle loro prestazioni agronomiche contro alcuni stress, come ad esempio la tolleranza ad alcune specie di nematodi.

Gli svantaggi dovuti a questi portinnesti sono la sensibilità ad alcuni patogeni comuni (*Agrobacterium*, *Armillaria*, *Phytophthora*, ecc.) e la vita degli alberi più breve rispetto ai portinnesti di mandorlo. Si può dire che il portinnesto di pesco non può essere considerato una soluzione definitiva per la coltivazione di mandorle, ma rappresenta un miglioramento per la produzione (Rubio-Cabetas, 2016).

Alcune buone cultivar utilizzate per la produzione di portinnesti sono: 'GF-305', 'Montclar' e le cultivar statunitensi 'Lovell', 'Nemaguard' e 'Nemared', che sono state ampiamente descritte (Felipe, 1989) e sono state utilizzate per molto tempo come portinnesti per il mandorlo in diversi paesi.

2.2.2 I PORTINNESTI CLONALI

La propagazione clonale, sebbene più costosa della propagazione per seme, offre il vantaggio di produrre un materiale molto omogeneo e con delle caratteristiche di crescita più note.

La cultivar 'Garfi', discendente dalla cultivar 'Garrigues', è stata selezionata per la sua facilità di propagazione. Prove di ricerca sulla propagazione mediante la radicazione di talea a legno, hanno portato a risultati soddisfacenti per 'Garfi' rispetto ad altre cultivar di mandorlo (tra cui 'Garrigues'), di pesco e di ibridi di mandorlo x pesco (Felipe, 1989); (Felipe, 1992).

I portinnesti di susino

L'apparato radicale del susino ha uno sviluppo superficiale e possedendo meno radici e di minor spessore rispetto a quelle del mandorlo e del pesco, si adatta meglio ai terreni pesanti.

I vantaggi che presentano i portinnesti di susino, nel momento in cui ci sia affinità d'innesto con il mandorlo, sono molteplici, infatti si adattano bene a diversi tipi di terreno, presentano un buon vigore, sono facili da propagare vegetativamente e presentano anche una certa tolleranza a *Phytophthora* e *Agrobacterium*.

L'affinità d'innesto con il mandorlo è molto variabile e pertanto sono necessarie delle prove sperimentali prima di poter utilizzare una particolare cultivar di mandorlo sul susino.

I portinnesti possono derivare da sia da susini a bassa vigoria sia da susini vigorosi, entrambi da prendere in considerazione esclusivamente per una coltura irrigua.

Fanno parte dei susini a bassa vigoria, i susini corrispondenti alle specie *P. domestica* L. e *P. insititia* L., cioè i susini europei. Spesso questi portinnesti presentano una buona compatibilità con il mandorlo, anche se alcune volte possono presentare una disaffinità d'innesto localizzata. Due dei portinnesti di questa categoria che hanno mostrato pochissimi problemi di disaffinità quando innestati con varietà di mandorlo, questi sono 'Adesoto' e 'Montizo', che vengono entrambi utilizzati per impianti ad alta densità; altri portinnesti appartenenti a questo gruppo, sono 'Penta' e 'Tetra', che presentano una fioritura leggermente ritardata rispetto al 'GF-677' (*Rubio-Cabetas, 2016*).

Un vantaggio di questi susini a bassa vigoria è quello di essere molto resistenti ai patogeni delle radici e all'asfissia radicale, mentre uno svantaggio da prendere in considerazione è quello derivato dalla tendenza a produrre polloni, che di conseguenza causano un aumento dei costi di gestione.

Il gruppo dei portinnesti derivanti dai susini vigorosi, comprende i susini appartenenti alla specie diploide di *P. cerasifera* (*Myrobalan*), alla specie *P. salicina* Lindl (entrambi sono susini giapponesi), ad alcuni ibridi come ad esempio 'Marianna' (*P. cerasifera* x *P. munsoniana*) e ad altri susini diploidi di diversa provenienza.

Questi portinnesti, al contrario dei portinnesti di susini a basso vigore, presentano generalmente scarsa affinità d'innesto con il mandorlo. Un'affinità d'innesto apparentemente buona l'hanno mostrata sia

‘Marianna 2624’ quando innestata con alcune cultivar californiane, sia alcuni cloni di *Myrobalan* quando innestato con alcune cultivar europee.

2.2.3 IBRIDI INTERSPECIFICI

Tra gli ibridi interspecifici del genere *Prunus*, quelli di mandorlo e pesco sono i più conosciuti e i più diffusi.

I più diffusi e studiati sono ‘INRA-GF-677’, ‘Adafuel’, ‘Garnem’, ‘Monegro’, e ‘Felinem’; mentre altri sono stati propagati solo di recente, come: ‘Replantpac’, un ibrido di *Myrobalan* x mandorlo la cui compatibilità con il mandorlo è stata già studiata (*Pinochet, 2010*), ‘RootPac 40’ che è un ibrido di mandorlo x un ibrido di pesco e ‘Root-Pac 20’ (*P. besseyi* x *P. cerasifera*).

‘INRA-GF677’ è un ibrido naturale di pesco e mandorlo trovato in Francia, introdotto nel 1939 e selezionato nella località francese di La Grande Ferrade (INRA, Bordeaux), (*Bernhard & Grasselly, 1981*). E’ un portinnesto molto vigoroso e offre il vantaggio di entrare rapidamente in produzione e raggiungere un’ottima resa. La resistenza all’asfissia di ‘INRA-GF677’ è simile alla comune pianta di pesco, ma rispetto a quest’ultima è più resistente alla clorosi. Tra gli svantaggi che presenta questo portinnesto, oltre ad essere di difficile propagazione, c’è quello di essere sensibile ad *Agrobacterium*, a *Phytophthora*, ad *Armillaria* e ai nematodi. E’ un portinnesto standard per i terreni difficili (calcarei, aridi, sfiniti). Tollera moderati livelli di salinità e presenta un buon vigore degli alberi, la sua produttività si è dimostrata maggiore quando è stato associato alle cultivar tradizionali; presenta lo svantaggio di non essere adatto in condizioni di reimpianto.

‘Adafuel’ è un clone selezionato in Spagna (*Cambra & Iturrioz, 1986*) da una raccolta di oltre sessanta ibridi spontanei provenienti da varie regioni spagnole. È un portinnesto più vigoroso rispetto a ‘INRA-GF-677’, che si adatta meglio in condizioni di irrigazione. La sua resistenza all’asfissia radicale è la stessa del pesco. È più resistente alla clorosi e sembra meno sensibile ad *Agrobacterium*, rispetto a ‘GF677’; tuttavia ha mostrato una certa sensibilità ai nematodi e presenta gli stessi problemi di propagazione di ‘INRA-GF677’. E’ un portinnesto interessante in condizioni di reimpianto e di terreno calcareo.

‘Felinem’, ‘Garnem’ e ‘Monegro’ sono tre cloni che furono ottenuti dall’incrocio tra la cultivar spagnola ‘Garfi’ (*Prunus amygdalus Batsch*) come genitore femminile e il pesco nordamericano ‘Nemared’ [*P.*

persica (L.) Batsch] come donatore di polline. La cultivar ‘Garfi’ era stata precedentemente selezionata per le sue buone caratteristiche morfologiche e per la facile propagazione clonale (Felipe, 1989); mentre ‘Nemared’ è stata scelta principalmente per la resistenza ai nematodi del nodo radicale (Ramming & Tanner, 1983). Questi tre portinnesti presentano una buona vigoria e in condizioni di pioggia abbondante o di irrigazione garantiscono una rapida entrata in produzione. Il vigore indotto da questi portinnesti è paragonabile a quello indotto da GF, con una produttività simile a quest’ultimo (Rubio-Cabetas, 2016). Il loro livello di tolleranza alla clorosi ferrica è simile a quello di ‘GF-677’ e ‘Adafuel’ (Felipe, 1989). Tollerano bene anche le condizioni di siccità, con una maggiore resistenza allo stress idrico in ‘Monegro’ rispetto a ‘Felinem’ e ‘Garnem’. L’adattamento a terreni poveri è buono se i terreni sono ben drenati. Questi tre cloni sono resistenti alle principali specie di nematodi del nodo radicale (*Meloidogyne spp.*) (Marull, et al., 1994) e come la maggior parte dei semenzali di mandorlo e degli ibridi di mandorlo x pesco, presentano una bassa tolleranza all’asfissia radicale causata dal ristagno idrico.

3 DENSITA' D'IMPIANTO E SISTEMI PRODUTTIVI

Per quanto riguarda la mandorlicoltura, oggi nel mondo esistono tre diverse tipologie di impianti colturali: l'intensivo, l'estensivo e il superintensivo, quest'ultimo sviluppatosi solo negli ultimi anni e tutt'ora in fase sperimentale.

3.1 MANDORLICOLTURA ESTENSIVA

Oggi è una tipologia di impianto obsoleta a causa dell'impossibilità di meccanizzare le varie fasi dei processi colturali. Impianti di questo genere si trovano in varie zone del bacino del Mediterraneo, anche in Italia, dove soprattutto in passato, si è sviluppata una mandorlicoltura non irrigua che ha spesso occupato terreni poveri in zone marginali del territorio.

Le forme di allevamento utilizzate per questa tipologia d'impianto sono principalmente tre:

- vaso: è una forma in volume, abbastanza naturale. Il tronco viene tenuto ad un'altezza di circa 80/90 cm dal suolo, da cui dipartono le 3 o 4 branche principali aperte in ampiezza;
- fuso libero: si tratta di una forma che consta in un tronco centrale coperto di piccole branche produttive e un palco di quattro branche corte e robuste (circa un metro), a circa 60 o 90 cm dal suolo.
- cespuglio: in questo caso la struttura della pianta si sviluppa liberamente, acquisendo una forma tondeggiante.

In questa tipologia di impianti tutte le operazioni di gestione avvengono manualmente; non è raro trovare consociazioni di mandorlo con altre colture. La raccolta in passato avveniva tramite la scuotitura con delle mazze e ultimamente anche tramite abbacchiatori.

3.2 MANDORLICOLTURA INTENSIVA

Gli impianti intensivi oggi sono la tipologia di impianto maggiormente diffusa per la produzione di mandorle, grazie alle elevate produzioni e agli elevati redditi che permettono di ottenere; questa tipologia di impianto è quella che utilizza i maggiori input, presentando un impatto ambientale fortemente negativo.

Il sistema californiano è il tipico esempio di questo sistema produttivo; qui la mandorlicoltura dal secondo dopoguerra in poi ebbe uno notevole sviluppo, sia per quanto riguarda le tecniche colturali, che divennero sempre più meccanizzate ed efficienti, sia per quanto riguarda gli investimenti dei terreni per lo sviluppo della coltura, dedicando a quest'ultima i terreni del fondovalle, occupando così le terre migliori che disponevano di grandi quantità d'acqua.

Spesso in California vengono abbinate due o più varietà che presentano lo stesso periodo di fioritura, a causa dell'autosterilità delle cultivar utilizzate.

Di solito le distanze d'impianto si aggirano intorno ai 6 x 7 m (238 piante per ha), con variazioni in base alla fertilità del suolo; queste distanze di impianto facilitano le operazioni meccaniche. Ultimamente, nei mandorleti intensivi di nuova concezione si punta ad avere una più elevata densità di piante per ettaro (400-500), distribuite solitamente secondo sesti rettangolari (5-6 m x 4-5 m) adatti ad una più razionale gestione del terreno e delle operazioni di raccolta, che è parzialmente o totalmente meccanizzata.

In questa tipologia d'impianto gli alberi di mandorlo presentano un periodo improduttivo di 2-3 anni dopo la messa a dimora e un periodo produttivo che può arrivare fino ai 20-25 anni.

Di solito vengono trapiantati gli astoni di 1-2 anni che vengono messi a dimora con operazioni effettuate spesso meccanicamente. Appena trapiantati gli alberi vengono potati a circa settantacinque cm di altezza, lasciando tre o quattro rami con una o due gemme per ramo. Questa operazione favorisce lo sviluppo delle impalcature primarie, andando a formare la tipica forma a vaso con tre o quattro branche principali, una forma di allevamento ideale per la raccolta meccanica mediante scuotitori e per la distribuzione di antiparassitari. Idealmente la struttura scheletrica dell'albero deve essere a cono rovesciato, in modo da facilitare la trasmissione delle vibrazioni dal tronco alle branche principali e da queste a quelle più laterali.

Dal terzo anno la potatura di produzione mira a favorire un'illuminazione completa della chioma ed una giusta areazione al suo interno; i tagli riguardano l'eliminazione dei succhioni ed il rinnovamento dei rami produttivi.

In passato l'irrigazione dei mandorleti avveniva per inondazione, oggi a causa delle risorse idriche sempre inferiori, la microirrigazione è il sistema maggiormente utilizzato e l'uso di nuove tecnologie, come i sensori di umidità del suolo, vengono utilizzate per verificare l'accuratezza del programma di irrigazione.

Di solito la gestione del suolo secondo questo modello prevede il diserbo totale e una successiva rullatura del suolo per agevolare le operazioni durante la raccolta, quali scuotitura, andatura e spazzolatura meccanica (Payne, 2019).

3.3 MANDORLICOLTURA SUPERINTENSIVA

Ultimamente per il mandorlo è stato proposto un nuovo sistema produttivo, simile a quello utilizzato nei frutteti a foglie decidue. Questo è un modello bidimensionale (2D), caratterizzato da una superdensità elevata, chiamato anche sistema sostenibile ed efficiente (SES).

Tipologie di impianto di questo tipo si sono sviluppate solo di recente e sono tutt'ora in fase di sperimentazione.

L'aspetto chiave di questo sistema è l'utilizzo di portinnesti nanizzanti, come ad esempio il Rootpac-40 o il Rootpac-20, che permettono di aumentare la densità di alberi, che può arrivare anche a 2500 alberi ad ettaro, creando pareti produttive che di solito non superano i 2,7 m di altezza; così facendo si ha il vantaggio di ridurre il periodo improduttivo che come sappiamo è generalmente inversamente proporzionale al vigore degli alberi.

Questi sistemi consentono di avere alberi più piccoli e più efficienti, presentando il notevole vantaggio della meccanizzazione di tutte le operazioni, compresa la potatura (Figura 3), che permette di abbassare i costi di gestione e di avere un più efficiente utilizzo del suolo e degli input, inclusa l'acqua.

La mandorlicoltura superintensiva fa affidamento a due sesti di impianto principali che sfruttano entrambi la forma di allevamento a parete, questi sono:

1. Il 'siepone' con distanze di 1,20-1,30 metri sulla fila e 4,00 metri tra le file (altezza delle piante di 2-2,5 metri).
2. Il monoasse con distanze di 0,80-1,00 metro lungo la fila e 3,50-4,00 metri tra le file (altezza delle piante di 2 metri).

Come è già stato detto, le operazioni sono completamente meccanizzate a partire dalla messa a dimora delle piantine, che viene attuata con delle trapiantatrici meccaniche, per finire con la raccolta che viene effettuata utilizzando macchine scavallatrici.



Figura 3: Potatura meccanizzata in un mandorleto superintensivo (Fruit journal).

4 QUALITA' COMMERCIALE DELLE MANDORLE

Nel comparto agroalimentare la qualità di un prodotto è valutata in base al suo luogo di origine, alla sua natura igienico-sanitaria, alle caratteristiche organolettiche e nutrizionali, alle sue dimensioni ed al suo aspetto estetico in generale.

I criteri utilizzati per definire i livelli di qualità delle mandorle, fondamentali per la relativa commercializzazione, fanno affidamento soprattutto alla natura igienico-sanitaria del prodotto, all'aspetto estetico in generale e all'uniformità che presenta il prodotto stesso.

La qualità e la durata delle mandorle dipendono in generale da tre fattori: le caratteristiche del prodotto, l'ambiente durante la distribuzione e l'immagazzinamento, e il confezionamento.

Temperature e umidità elevate possono ridurre significativamente la qualità e la durata di conservazione. Per questo motivo, le mandorle vengono di norma conservate in ambienti freschi e asciutti. Anche la lavorazione può influire sulla durata delle mandorle. In generale, il taglio (frantumazione, sminuzzatura, affettatura, tritatura) e la spellatura aumentano l'area della superficie esposta e avviano il processo ossidativo che può ridurre la durata; inoltre è buona pratica evitare l'esposizione alla luce solare diretta, che può scurire la superficie della mandorla.

Nei sotto capitoli seguenti verranno descritti in dettaglio gli standard qualitativi utilizzati da USDA e da UNECE.

4.1 STANDARD E QUALITA' DELLE MANDORLE SECONDO USDA

I livelli di qualità definiti da USDA per le mandorle sono standard minimi stabiliti su base volontaria. L'industria statunitense della mandorla è in grado di fornire mandorle secondo specifiche uniche indicate dal cliente, sia in termini di dimensioni sia di qualità, a seconda delle applicazioni cui sono destinate. I parametri di qualità definiti da USDA stabiliscono tolleranze per vari fattori qualitativi e a seconda dell'uso cui sono destinate, la qualità può essere più o meno rilevante.

Le differenti qualità sono definite dagli standard minimi consentiti e dalle tolleranze per ciascuna qualità di mandorla. Più alta è la percentuale indicata, maggiore è la tolleranza per quel particolare fattore di qualità.

I difetti che le mandorle possono presentare (nel caso delle mandorle in guscio non vengono presi tutti in considerazione) sono elencati qui sotto:

- mandorle dissimili: diverse varietà di mandorle in un insieme;
- mandorle doppie: due mandorle sviluppatesi in un guscio. Un lato delle mandorle doppie è piatto o concavo;
- scheggiature o graffi: perdita di tegumento della mandorla in seguito a lavorazione meccanica. Superiore a 3,2 mm di diametro è definita una lesione; se nel complesso interessa più di 6,4 mm di diametro è definito un difetto;
- materiale estraneo: pezzi di guscio, mallo o altro materiale estraneo che non passa attraverso un setaccio ad aperture circolari di 3,2 mm di diametro;
- particelle e polvere: frammenti di mandorle o altro materiale che passa attraverso un setaccio ad aperture circolari di 3,2 mm di diametro;
- spaccate o rotte: sette ottavi o meno delle mandorle intere che non passano attraverso un setaccio ad aperture circolari di 3,2 mm di diametro;
- altri difetti: qualunque difetto che comprometta materialmente l'aspetto estetico della singola mandorla o della parte commestibile o la qualità della mandorla. Tra i difetti ci sono resina, rugosità, macchie scure e scolorimento;
- difetti gravi: qualunque difetto che renda una mandorla o un pezzo di mandorla non idoneo (parti marce, rancidità, danni da insetti o da muffe).

La dimensione delle mandorle, salvo diversa indicazione, deve essere 28/64 di pollice di spessore (*USDA, s.d.*).

4.1.1 LIVELLI DI QUALITA' DELLE MANDORLE CON GUSCIO

In base alla percentuale dei vari difetti che le mandorle presentano, le mandorle in guscio vengono classificate in quattro classi, che sono le seguenti:

- U.S. NO. 1: presentano caratteristiche di varietà simili. Prive di materiale estraneo mobile. I gusci sono puliti, piuttosto brillanti, uniformi in colore e privi di danni causati da scolorimento, mallo aderente, gusci spezzati o da altro. Le mandorle sono ben essiccate, prive di parti marce, rancidità, danni causati da insetti, muffa, resina, scolorimento della buccia, rugosità, macchie

scure o altro. Materiale estraneo mobile: 2%, incluso 1% passato attraverso un setaccio da 24/64 di pollice (anche in peso). Difetti interni: 10%, incluso il 5% di danni gravi;

- U.S. NO. 1 MISTE: qualità U.S. No. 1, tranne per il fatto che sono due o più varietà miste;
- U.S. NO. 2: consiste di mandorle in guscio che soddisfano i requisiti di qualità U.S. No. 1, tranne che per una tolleranza aggiuntiva del 20% per mandorle con guscio con danni di scolorimento;
- U.S. NO. 2 MISTE: Consiste di mandorle nel guscio che rispondono ai requisiti di qualità U.S. No. 2, tranne per essere un misto di due o più varietà (*Tabella 1*);

QUALITÀ USDA DELLE MANDORLE CON GUSCIO

QUALITÀ USDA	MEDIA	DIFETTO ESTERNO	DISSIMILI	DIMENSIONI RIDOTTE	MATERIALE ESTRANEO	DIFETTO INTERNO (MANDORLA)
U.S. NO.1*	28/64	10%	5%	5%	2%	10%
U.S. NO. 1 MISTE	28/64	10%	—	5%	2%	10%
U.S. NO. 2	28/64	10%	5%	5%	2%	10%
U.S. NO. 2 MISTE	28/64	10%	—	5%	2%	10%

- Include max. 5% di difetti gravi, non insetti vivi nel guscio.
- Include un max. di 1% meno di 24/64 in peso. Tutti gli altri per conteggio.
- 20% aggiuntivo per scolorimento del guscio.

*U.S. No. 1 è nota comunemente nel settore come Supreme. Tuttavia, Supreme non è un livello di qualità USDA.

Tabella 1: classi di qualità delle mandorle in guscio, secondo USDA (USDA, s.d.).

4.1.2 LIVELLI DI QUALITÀ DELLE MANDORLE SGUSCIATE

In base alla percentuale di difetti che presentano, le mandorle sgusciate vengono inserite in sette classi di qualità (*Tabella 2*), le prime cinque sono:

- U.S. FANCY: è il grado più elevato, tipicamente idoneo per prodotti in cui l'aspetto estetico della mandorla è estremamente importante;
- U.S. EXTRA NO. 1: simile a U.S. Fancy, ideale per applicazioni alimentari in cui l'aspetto della mandorla è molto importante;
- U.S. NO. 1: a volte chiamata Supreme, è spesso usata per utilizzi con mandorla intera o per ulteriore lavorazione, quale spellatura e tostatura;

- U.S. SELECT SHELLER RUN: livello di qualità medio, adatta per utilizzi in cui la mandorla viene incorporata con altri ingredienti con minima selezione e lavorazione; per esempio, in prodotti di pasticceria è accettabile un livello più alto di mandorle scheggiate o graffiate. Adatte anche per ulteriore lavorazione, quale spellatura, tritatura, tostatura, frantumazione e affettatura;
- U.S. STANDARD SHELLER RUN: qualità giusta per ulteriore lavorazione, come spellatura, frantumazione, tritatura o impasto, in particolare quando un livello più elevato di mandorle spaccate o rotte non è importante (*USDA, s.d.*).

QUALITÀ USDA DELLE MANDORLE SGUSCIATE

QUALITÀ USDA	MANDORLE INTERE	DIAMETRO MINIMO (IN POLLICI)	DISSIMILI	MANDORLE DOPPIE	SCHEGGIATURE E GRAFFI	MATERIALE ESTRANEO	PARTICELLE E POLVERE	SPACCATE O ROTTE	ALTRI DIFETTI	DIFETTI GRAVI	DIMENSIONI RIDOTTE
U.S. FANCY	–	–	5%	3%	5%	0,05%	0,1%	1%	2%	1%	–
U.S. EXTRA NO. 1	–	–	5%	5%	5%	0,05%	0,1%	1%	4%	1,5%	–
U.S. NO. 1 (SUPREME)*	–	–	5%	15%	10%	0,05%	0,1%	1%	5%	1,5%	–
U.S. SELECT SHELLER RUN	–	–	5%	15%	20%	0,1%	0,1%	5%	3%	2%	–
U.S. STANDARD SHELLER RUN	–	–	5%	25%	35%	0,2%	0,1%	15%	3%	2%	–
U.S. NO. 1 INTERA E ROTTA	30%	20/64 SDI [†]	5%	35%	x	0,2%	0,1%	x	5%	3%	5%
U.S. NO. 1 PEZZI	x	8/64	x	x	x	0,2%	1%	x	5%	3%	5%

Nessun limite stabilito. x

Incluso anche in "altri difetti".

Incluso al massimo il 2% sotto i 20/64 di pollice.

Incluso max. 5% sotto i 20/64 di pollice. % incluso anche in "Scheggiature e graffi".

*U.S. No. 1 è nota comunemente nel settore come Supreme. Tuttavia, Supreme non è un livello di qualità USDA.
[†]SDI = Salvo diversa indicazione.

Tabella 2: classi di qualità delle mandorle sgusciate secondo USDA (*USDA, s.d.*).

4.2 STANDARD E QUALITA' DELLE MANDORLE CON GUSCIO, SECONDO UNECE

I seguenti criteri di classificazione delle mandorle sono stati definiti da UNECE e vengono applicati alle mandorle dolci con guscio a cui è stato rimosso il mallo, destinate al consumo diretto o alla miscelazione con altri prodotti, anch'essi destinati al consumo diretto, senza essere ulteriormente processate; questi standard infatti non vengono utilizzati per le mandorle in guscio destinate alla lavorazione industriale.

Le mandorle in guscio vengono classificate in due tipi, in base alla durezza del guscio:

- Morbido/semi-morbido: mandorle con guscio che possono essere facilmente spezzate con le dita o con uno schiaccianoci.
- Duro: mandorle con guscio che possono essere spezzate solo con un martello o dispositivi simili.

In tutte le classi, fatta eccezione per le disposizioni speciali di ciascuna classe e le tolleranze consentite, le mandorle in guscio devono presentare le seguenti caratteristiche:

1. Il guscio deve essere:
 - intatto; tuttavia, le crepe, i danni superficiali e le piccole parti esterne del guscio mancanti non sono considerati un difetto a condizione che il seme sia fisicamente protetto; nelle mandorle a guscio morbido e semi-morbido un'apertura della sutura non è considerata un difetto;
 - pulito, praticamente privo di corpi estranei visibili, compresi i residui del mallo, che interessano oltre il 5% della superficie totale del guscio;
 - privo di imperfezioni, zone di scolorimento o macchie sparse in netto contrasto con il resto del guscio che colpiscono oltre il 25% della superficie totale del guscio;
 - ben formato; non deformato notevolmente.
2. Il seme deve essere:
 - privo di rancidità;
 - sufficientemente sviluppato. Il seme non deve presentare un avvizzimento che interessa oltre il 25% del totale;
 - privo di danni causati dai parassiti, inclusa la presenza di insetti morti e/o acari ed i loro escrementi;
 - privo di imperfezioni, zone di scolorimento o macchie sparse in netto contrasto con il resto del seme che colpiscono oltre il 25 percento della superficie del seme;

- privo di sostanze resinose superiori ad un'area complessiva di 6 mm di diametro;
- privo di macchie marroni (leggermente depresse e causate da insetti) che interessano un'area complessiva maggiore di 3 mm di diametro;
- ben formato; tuttavia, semi doppi, ovvero semi con un lato piatto o concavo, come conseguenza dello sviluppo di due semi nello stesso guscio, non sono considerati un difetto.

3. L'intero prodotto (seme e guscio) deve essere:

- essiccato, quindi contenere un'umidità complessiva non superiore all'11%;
- sano; sono da escludere prodotti colpiti da decomposizione o deterioramento, tali da renderli inadatti al consumo da parte dell'uomo;
- privo di filamenti di muffa visibili ad occhio nudo;
- esenti da parassiti viventi, qualunque sia il loro stadio di sviluppo;
- privo di danni causati da parassiti, inclusa la presenza di insetti morti e/o acari e i loro escrementi;
- privo di un'anormale umidità esterna;
- privo di odore e/o sapore estranei.

Le mandorle in guscio sono classificate in tre classi: Classe extra, Classe I e Classe II.

Il dimensionamento è facoltativo; quando vengono dimensionate, la dimensione viene determinata dal conteggio, ovvero dal numero di mandorle con guscio per 1000 g o per libbra (453,6 g).

Al di sotto di determinate percentuali sono ammesse alle diverse classi anche mandorle che presentano difetti qualitativi (*Tabella 3*) (*UNECE, s.d.*).

<i>Difetti ammessi</i>		<i>Percentuale di tolleranza ammessa di prodotto difettato nella conta, se non diversamente specificato</i>		
		<i>Extra</i>	<i>Classe I</i>	<i>Classe II</i>
<i>A</i>	<i>Tolleranza massima di mandorle in guscio che non soddisfano i requisiti minimi</i>	<i>[10]</i>	<i>[15]</i>	<i>[25]</i>
	<i>Semi di mandorla resinosi o che presentano macchie marroni</i>	<i>3</i>	<i>7</i>	<i>10</i>
	<i>Ammuffite, rancide o danneggiate da insetti, decomposte o deteriorate</i>	<i>2</i>	<i>5</i>	<i>7</i>
	<i>di cui: ammuffite non più di</i>	<i>0.5</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
	<i>Insetti vivi</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>B</i>	<i>Tolleranza massima delle dimensioni</i>			
	<i>Per prodotti non conformi alla dimensione indicata, se dimensionata</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>10</i>
<i>C</i>	<i>Tolleranza massima per altri fattori</i>			
	<i>Materiale estraneo, gusci rotti, parti del mallo, polvere (in peso)</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
	<i>Mandorle amare</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
	<i>Mandorle in guscio appartenenti a varietà o a tipi commerciali diversi da quello indicato</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>

Tabella 3: classi di qualità delle mandorle in guscio, secondo UNECE.

5 SCOPO DELLA TESI

Il mandorlo essendo una specie resistente alla siccità (*Torrecillas, et al., 1996*), svolge un ruolo importante nella lotta alla desertificazione (*Rouhi, et al., 2007*) quando viene coltivato in aree dove c'è carenza di acqua, scarse precipitazioni ed alte temperature.

La sostenibilità dei mandorleti nelle terre aride è compromessa negli anni in cui non si verificano piogge invernali e primaverili, causando una bassa produttività delle colture (*Girona & Marsal, 1995*);(*Torrecillas, et al., 1989*). Nei paesi aridi e semiaridi, vengono praticate varie strategie di deficit di irrigazione (DI) per aumentare la produttività delle colture.

Le strategie di DI si sono dimostrate efficaci nell'aumentare la produttività delle acque di irrigazione (IWP), ovvero la resa prodotta per unità di acqua di irrigazione applicata, in molte specie di colture (*Fereres & Soriano, 2007*); tra queste troviamo anche il mandorlo che è noto per essere una coltura che risponde positivamente alle pratiche di DI, come riportato in numerosi studi sperimentali sul campo (*Goldhamer & Viveros, 2000*); (*Girona, et al., 2005*).

Lo scopo della tesi è quello di valutare la risposta del mandorlo alle diverse pratiche di deficit idrico, confrontarle tra loro e valutare la strategia più adeguata a questa coltura, consentendo di praticare una mandorlicoltura più sostenibile senza dover rinunciare al reddito che la coltura stessa è in grado di fornire agli agricoltori.

In particolare si prenderanno in considerazione alcune delle pratiche studiate nell'ultimo ventennio, che consentono di ridurre i volumi irrigui, andando a creare un deficit tra evapotraspirazione ed acqua somministrata che si traduce in un consistente risparmio idrico.

6 IL DEFICIT IDRICO

Fino ad ora la strategia di irrigazione usata per il mandorlo è stata quella di fornire acqua sufficiente affinché la coltura traspirasse al suo massimo potenziale e i requisiti di evapotraspirazione (ET) fossero completamente soddisfatti per tutta la stagione.

Questo approccio è sempre più criticato da gran parte della società nelle regioni in cui l'acqua è scarsa, a causa sia della grande quantità di acqua richiesta dall'irrigazione della coltura sia degli effetti negativi che tali utilizzi hanno sull'ambiente.

Pertanto, si sta verificando un cambiamento strategico nella gestione delle risorse idriche, che limita l'offerta di acqua disponibile per l'irrigazione a ciò che resta dopo che tutti gli altri settori con priorità più alta soddisfano le loro esigenze. In tali situazioni, gli agricoltori ricevono spesso assegnazioni di acqua al di sotto del fabbisogno massimo di ET della coltura e pertanto sono costretti a concentrare l'offerta su una superficie più piccola oppure devono irrigare l'area totale con livelli inferiori di ET della coltura completi (Feres & Soriano, 2007).

L'applicazione di acqua al di sotto dei requisiti evapotraspirativi della coltura è definita deficit irrigation (DI), quindi la fornitura di irrigazione nelle pratiche di DI è ridotta rispetto a quella necessaria per raggiungere la massima evapotraspirazione colturale (ET_c). Le strategie di DI sono attualmente praticate per aumentare l'efficienza con cui le colture usano l'acqua (Egea, et al., 2009).

Per quantificare il livello di DI è innanzitutto necessario definire il valore dell'evapotraspirazione completa delle colture. Fortunatamente, da quando Penman (1948) ha sviluppato l'approccio combinato per calcolare l'ET, la ricerca sui fabbisogni idrici delle colture ha prodotto diversi metodi affidabili per il suo calcolo.

Allo stato attuale, l'equazione di Penman-Monteith è il metodo stabilito per determinare l'ET delle principali colture erbacee con sufficiente precisione ai fini gestionali. Vi è, tuttavia, maggiore incertezza quando si utilizza lo stesso approccio per determinare i requisiti di ET delle colture arboree e viticole (Feres & Goldhamer, 1990).

L'irrigazione deficitaria ha avuto un maggiore successo sulle colture arboree rispetto alle erbacee, perché nelle prime il ritorno economico è basato anche sulla qualità dei prodotti e quindi non è direttamente correlato alla quantità di biomassa come avviene maggiormente per le erbacee.

Molti alberi da frutto sono poco sensibili alla carenza idrica in determinate fasi fenologiche e grazie a sistemi irrigui come la microirrigazione diventa sempre più semplice controllare l'applicazione di acqua e quindi gestire lo stress idrico.

Dal punto di vista dello stoccaggio idrico nel suolo, il deficit idrico provoca un decremento della traspirazione, portando ad un maggior contenuto idrico nel terreno. Poiché la porzione superiore delle piante arboree è più alta ed irregolare delle erbacee, si rapportano meglio con l'atmosfera e la riduzione della conduttanza stomatica è meglio proporzionata.

Aumentando l'irrigazione, aumenta l'evapotraspirazione più o meno linearmente, fino ad un punto in cui le relazioni diventano curvilinee, in quanto una parte dell'acqua viene persa e non traspirata.

Con il giusto rapporto la resa raggiunge il massimo valore, al di là di questo punto un aumento di somministrazione idrica non provoca ulteriori incrementi di produzione (Figura 4).

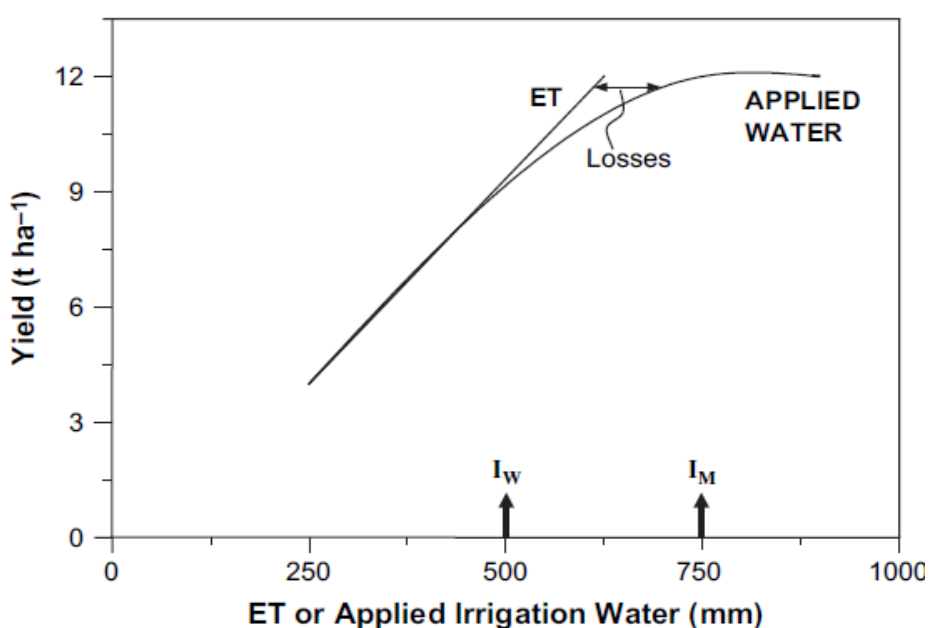


Figura 4: relazioni tra irrigazione applicata, evapotraspirazione e resa della coltura. IW indica il punto oltre il quale la produttività dell'irrigazione inizia a decrescere, mentre al di là del punto IM la resa non aumenta incrementando il volume irriguo. (Fereres & Soriano, 2007).

Generalmente il DI viene definito “incontrollato” quando l’approvvigionamento idrico è limitato dalla disponibilità e dalla quantità di acqua erogata per l’irrigazione nell’azienda agricola. Questa situazione si verifica spesso nella maggior parte delle regioni del Mediterraneo poiché le agenzie idriche distribuiscono l’acqua alle aziende agricole sulla base di fattori casuali ed imprevedibili, come la siccità o le decisioni politiche prese a livello regionale o nazionale (*Egea, et al., 2009*).

Ogni volta che l’acqua per l’irrigazione potrebbe essere fornita in modo piuttosto continuo alle colture (ad esempio, utilizzando l’acqua immagazzinata in riserve agricole o di irrigazione collettiva), potrebbero essere applicate strategie di DI “controllate”, come l’irrigazione a deficit regolato (RDI), (*Chalmers, et al., 1981*), l’irrigazione da deficit sostenuto (SDI), (*Girona, et al., 2005*); (*Moriana, et al., 2003*) e l’essiccazione parziale della rizosfera (PRD) (*Dry, et al., 1996*); (*Dry & Loveys, 1999*).

Queste strategie sono note per ridurre sostanzialmente il consumo di acqua degli alberi senza indurre un impatto significativamente negativo sulla produttività delle colture (*Fereres & Soriano, 2007*).

6.1 DEFICIT IDRICO SOSTENUTO (SDI)

Il deficit idrico sostenuto (Sustained Deficit Irrigation, SDI) mira a fornire una quantità uniforme e ridotta (cioè inferiore al valore dell’evapotraspirazione colturale) di acqua per l’irrigazione durante la stagione di crescita, promuovendo un graduale sviluppo dello stress idrico delle piante man mano che la stagione avanza e l’acqua del suolo si esaurisce (*Fereres & Soriano, 2007*); (*Caruso, et al., 2011*).

6.2 DEFICIT IDRICO REGOLATO (RDI)

Il deficit idrico regolato (Regulated Deficit Irrigation, RDI) è stato inizialmente proposto come metodo di irrigazione per controllare il vigore vegetativo e si basa sul principio di applicare meno acqua durante determinati periodi del ciclo di crescita che sono meno sensibili (cioè non critici) allo stress idrico rispetto ad altre fasi fenologiche (*Chalmers, et al., 1981*).

L’RDI è stato applicato con successo in molte specie di alberi da frutto come il limone (*Domingo, et al., 1996*), il mandorlo (*Romero, et al., 2004*) o gli alberi di albicocco (*Pèrez-Pastor, et al., 2009*) per migliorare l’efficienza dell’acqua di irrigazione (IWP) senza o con piccole penalità sulla resa delle colture e sulla qualità dei frutti.

Nei mandorli, il periodo di riempimento del seme (fase IV) che coincide con i mesi di maggiore richiesta di evaporazione, cioè durante la stagione estiva, è spesso considerato “non critico” per lo stress idrico (Romero, et al., 2004); (Girona, et al., 2005) rispetto alle fasi sensibili della fioritura, della rapida crescita vegetativa (stagione primaverile) (Goldhamer & Smith, 1995) e della fase post-raccolta (Goldhamer & Viveros, 2000).

Questa strategia presenta un ulteriore vantaggio in termini di sostenibilità per le aree aride e semiaride come il bacino del Mediterraneo, dove la maggiore pressione sulle risorse idriche da parte dei settori concorrenti (ovvero urbano, turistico, industriale, agricolo) si verifica in estate (Egea, et al., 2011 a).

6.3 ESSICAZIONE PARZIALE DELLA RIZOSFERA (PRD)

Il partial rootzone drying (PRD) è una tecnica di somministrazione di stress idrico, applicata per la prima volta nei primi anni '90 su vite in Australia, poi si è estesa anche a fruttiferi e orticole (Sepaskhah & Ahmadi, 2010).

Questa tecnica prevede, tramite sub-irrigazione o microirrigazione, l'alternanza della somministrazione di acqua su un lato per volta del filare, facendo in modo che la pianta riceva acqua solo su un lato dell'apparato radicale, cambiando lato circa ogni due settimane.

Si cerca di indurre stress idrico e sfruttare la risposta fisiologica della pianta, che viene “ingannata” inducendole una falsa percezione di carenza idrica, nonostante riceva una ridotta quantità di acqua sufficiente allo sviluppo.

L'esposizione dell'apparato radicale a cicli di bagnatura ed asciugatura alternati favorisce, sul lato asciutto, la produzione di acido abscissico (ABA) da parte delle radici; quest'ultimo invia un segnale indicante lo scarso potenziale idrico del terreno, provocando così una risposta fisiologica del vegetale (chiusura stomi, minor produzione e sviluppo di germogli ecc.). Nel lato umido invece le radici assorbono l'acqua necessaria al mantenimento dei processi vitali.

Il disseccamento parziale della rizosfera incrementa lo sfruttamento dell'acqua da parte della pianta e quindi il suo WUP (efficienza di uso dell'acqua o water use potential) (Dodd, et al., 2006). Negli ultimi anni, la tecnica del PRD ha suscitato interesse tra gli scienziati perché consente il controllo della crescita

vegetativa e della traspirazione delle foglie, senza alcun o con un sottile impatto sulla resa e sulla qualità dei frutti (*Dry, et al., 1996*); (*De la Hera, et al., 2007*).

7 ANALISI DEI CASI DI STUDIO

La comune pratica irrigua sostenuta nei mandorleti dove c'è elevata disponibilità di acqua, anche se con un prezzo elevato di quest'ultima, è stata quella di fornire acqua sufficiente a compensare le perdite per evapotraspirazione colturale (ETc), un valore che è compreso tra i 900 e i 1350 mm di acqua annui (*Goldhamer & Girona, 2012*), o fornire addirittura acqua in eccesso rispetto a quest'ultimo valore.

Per comprendere meglio il quantitativo di acqua utilizzato per la produzione di mandorle, in un classico sistema intensivo come quello californiano, facciamo riferimento all'impronta idrica; l'impronta idrica rappresenta l'acqua utilizzata per creare un prodotto a tutti i livelli di produzione e di consumo (*Hoekstra, et al., 2011*); (*Hoekstra & Mekonnen, 2012*).

Negli anni che vanno dal 2004 al 2015 in California, dove la mandorlicoltura è la coltura irrigua più estesa dello stato, sono stati condotti degli studi dai quali risultò che l'impronta idrica media di un chilogrammo di mandorle sgusciate era pari a 10.240 l/kg. I calcoli dell'impronta idrica indicano che nel 2015 sono stati utilizzati in modo consumativo oltre 10 chilometri cubi di acqua per produrre il raccolto di mandorle in tutto lo stato. Nella valutazione di 43 prodotti di colture selezionate per il confronto con la mandorla, quest'ultima risultava posizionata al 43° posto in termini di impronta idrica e al 3° in termini di rango medio di nutrienti, dove viene considerato più desiderabile un rango inferiore. Quindi a fronte di un elevato consumo idrico, le mandorle rientrano tra i tre migliori alimenti in relazione ai benefici dietetici, fornendo un elevatissimo beneficio nutrizionale per unità di peso, c'è da considerare però che la sostenibilità delle singole colture in una regione agricola dovrebbe basarsi sull'impatto idrico rispetto all'acqua totale disponibile e non solo sull'impronta idrica per unità di peso (*Fulton, et al., 2019*).

La sostenibilità del settore delle mandorle in un futuro non troppo lontano potrebbe essere compromessa proprio dagli elevatissimi consumi idrici della coltura e considerando che la disponibilità di acqua per le colture sarà minore rispetto al passato, il costo dell'acqua tenderà ad aumentare; inoltre, non tutte le zone investite nella mandorlicoltura dispongono di queste grandi quantità di acqua per l'irrigazione, quindi si rende doveroso considerare le pratiche di irrigazione deficitaria, essendo il mandorlo una pianta resistente alla siccità e che si adatta molto bene alle restrizioni idriche, preservando la resa, la qualità del frutto e la redditività della coltura.

Per questi sopracitati motivi risulta importante un'analisi degli studi effettuati sul mandorlo per quanto riguarda le tecniche di deficit idrico ed un confronto tra esse, per poter stabilire quale sia effettivamente la migliore tecnica da adottare in un contesto di scarsità di acqua.

Caso di studio 1. “Agronomic response and water productivity of almond trees under contrasted deficit irrigation regimes”, “The effects of contrasted deficit irrigation strategies on the fruit growth and kernel quality of mature almond trees”, G. Egea, P. A. Nortes, M. M. González-Real, A. Baille, R. Domingo, P. Sánchez-Bel.

Questo studio di 3 anni effettuato nel 2009 da Egea et al. su un mandorleto di 4 anni, situato in una zona della Spagna meridionale e caratterizzata da un clima semiarido, pone al confronto tre trattamenti di irrigazione deficitaria con essiccazione parziale della rizosfera (PRD), un trattamento di deficit idrico regolato (RDI) ed un trattamento completamente irrigato (FI). Quest’ultimo trattamento corrisponde al trattamento di controllo, caratterizzato da un’irrigazione volta a soddisfare l’intero fabbisogno idrico della coltura, presentando un’aggiunta di acqua del 20% in più rispetto a ETc in modo da garantire le condizioni di irrigazione ottimali.

I tre trattamenti PRD presentano tre diversi livelli di restrizione idrica rispetto al trattamento di controllo, con un’irrigazione applicata al 70%, 50% e 30% del valore di ETc, chiamati rispettivamente PRD70, PRD50 e PRD30.

Infine, l’ultimo trattamento sperimentato è il trattamento RDI che prevede un’irrigazione pari al valore di ETc durante tutta la stagione di crescita tranne che nella fase di riempimento del seme (fase IV), nella quale viene applicata acqua solo per il 50% del valore di ETc.

La cultivar utilizzata per questo studio è stata la cv ‘Marta’ innestata sul portinnesto ‘Mayor’ (ibrido di pesco x mandorlo), scegliendo un sesto d’impianto 6x7 tipico dell’alta densità. La piovosità media annua dell’appezzamento preso in esame è stata di 364 ± 28 mm ed un’irrigazione annua in FI pari a 600mm.

In questo studio notiamo che tutti i trattamenti di DI generalmente hanno indotto un tasso di crescita del diametro del tronco (TGR) più basso rispetto a quello osservato in FI, tranne in RDI nel secondo anno e in PRD70 nei primi due anni analizzati nello studio (*Tabella 4*).

L’aumento totale del diametro del tronco (Δ TD) è stato più basso in tutti i trattamenti di irrigazione con deficit rispetto al trattamento FI, in tutti e tre gli anni presi in considerazione, con una maggiore riduzione riscontrata nel PRD30 (*Tabella 4*).

Year	FI	RDI	PRD ₇₀	PRD ₅₀	PRD ₃₀	ANOVA
TD (cm)						
2003	11.62 ± 0.19a	9.83 ± 0.15c	10.77 ± 0.12b	9.56 ± 0.33c	9.95 ± 0.06c	***
2004	14.08 ± 0.28a	12.00 ± 0.20c	12.99 ± 0.20b	11.68 ± 0.34c	12.02 ± 0.15c	***
2005	15.87 ± 0.25a	13.52 ± 0.06c	14.50 ± 0.25b	12.96 ± 0.45c	13.07 ± 0.40c	***
2006	17.29 ± 0.27a	14.38 ± 0.11c	15.38 ± 0.30b	13.80 ± 0.40c	13.79 ± 0.35c	***
TGR (cm year ⁻¹)						
2004	2.46 ± 0.09a	2.16 ± 0.05b	2.23 ± 0.10ab	2.12 ± 0.03b	2.08 ± 0.13b	*
2005	1.80 ± 0.07a	1.52 ± 0.16ab	1.51 ± 0.07ab	1.28 ± 0.12bc	1.05 ± 0.13c	*
2006	1.41 ± 0.01a	0.86 ± 0.03b	0.88 ± 0.01b	0.83 ± 0.04b	0.71 ± 0.01b	*
Accumulated	5.67 ± 0.00a	4.54 ± 0.02b	4.62 ± 0.01b	4.23 ± 0.01bc	3.84 ± 0.02c	**

Tabella 4: valori annuali medi della crescita del tronco (TD), misurati alla fine di ciascuna stagione di crescita (2003-2006) e il tasso di crescita del diametro del tronco (Egea, et al., 2010).

I risultati indicano che Δ TD e TGR dipendono dalla quantità totale di acqua applicata (WA), indipendentemente dalla strategia di DI adottata, dato che non vi sono state differenze significative tra i trattamenti RDI e PRD70, che hanno ricevuto una quantità annua simile di acqua di irrigazione.

Per quanto riguarda la lunghezza e il diametro dei germogli, sembra che questi siano influenzati dal carico di frutta, infatti nel secondo anno di sperimentazione si è verificato un evidente effetto depressivo sulla crescita dei giovani germogli, dovuto ad un elevato carico di frutti.

L'unico trattamento che presentava una chiara riduzione della lunghezza e del diametro dei germogli rispetto a FI è stato il PRD30, suggerendo che in queste condizioni sperimentali, il PRD non esercitava un extra controllo vegetativo (Dodd, 2005) rispetto a quello imposto dallo stress idrico o dalla competizione per gli assimilati.

Il tasso di crescita annuale del volume della chioma (GRVol) nel trattamento FI è stato significativamente superiore a quello osservato nei trattamenti DI, tranne che nel secondo anno; ritenendo che così come accade per il diametro del tronco, anche l'aumento totale del volume della chioma è strettamente correlato alla quantità di acqua totale applicata, non concordando con l'affermazione secondo cui il PRD tende ad indurre una riduzione della crescita vegetativa degli alberi indipendentemente dallo stato idrico delle piante (Dry & Loveys, 1999), poiché WA sembra essere il principale fattore nella regolazione della crescita vegetativa del mandorlo in condizioni di deficit idrico.

Il peso secco di potatura accumulato nel corso dei tre anni di studio è risultato significativamente inferiore nei trattamenti di DI rispetto a FI, con una diminuzione che variava dal 34% in PRD70 al 58% in PRD30.

La mancanza di differenze significative nell'area fogliare media (LA) tra FI ed i trattamenti PRD50 e PRD30, indica che il controllo del PRD mediato dalla radice sulla crescita dei germogli e sulla morfologia delle foglie (*Dodd, 2005*) non sembra che giochi un ruolo significativo nei mandorli, contrariamente a quanto riportato per altre specie legnose ed erbacee (*Dry, et al., 1996*); (*Dry & Loveys, 1999*).

Indipendentemente dal trattamento di irrigazione, il peso fogliare specifico (SLW) è aumentato durante i mesi di aprile e maggio, subendo un leggero declino all'inizio di giugno, che corrisponde alla fase di indurimento del seme, indicando che nel mandorlo le foglie svolgono un importante ruolo come organi di conservazione degli assimilati. Non essendoci differenze significative nella SLW tra i trattamenti FI, PRD50 e PRD30, tranne che per brevi periodi, si intuisce che i cambiamenti ontogenici delle foglie potrebbero essere guidati dalle proprietà intrinseche della specie piuttosto che dall'intensità dello stress idrico.

Nelle foglie il valore del contenuto di azoto in base alla massa (Nw) non è stato significativamente diverso tra FI ed il trattamento più stressato (PRD30), indicano che l'assorbimento di nutrienti da parte dell'albero non è stato limitato né dal PRD né da una grave carenza di acqua.

Il rapporto tra il guscio e il seme non è stato influenzato dall'intensità dello stress idrico (*Tabella 5*), in accordo con i risultati ottenuti da Torrecillas et al. (1989) e Romero et al. (2004). Tuttavia, il peso individuale della mandorla è stato in qualche modo ridotto rispetto a FI, a causa della limitazione dell'approvvigionamento idrico (*Tabella 5*); in PRD30 il peso individuale della mandorla è stato circa il 15% in meno rispetto al peso registrato in FI, anche in PRD50 e in RDI il peso individuale è stato significativamente inferiore rispetto a FI, mentre non sono state osservate differenze significative di questo parametro tra PRD70 e FI. L'impatto negativo di questa componente della resa rispetto a FI, potrebbe essere attribuita alla ridotta capacità fotosintetica osservata nelle foglie soggette a deficit idrico durante la fase di riempimento del seme, che può portare ad una riduzione degli assimilati disponibili per la crescita dei frutti (*Esparza, et al., 2001a*) e ad una maggiore competizione per gli assimilati da parte degli organi di riserva.

	Year	Irrigation treatment					ANOVA
		FI	RDI	PRD ₇₀	PRD ₅₀	PRD ₃₀	
Yield (in-shell nuts) (kg ha ⁻¹)	2004	1950	1600	1753	1625	1497	ns
	2005	6017a	4564c	5211b	4361c	4538c	**
	2006	6361a	5715a	5734a	5755a	4201b	**
	Total	14327a	11879bc	12698b	11741c	10237d	***
Yield (kernel) (kg ha ⁻¹)	2004	590	478	521	491	428	ns
	2005	1854a	1461bc	1623b	1357c	1395bc	**
	2006	1874a	1693a	1685a	1691a	1222b	***
	Total	4318a	3632bc	3829b	3538c	3044d	***
Crop load (fruits tree ⁻¹)	2004	1559	1274	1382	1297	1148	ns
	2005	5614a	4577b	5136ab	4353b	4933ab	*
	2006	5283a	5263a	4996a	5186a	4064b	*
Kernel fraction (%)	2004	30.3	29.9	29.7	30.1	28.5	ns
	2005	30.8	32	31.1	31.1	30.7	ns
	2006	29.5	29.6	29.4	29.4	29.1	ns
Kernel weight (g kernel ⁻¹)	2004	1.59	1.58	1.59	1.61	1.57	ns
	2005	1.39a	1.34a	1.33a	1.32a	1.19b	*
	2006	1.49a	1.35b	1.42ab	1.37b	1.27c	**

Tabella 5: influenza dei trattamenti d'irrigazione sulle componenti della resa (Egea, et al., 2010).

I livelli di stress idrico applicati in questo studio non sembrano aver influenzato il potenziale dell'albero per la generazione di nuovi boccioli floreali (né la qualità né il numero di fiori); di conseguenza, poiché la resa è influenzata da diversi fattori chiave come: fioritura, fruttificazione, carico di frutti e peso individuale del frutto (Goldhamer & Viveros, 2000), si può dedurre che le differenze osservate nella resa dovessero essere principalmente attribuite al minor peso del singolo seme ed alla diminuzione del carico di frutta, dovuto ad una crescita più lenta degli alberi. (Princhar, et al., 1992); (Esparza, et al., 2001b).

La tendenza stagionale dell'accumulo di peso secco nel seme (Wk,d) sembra essere più dipendente dalla gravità della restrizione idrica durante la fase IV rispetto alla strategia di irrigazione (PRD,RDI). Questo comportamento risulta essere differente da quello osservato in altre specie legnose in cui è stato applicato il PRD (Wahbi, et al., 2005); (Leib, et al., 2006) che hanno avuto una risposta simile nella crescita dei frutti con PRD e FI; il motivo per cui il PRD si comporta come una classica strategia di DI nei mandorli potrebbe essere dovuto al fatto che nessuna delle quantità di acqua applicata nei PRD presi in esame ha permesso di mantenere valori REW (acqua estraibile dal suolo) nella zona della radice bagnata simili ai valori riscontrati in FI, il che ha portato a significative riduzioni, in tutti i trattamenti PRD, del potenziale idrico negli alberi e quindi della percentuale di assimilazione netta della CO₂ nelle foglie.

Tra i tre livelli di stress idrico applicati per i PRD, solo PRD70 ha presentato valori simili di Wk,d al trattamento di controllo FI; è interessante il fatto che PRD70 ha avuto un impatto leggermente positivo

sul peso secco del seme rispetto a RDI, nonostante la quantità di acqua applicata durante la stagione di crescita sia stata simile per entrambi i trattamenti di irrigazione. Non ci sono state differenze significative nei valori $W_{k,d}$ tra RDI e PRD50 (entrambi irrigati al 50% di ET_c durante la fase IV), sebbene a PRD50 sia stata applicata una quantità inferiore di acqua durante l'intera stagione di crescita, suggerendo che uno stress idrico applicato uniformemente durante l'intera stagione di crescita potrebbe essere più vantaggioso, in termini di crescita del frutto, rispetto ad un forte deficit idrico imposto durante la fase IV, in accordo con Golhamer et al., (2006).

Per tutti i trattamenti di DI, la deprivazione idrica pre-raccolta ha migliorato la disidratazione del guscio e la scissione accelerata del mallo, anticipando la data di raccolta, che è stata tanto più precoce quanto maggiore è stato il deficit idrico apportato. La più completa disidratazione del guscio e l'anticipata data di raccolta avvenuti nei trattamenti di DI, possono essere vantaggiosi per evitare in gran parte gli attacchi da parte della terza generazione di *Amyelois transitella* (Navel orangeworm), (Connell, et al., 1998).

Il numero di gusci vuoti, particolarmente basso, non è stato chiaramente correlato alla strategia di irrigazione (Romero, et al., 2004).

Le qualità organolettiche del frutto non sono state influenzate negativamente dai trattamenti di DI; infatti il contenuto lipidico, proteico e zuccherino della mandorla, non è risultato dipendente dal trattamento di irrigazione, tranne nel caso di PRD30 e PRD50 che hanno mostrato, al momento del raccolto, un leggero aumento del contenuto lipidico rispetto alle mandorle di FI, rispettivamente del 4% e del 5%.

Si è osservata una stretta correlazione tra la resa relativa e l'acqua totale applicata, che è stata calcolata per ciascuna strategia di DI rispetto ai corrispondenti valori raggiunti in FI, da cui si evince che entro l'intervallo di WA applicata in questo studio, una riduzione dell'1% di acqua applicata comporterebbe una riduzione della resa dello 0,43%; ad esempio nel trattamento PRD30 una riduzione della WA del 63% ha comportato una riduzione della resa pari al 28%. Questi risultati hanno reso noto che i mandorli si sono comportati abbastanza bene, in riferimento alla resa, sia in condizioni moderate che in condizioni di elevato stress idrico, confermando che il mandorlo è una specie in grado di mantenere alti guadagni nella produttività dell'acqua con l'aumento del deficit idrico del suolo (Torrecillas, et al., 1996); (Goldhamer & Viveros, 2000); (Girona, et al., 2005).

I valori di resa e di carico del raccolto, insieme alla frazione e al peso del seme, non hanno evidenziato alcuna risposta specifica nel comportamento al PRD rispetto ad un qualsiasi altro DI.

Tutti i trattamenti di DI hanno presentato una maggiore produttività dell'acqua (P_w) rispetto a FI (Tabella 6); la P_w è stata calcolata come il peso della resa del seme per metro cubo di acqua applicata.

All'interno dell'intervallo di WA osservato in questo studio (ovvero da 168 mm di acqua annuale in PRD30 a 600 mm di acqua annuale in FI), la relazione tra P_w e WA prevede un incremento in P_w rispetto a FI del 28%, 26%, 69% e 123% rispettivamente per RDI, PRD70, PRD50 e PRD30.

L'efficienza produttiva (E), calcolata come il rapporto tra il carico del raccolto e l'area della sezione trasversale del tronco, è aumentata significativamente in condizioni di stress idrico crescente (Tabella 6).

	FI	RDI	PRD ₇₀	PRD ₅₀	PRD ₃₀	ANOVA
Water productivity (P_w)^a (kg m⁻³)						
2004	0.175b	0.205b	0.217b	0.242ab	0.309a	*
2005	0.330c	0.392bc	0.443b	0.504b	0.838a	***
2006	0.311c	0.421b	0.370bc	0.573a	0.608a	***
Mean ^b	0.320d	0.408c	0.403c	0.540b	0.712a	***
Productive efficiency (E) (fruits cm⁻²)						
2004	9.9	11.3	10.5	12.2	10.2	ns
2005	28.4b	31.9ab	31.1ab	33.0ab	36.8a	*
2006	22.6c	32.4ab	27.0bc	34.8a	27.5bc	*

Tabella 6: valori della produttività dell'acqua (P_w) e dell'efficienza produttiva (E) nei diversi trattamenti di irrigazione (Egea, et al., 2010).

La stretta relazione curvilinea riscontrata tra P_w e WA (Figura 5), indipendentemente da come è stato applicato il DI, suggerisce ancora una volta che il tipo di strategia di irrigazione non è stato un fattore che ha influito sulla produttività dell'acqua nel mandorlo (Egea, et al., 2010); (Egea, et al., 2009).

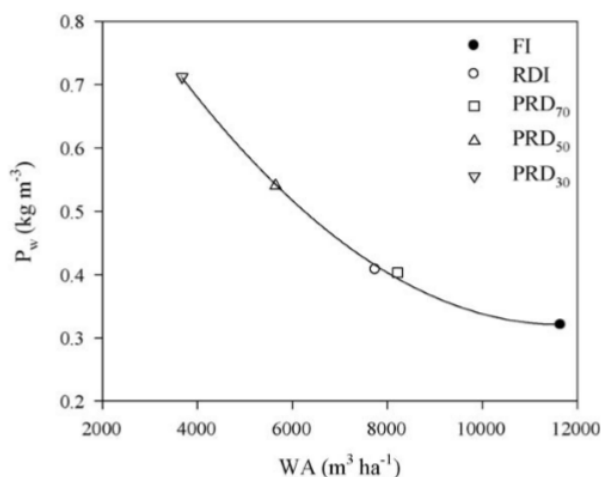


Figura 5: rapporto tra il valore medio della produttività dell'acqua (P_w) e la quantità di acqua totale di irrigazione (WA) applicata in ciascun trattamento, nelle stagioni di crescita 2005-2006 (Egea, et al., 2010).

Caso di studio 2. “Almond agronomic response to long-term deficit irrigation applied since orchard establishment”. G. Egea, P. A. Nortes, R. Domingo, A. Baille, A. Pérez-Pastor, M. M. González-Real.

Questo secondo studio sperimentale preso in esame, condotto da Egea et al. nel 2013, confronta due trattamenti di irrigazione da deficit sostenuto (SDI) con un trattamento di deficit regolato (RDI) ed un trattamento di controllo caratterizzato da un'irrigazione completa (FI).

Questo studio è stato condotto sul mandorlo per sei stagioni consecutive, negli anni 2001-2006, in un mandorleto innestato nel 2000, durante il primo ciclo vegetativo degli alberi. Il mandorleto ha quindi attraversato tre fasi che sono: la fase strettamente non produttiva (2001), la fase di transizione (scarsa fioritura e produzione di frutti) (2002-2004) ed infine la fase altamente produttiva, tipica degli alberi adulti (2005-2006).

Il trattamento FI ha ricevuto una quantità di acqua volta a soddisfare l'intero fabbisogno idrico della coltura, corrispondente all'acqua che è servita a rimpiazzare le perdite per evapotraspirazione (ETc); nel trattamento RDI invece è stato apportato un quantitativo di acqua corrispondente al 40% del valore di ETc durante la fase IV e il 100% del valore di ETc per tutto il resto della stagione di crescita; nel

trattamento SDImm, caratterizzato da un deficit idrico sostenuto da lieve a moderato, è stato applicata una quantità di acqua pari al 75% del valore di ETc nei primi tre anni e il 60% del valore di ETc nei successivi tre, applicati durante tutto il ciclo di crescita; mentre nell'ultimo trattamento chiamato SDImS, caratterizzato da un deficit idrico sostenuto che va da moderato a grave, il quantitativo di acqua applicata è stato del 60% del valore di ETc durante i primi tre anni e del 30% del valore di ETc durante gli ultimi tre, applicati durante l'intero ciclo di crescita. La cultivar presa in esame è, come nel precedente studio analizzato, la cv. 'Marta' innestata sul portinnesto 'Mayor', con un sesto di impianto 6x7. Le caratteristiche climatiche sono simili al caso di studio precedente dato che l'esperimento si è svolto nella stessa zona.

I volumi medi di irrigazione applicati durante i sei anni sono stati di 446, 239, 283, 165 mm/ anno rispettivamente per FI, RDI, SDImm, SDImS.

La crescita degli alberi è stata ridotta nei trattamenti DI rispetto al trattamento di controllo FI, in accordo con il caso di studio precedente; infatti dopo i primi tre anni dell'esperimento, RDI, SDImm e SDImS hanno ridotto l'area della sezione trasversale del tronco (TCSA) rispettivamente del 30, 13 e 27% rispetto agli alberi FI, mentre alla fine dell'esperimento il TCSA è stato ridotto rispettivamente del 31, 21 e 36% (*Tabella 7*).

Year	FI	RDI	SDI _{imm}	SDI _{ms}
Kernel yield (kg tree⁻¹)				
2001	–	–	–	–
2002	0.265a	0.165b	0.179b	0.127b
2003	1.703	1.637	1.359	1.421
2004	2.477a	2.008ab	2.190ab	1.797b
2005	7.785a	6.136b	6.815ab	5.857b
2006	7.872a	7.112a	7.077a	5.132b
Total	20.10a	17.06b	17.62b	14.33c
Kernel weight (g kernel⁻¹)				
2001	–	–	–	–
2002	1.666	1.695	1.644	1.681
2003	1.492	1.441	1.521	1.486
2004	1.594	1.578	1.593	1.569
2005	1.389a	1.345a	1.330a	1.192b
2006	1.492a	1.351bc	1.417ab	1.269c
TCSA (cm²)				
2001	23.1a	13.8c	17.7b	16.2b
2002	68.0a	48.9c	58.1b	48.2c
2003	108.7a	76.6c	94.2b	79.7c
2004	155.7a	113.1c	132.7b	113.6c
2005	198.0a	143.6c	165.2b	134.3c
2006	234.8a	162.3c	186.0b	149.4c
ATCSA (cm² year⁻¹)				
2001	21.0a	11.9c	15.7b	14.3b
2002	44.9a	35.1c	40.4b	32.0c
2003	40.7a	27.7c	36.0ab	31.4bc
2004	47.0a	36.5b	38.5ab	33.9b
2005	42.2a	30.5b	32.6b	20.7c
2006	36.8a	18.8b	20.7b	15.1b
Total	232.7a	160.4c	183.9b	147.6c
Pruning dry weight (kg tree⁻¹)				
2001	7.8a	4.3c	4.8bc	5.2b
2002	7.8a	6.4ab	5.2bc	4.3c
2003	12.0a	8.5b	5.7b	6.4b
2004	10.4a	7.0ab	8.3a	4.9b
2005	19.9a	11.9b	11.6b	9.0b
2006	17.1a	10.8b	11.4b	5.9c
Mean IWP (kg m⁻³)^a				
2001–2006	0.179a	0.283c	0.247b	0.344d
Mean PE (g cm⁻² TCSA)^b				
2001–2006	85.73a	105.09c	94.99ab	96.29bc

Tabella 7: resa e peso del seme, area della sezione trasversale del tronco (TCSA), incremento annuale del TCSA, peso dei residui di potatura, produttività dell'acqua d'irrigazione (IWP) ed efficienza di produzione (PE), nelle quattro strategie d'irrigazione (Egea, et al., 2013).

L'incremento della riduzione delle dimensioni degli alberi nei trattamenti SDImm e SDImS durante la seconda metà del periodo di osservazione è correlato all'incremento dello stress idrico integrale in questi trattamenti (Figura 6).

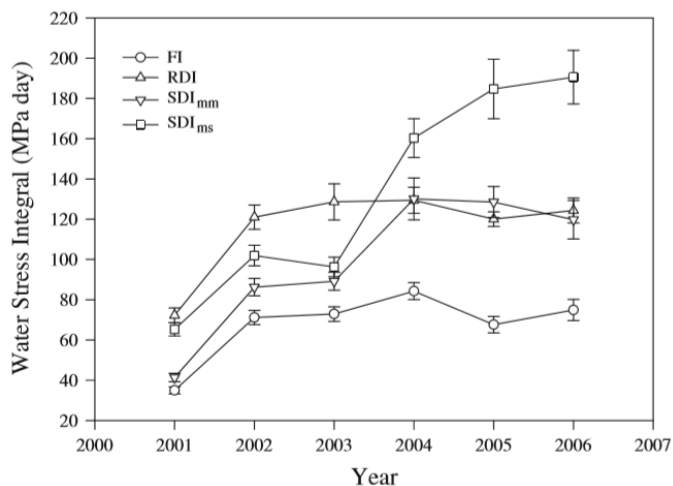


Figura 6: andamento temporale dei valori annuali di stress idrico nelle quattro strategie d'irrigazione (Egea, et al., 2013).

Le riduzioni della crescita degli alberi nei trattamenti DI hanno avuto un marcato effetto sul peso della potatura invernale, che è stata significativamente inferiore in tutti i trattamenti DI rispetto al trattamento FI (Tabella 7).

La produzione di mandorle è aumentata progressivamente dal 2002 al 2005 in tutti i trattamenti di irrigazione (da 0,26 a 7,87 Kg/ albero nel trattamento FI) ed è rimasta stabile tra il 2005 ed il 2006.

I trattamenti DI hanno avuto un impatto negativo sulla resa, con una gravità che è dipesa dal trattamento DI adottato, pari al 15, 12 e 29% in meno rispetto a FI, per RDI, SDImm e SDIms rispettivamente (Tabella 7). Quindi l'applicazione di RDI per 6 anni dopo l'istituzione del frutteto, ha applicato il 54% in meno di acqua di irrigazione e ha ridotto la resa media del seme del 15% rispetto al trattamento FI, con una penalità di resa di circa un terzo della percentuale di risparmio idrico, indicando che l'effetto negativo dell'applicazione di RDI sulla resa cumulativa del seme non è stato amplificato dalla sua applicazione avvenuta nei primi anni dello stabilimento del mandorleto. Questo discorso vale anche per il trattamento SDImm, dove la penalità di resa rispetto al risparmio idrico è stato simile al trattamento RDI, con un risparmio idrico pari al 37%; per quanto riguarda il trattamento SDIms, questo rapporto è aumentato, portando ad una penalità di resa che è stata di circa la metà della percentuale di risparmio idrico (63%) rispetto a FI.

Poichè il deficit idrico è stato applicato fin dai primi anni dell'impianto del frutteto ed ha presentato riduzioni nella produttività degli alberi simili rispetto ai precedenti rapporti osservati su alberi adulti e giovani, sembra probabile che gli alberi abbiano subito cambiamenti morfologici e fisiologici come ad esempio il volume ridotto della chioma (*Hutmacher, et al., 1994*) e la chiusura stomatica (*Egea, et al., 2011 a*), che sono stati in grado di compensare in parte gli effetti negativi dello stress idrico.

Anche il peso del seme è stato influenzato negativamente dai trattamenti di DI, ma soltanto negli anni più produttivi, ovvero il 2005 ed il 2006 (*Tabella 7*); soltanto il trattamento SDImm è riuscito a produrre mandorle con un peso non significativamente inferiore a FI durante tutti i 6 anni.

Non sono state osservate differenze nel peso del seme tra RDI e SDImm in nessuno degli anni studiati (*Tabella 7*), indicando che entrambe le strategie di DI si sono comportate in modo simile nel preservare l'accumulo di peso secco del seme con risorse idriche limitate e suggeriscono anche che il livello di stress imposto in RDI, nella fase IV, è vicino alla soglia per preservare i tassi di riempimento del seme in piante non stressate. Possiamo dedurre che durante la fase IV, la soglia del potenziale idrico staminale di mezzogiorno (*Wst*) al di sotto del quale il peso del seme tende ad essere ridotto dallo stress idrico è intorno a -1,5 MPa in questa varietà e nelle condizioni climatiche descritte in questo studio. Durante la fase IV, valori *Wst* medi inferiori a -1,5 Mpa, come ad esempio in SDIm che presentava valori di -2 MPa, hanno portato ad una riduzione del peso di circa il 15% in più rispetto ai valori ottimali. È importante notare che questa soglia *Wst* è applicabile soltanto nel periodo adulto, poiché durante le fasi non produttive e di transizione, la crescita del seme è meno soggetta ad essere limitata dallo stress idrico.

L'efficienza del carico del raccolto (CLE), data dal numero di frutti per centimetro quadrato, è sicuramente il principale fattore che determina il peso del seme nei mandorli, infatti tutti i trattamenti di DI hanno mostrato una tendenza verso CLE più elevati rispetto a FI, comportando un peso minore del seme in questi trattamenti.

I risultati ottenuti da questo studio indicano che nei mandorli, in condizioni di limitazione di acqua, la crescita degli organi riproduttivi è stata meno influenzata della crescita vegetativa, poiché la crescita del tronco è stata ridotta più gravemente della produzione di mandorle nei trattamenti di DI, confermando il predominio della crescita dei frutti e dei semi sugli organi vegetativi (*Wardlaw, 1990*).

L'efficienza di produzione (PE), corrispondente al peso in grammi di frutto su centimetro quadrato, è stata più alta in RDI, dove è stata del 22,5% superiore al trattamento FI e di circa il 10% in più rispetto ai due trattamenti SDI (*Tabella 7*); questo grazie al fatto che in RDI la carenza di acqua viene confinata

in uno stadio fenologico in cui la crescita dei frutti mostra una bassa sensibilità allo stress idrico (Romero, et al., 2004), probabilmente grazie all'elevata forza di assorbimento dei frutti rispetto a quella degli organi vegetativi (Lescourret, et al., 1998).

La produttività dell'acqua d'irrigazione (IWP) è stata calcolata come la resa del seme in rapporto all'acqua di irrigazione applicata e al TCSA, misurata in kg/ m³. L'IWP media dei trattamenti di DI è risultata nettamente superiore rispetto all'IWP misurata in FI, con valori di circa il 58, 38 e 92,5% superiori rispetto a FI, rispettivamente per i trattamenti RDI, SDImm e SDImms (Tabella 7). Quindi nonostante il trattamento SDImms abbia mostrato una maggiore riduzione della resa rispetto agli altri trattamenti, ha mostrato un IWP medio più alto. L'IWP medio calcolato nel periodo 2004-2006, quando RDI e SDImm hanno ricevuto volumi di acqua di irrigazione simili e hanno presentato uno stress idrico simile, non riflettono differenze significative tra questi trattamenti, supportando ulteriormente il fatto che IWP è principalmente determinato dalla quantità di acqua di irrigazione applicata; infatti ha mostrato una risposta positiva in risposta al tasso di risparmio idrico applicato nei trattamenti, indipendentemente dal fatto che il deficit idrico sia stato imposto tramite RDI o SDI.

In questo studio è stata valutata anche la fattibilità finanziaria delle sopradescritte tipologie di irrigazioni da deficit (Alcon, et al., 2013). L'analisi finanziaria è stata valutata usando l'analisi del flusso di cassa attualizzato (DCFA); questo è un metodo decisionale che confronta i benefici e i benefici attesi con i relativi costi e i relativi flussi di cassa in entrata e in uscita, considerando la durata dell'investimento e il costo opportunità dell'investimento in un'alternativa con un profilo di rischio simile (IFAC, 2008).

DCFA prende in considerazione il denaro ricevuto e quello speso durante la durata dell'investimento e può quindi essere uno strumento adatto agli agricoltori per valutare la fattibilità delle diverse strategie di deficit di irrigazione dall'impianto del mandorlo. Quando devono essere valutate diverse alternative è necessario un set di indicatori per assistere il processo decisionale, inquadrando l'opzione che crea il massimo rendimento.

I risultati derivati da questo studio mostrano che nel mandorlo, FI non fornisce la massima fattibilità finanziaria dell'investimento quando viene valutato durante i primi sei anni di impianto, se confrontato con le tre strategie di deficit di irrigazione descritte in precedenza. La scelta di strategie di DI applicate sin dai primi anni dell'impianto è sempre stata considerata una pratica commerciale inappropriata, a causa del suo impatto negativo sullo sviluppo della chioma, sull'inizio della produzione di frutta e sulla sostenibilità a lungo termine (Hutmacher, et al., 1994); (Perez-Lopez, et al., 2007). Tuttavia, i risultati ottenuti in questo caso contestano il ritardo sull'inizio della produzione e confermano la fattibilità

finanziaria sull'utilizzo di queste tecniche. Infatti, il valore attuale netto (VAN) e il tasso interno di rendimento (IRR) (indicatori comunemente utilizzati per valutare la fattibilità di un investimento) sono risultati più alti in RDI e SDImm rispetto a FI, mentre non sono state osservate differenze tra il trattamento SDIm e FI.

Poiché la produttività economica dell'acqua (EWP) in questo studio non è diminuita con la carenza d'acqua, la scelta della strategia di irrigazione più appropriata dipenderà dall'acqua disponibile per l'irrigazione in ciascun caso specifico, sottolineando che diversamente dai risultati precedenti per le colture in campo (*Pereira, et al., 2002*), le strategie DI che applicano uno stress idrico moderato (cioè, RDI e SDImm) possono essere tanto proficue quanto l'irrigazione completa. Per quanto riguarda le due strategie di irrigazione che ottengono un risparmio idrico simile nel periodo adulto (RDI e SDImm), i risultati suggeriscono che nei mandorli il deficit idrico distribuito uniformemente durante la stagione dell'irrigazione (SDImm) potrebbe essere più proficuo che limitare il deficit idrico ad uno specifico stadio fenologico (RDI), inoltre considerando che il prezzo dell'acqua per uso agricolo potrebbe aumentare, la sostenibilità dei mandorleti potrebbe essere compromessa se non venissero istituiti programmi di DI (*Alcon, et al., 2013*); (*Egea, et al., 2013*).

Caso di studio 3. “Deficit irrigation of almond trees did not decrease yield”. D. P. Monks, C. Taylor, K. Sommer, M. T. Treeby.

Il terzo studio preso in considerazione è un esperimento di tre anni condotto in Australia, su alberi adulti. Le cultivar utilizzate nell'esperimento sono due, 'Nonpareil' e 'Carmel', quest'ultima è stata scelta perché è utilizzata come varietà impollinatrice di 'Nonpareil'; sono state piantate a file alterne, con una distanza di impianto di 7,25 m tra le file × 4,65 m all'interno delle file. La piovosità media annua è stata di 314 mm.

Tre livelli di irrigazione da deficit sono stati applicati in due modelli: come irrigazione con deficit sostenuto (SDI) e come irrigazione con deficit regolato (RDI), in quest'ultima strategia i deficit idrici sono stati orientati nel periodo di riempimento del seme. È stato anche applicato un trattamento "umido" che riceveva il 120% del controllo completamente irrigato. Pertanto, l'esperimento ha avuto un totale di otto trattamenti di irrigazione.

I livelli di deficit sono stati dell'85, 70 e 55% di un trattamento di controllo completamente irrigato, quest'ultimo è stato definito come il livello di irrigazione che soddisfa il fabbisogno idrico delle colture (ETc), che ha ammontato a circa 12 ML/ha (precipitazioni effettive + irrigazione).

In SDI, come indicato dal potenziale idrico fogliare (Ψ_w), gli alberi sono stati generalmente meno stressati rispetto al trattamento comparativo RDI. È possibile che ciò sia stato osservato perché in RDI gli alberi sono passati dall'essere completamente irrigati ad uno stato carente in un periodo di tempo relativamente breve, rispetto agli alberi SDI, che probabilmente sono stati in grado di adattarsi gradualmente ai deficit imposti. I valori del potenziale idrico fogliare dei trattamenti di controllo (100%) non differivano dai valori osservati nei trattamenti "umidi" (120%).

Le riduzioni di resa relative agli alberi di controllo completamente irrigati nella maggior parte delle stagioni erano correlate alla gravità dei deficit di irrigazione applicati. Ridurre l'irrigazione al 70% o meno dell'ETc, ha ridotto la resa del seme nella prima stagione, con poche differenze tra i deficit del 70 e 55%. Il trattamento RDI al 70%, con un deficit idrico imposto nella fase IV, ha comportato una resa inferiore rispetto al trattamento SDI al 70%, dove il deficit idrico è stato imposto durante tutta la stagione

Ridurre l'irrigazione all'85%, indipendentemente dalla strategia di deficit, non ha ridotto la resa rispetto agli alberi di controllo e l'applicazione di un'irrigazione aggiuntiva (120% ETc) non ha comportato un guadagno di resa rispetto agli alberi di controllo.

Nella stagione 2, la resa media era di 500 kg/ha in meno rispetto alle stagioni 1 e 3 e le piogge frequenti e il clima particolarmente umido hanno confuso i trattamenti del deficit, ritendendo così più significative le stagioni 1 e 3.

Nella stagione 3, gli effetti del trattamento erano simili a quelli osservati nella stagione 1. I trattamenti RDI con deficit del 55 o 70%, sono stati i trattamenti che hanno ridotto maggiormente la resa del seme, seguiti da SDI 55%. Né SDI né RDI all'85%, né SDI 70%, hanno ridotto la resa del seme rispetto agli alberi di controllo (*Figura 7*).

In generale, la riduzione del peso secco del seme è correlata ai livelli di stress idrico imposti. L'RDI tende a ridurre la crescita del seme più dell'SDI, in particolare per i volumi di irrigazione inferiori al 70%.

Inoltre, l'RDI ha avuto un effetto maggiore sull'accumulo di sostanza secca del seme rispetto all'accumulo di sostanza secca del guscio, questo perché la crescita del guscio a differenza della crescita del seme, era per lo più completa prima che i deficit di irrigazione di RDI diventassero pienamente efficaci.

L'inizio e il progresso della scissione del mallo sembrano essere fortemente influenzati dallo stato idrico dell'albero durante l'intera stagione di crescita, portando ad un'anticipazione del periodo di maturazione, che avviene tanto prima quanto maggiore è stata la carenza idrica; di fatti nella stagione 1 e nella stagione 3, i trattamenti di DI hanno accelerato l'apertura lungo la linea di sutura del mallo e il grado di accelerazione è stato correlato con il livello dei deficit idrici imposti. L'apertura lungo la linea di sutura del mallo, nel trattamento di controllo e nel trattamento "a umido" è avvenuta circa 2-3 settimane dopo rispetto ai trattamenti di DI più gravi (SDI e RDI al 55%).

Lo studio in generale ha dimostrato che l'irrigazione all'85% della "piena irrigazione", che rappresenta un deficit moderato, potrebbe potenzialmente aiutare i produttori di mandorle a mantenere la produzione durante i periodi siccitosi. In tutte e tre le stagioni, l'applicazione dell'85% di ETc ha comportato un risparmio di 1,23 ML/ha senza effetti sulla resa rispetto al trattamento di controllo (*Monks, et al., 2017*).

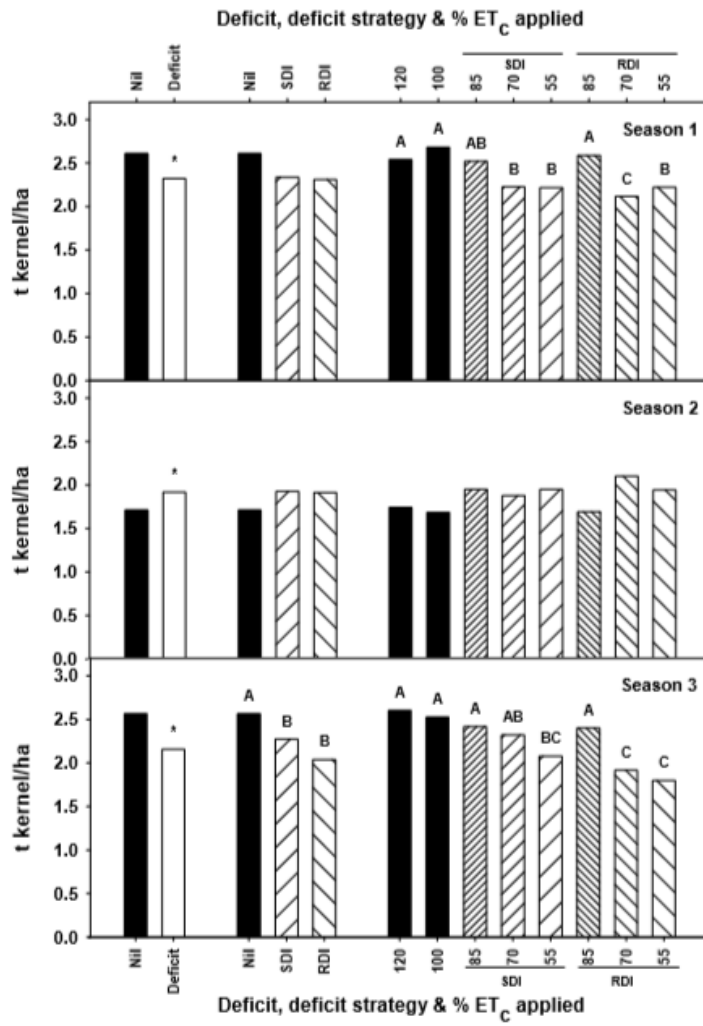


Figura 7: resa del seme nelle diverse strategie d'irrigazione (Monks, et al., 2017).

8 CONCLUSIONI

L'analisi svolta in questa tesi ha mostrato la risposta del mandorlo alle strategie di deficit di irrigazione, confermando che è una pianta che si adatta bene al deficit idrico e che la strategia di irrigazione attualmente adottata dai maggiori paesi produttori, volta al ripristino totale dell'acqua evapotraspirata dalla coltura, potrebbe essere eccessivamente generosa.

I risultati ottenuti da questi studi indicano che nei mandorli, in condizioni di limitazione di acqua, la produzione è stata meno influenzata della crescita vegetativa e la quantità d'acqua destinata alla coltura sembra essere il principale fattore coinvolto nella resa e nella crescita dell'albero, presentando comunque minime differenze dovute alle diverse strategie di deficit.

Un importante parametro per valutare la sostenibilità delle strategie di irrigazione deficitaria è stato rappresentato dalla produttività dell'acqua, che è aumentata notevolmente al ridursi della quantità di acqua di irrigazione destinata alla coltura, garantendo, nel caso di restrizioni idriche lievi e moderate, un'elevata produttività, simile a quella ottenuta nei mandorleti completamente irrigati.

Il deficit idrico applicato fin dai primi anni dell'impianto del frutteto ha presentato riduzioni nella produttività degli alberi simili rispetto a quello applicato su alberi adulti e giovani, probabilmente grazie a processi di adattamento sviluppatasi negli alberi, che hanno parzialmente compensato gli effetti negativi dello stress idrico sulla produttività.

L'irrigazione deficitaria non ha modificato le qualità organolettiche delle mandorle, ma ha avuto un impatto negativo sulla resa, dovuto soprattutto ad una riduzione delle dimensioni del seme, con una gravità che è dipesa dalla restrizione idrica e dalla strategia di DI adottata.

La dimensione del seme, a parità del volume di irrigazione, sembra essere ridotta maggiormente nel Regulated Deficit Irrigation (RDI), soprattutto in condizioni di stress idrico moderato e grave; quindi uno stress idrico applicato uniformemente durante l'intera stagione di crescita, come nel caso di Sustained Deficit Irrigation (SDI), potrebbe essere più vantaggioso in termini di crescita del frutto e in situazioni di grave carenza idrica, rispetto ad un forte deficit idrico imposto durante la fase di riempimento del seme.

RDI potrebbe essere una valida strategia di irrigazione da deficit volta a massimizzare l'efficienza di produzione nel mandorlo, grazie all'elevato controllo vegetativo che è in grado di ottenere, aprendo la

possibilità di sfruttare questa risposta al deficit idrico per aumentare la densità di impianto e quindi aumentare la resa su base terrestre, incrementando la produttività dell'acqua d'irrigazione rispetto alle tecniche di irrigazione tradizionali.

Il partial rootzone (PRD), nel mandorlo, non ha presentato evidenti vantaggi o svantaggi rispetto ad una tradizionale strategia di irrigazione deficitaria, a differenza delle osservazioni avvenute nelle altre specie di alberi da frutto.

Sia RDI che SDI, applicati fin dall'impianto del mandorleto, possono essere un'alternativa finanziariamente fattibile nelle zone con scarsa disponibilità idrica, aiutando gli agricoltori a preservare i loro livelli di produzione e comportando un notevole risparmio di una risorsa che diventa sempre più importante e costosa quale è l'acqua.

9 BIBLIOGRAFIA

- Alcon, F., Egea, G. & Nortes, P. A., 2013. Financial feasibility of implementing regulated and sustained deficit irrigation in almond orchards. *Irrig Sci*, Volume 31, p. 931–941 .
- Bernhard, R. & Grasselly, C., 1981. Les pêcheurs x amandiers. *Arboric. Fruit.*, 328(6), pp. 37-42.
- Cambra, R. & Iturrioz, M., 1986. Caracteres descriptivos del patrón híbrido almendro x melocotonero Adafuel [*Prunus amygdalopersica* (West) Rehd.]. *An. Aula Dei*, 18(1-2), pp. 65-76.
- Caruso, G., Rapoport, H. F. & Gucci, R., 2011. Long-term evaluation of yield components of young olive trees during the onset of fruit production under different irrigation regimes. *Irr Sci*. doi: 10.1007/s00271-011-0286-0.
- Chalmers, D. J., Mitchell, P. D. & Van Heek, L. A., 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning.. *J Am Soc Hortic Sci*, Volume 106, pp. 307-312.
- Connell, J., Zalom, F. & Bentley, W., 1998. Navel Orangeworm control in almond with *Bacillus Thuringiensis*.. *Acta Hortic*, 470(547-552).
- De la Hera, M. L., Romero, P., Gomez-Plaza, E. & Martinez, A., 2007. Is partial root-zone drying an effective irrigation technique to improve water use efficiency and fruit quality in field-grown wine grapes under semiarid conditions?. *Agric. Water Manage* , Volume 87, p. 261–274.
- Dodd, I. C., 2005. Root-to-shoot signalling: assessing the roles of ‘up’ in the up and down world of long-distance signalling in planta.. *Plant Soil*, Volume 274, pp. 251-270.
- Dodd, I. C., Theobald, J. C., Bacon, M. A. & Davies, W. J., 2006. Alternation of wet and dry sides during partial rootzone drying irrigation alters root-to-shoot signalling of abscisic acid. *Funct. Plant Biol.*, Volume 33, pp. 1081-1089.
- Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M. C., Sánchez-Blanco, M. J. & Torrecillas, A., 1996. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation.. *Irrig Sci*, Volume 16, pp. 115-123.

Dry, P. R. & Loveys, B. R., 1999. Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried.. *Vitis*, Volume 38, pp. 151-156.

Dry, P. R., Loveys, B. R., During, H. & Botting, D. G., 1996. Effects of partial rootzone drying on grapevine vigour, yield compositions of fruit and use of water.. *Stockley, C.S., Sas, A.N., Johnstone, R.S., Lee, T.H. (Eds.), Wine Ind. Techn. Conf. Proceedings, 9 August at Adelaide, Australia.*, pp. 128-131.

Egea, G. et al., 2011 a. Partial rootzone drying improves almond tree leaf-level water use efficiency and afternoon water status compared with regulated deficit irrigation.. *Funct Plant Biol*, Volume 38, pp. 372-385.

Egea, G. et al., 2009. The effects of contrasted deficit irrigation strategies on the fruit growth and kernel quality of mature almond trees. *Agric. Water Manage.*, Volume 96, pp. 1605-1614.

Egea, G. et al., 2013. Almond agronomic response to long-term deficit irrigation applied since orchard establishment. *Irrig Sci*, Volume 31, pp. 445-454.

Egea, G. et al., 2010. Agronomic response and water productivity of almond trees under contrasted. *Agricultural Water Management*, Volume 97, p. 171–181.

Esparza, G., DeJong, T. M. & Weinbaum, S. A., 2001a. Effects of irrigation deprivation during the harvest period on nonstructural carbohydrate and nitrogen contents of dormant, mature almond trees. *Tree Physiol*, Volume 21, pp. 1081-1086.

Esparza, G., Dejong, T. M., Weinbaum, S. A. & Klein, I., 2001b. Effects of irrigation deprivation during the harvest period on yield determinants in mature almond trees.. *Tree Physiol.* , Volume 21, pp. 1073-1079.

FAOSTAT,2020.www.fao.org. [Online]

Felipe, A. J., 1989. Patrones para frutales de pepita y hueso. *Barcelona, ed. Técnicas Europeas, S.A.* , p. 181.

- Felipe, A. J., 1992. Aptitude pour la propagation chez l'amandier 'Garrigues' et sa descendance. pp. 73-79.
- Fereres, E. & Goldhamer, D. A., 1990. Deciduous fruit and nut trees.. *Stewart, B.A., Nielsen, D.R. (Eds.), Irrigation of Agricultural Crops. American Society of Agronomy, Madison, WI*, pp. 987-1017.
- Fereres, E. & Soriano, M. A., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *J. Exp. Bot*, 58(2), pp. 147-159.
- Fideghelli, C. & Loreti, F., 2009. Monografia dei portinnesti dei fruttiferi. In: *Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali. s.l.:s.n.*, p. 239.
- Fulton, J., Norton, M. & Shilling, F., 2019. Water-indexed benefits and impacts of California almonds Author links open overlay panel. *Ecological Indicators*, 96(1), pp. 711-717.
- Girona, J. & Marsal, J., 1995. Estrategias de RDC en almendro.. *Mundi Prensa*, pp. 97-118.
- Girona, J., Mata, M. & Marsal, J., 2005. Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond.. *Agric. Water Manage.*, Volume 75, pp. 152-167.
- Goldhamer, D. A. & Girona, J., 2012. Crop yield response to water: almond. *Steduto P, Hsiao TC, Fereres E, Raes D (eds) FAO irrigation and drainage Paper No. 66. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*, pp. 358-373.
- Goldhamer, D. A. & Smith, T. E., 1995. Single-season drought irrigation strategies influence almond production.. *Calif Agric*, Volume 49, pp. 19-22.
- Goldhamer, D. A. & Viveros, M., 2000. Effects of preharvest irrigation cutoff durations and postharvest water deprivation on almond tree performance.1. *Irrig Sci*, Volume 19, pp. 125-131.
- Goldhamer, D. A., Viveros, M. & Salinas, M., 2006. Regulated deficit irrigation in almonds: effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. *Irrig Sci*, Volume 24, pp. 101-114.

- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. & Mekonnen, M. M., 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. *Earthscan, London*.
- Hoekstra, A. Y. & Mekonnen, M. M., 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, pp. 3232-3237.
- Hutmacher, R. B. et al., 1994. Growth and yield responses of almond (*Prunus-Amygdalus*) to trickle irrigation.. *Irrig Sci*, Volume 14, pp. 117-126.
- IFAC, 2008. *International good practice guidance. Project appraisal using discounted cash flow. International federation of accountants. Available in <http://www.ifac.org>. [Online]*.
- Superintensivo, innovazione e sperimentazione sono le mosse vincenti. *Fruit Journal*, 2019.
- Leib, B. G. et al., 2006. Partial rootzone drying and deficit irrigation of ‘Fuji’ apples in a semiarid climate.. *Irrig. Sci.*, Volume 24, pp. 85-99.
- Lescourret, F., Ben Mimoun, M. & Genard, M., 1998. A simulation model of growth at the shoot-bearing fruit level I. Description and parameterization for peach.. *Europ J Agronomy*, Volume 9, pp. 173-188.
- Marull, J., Pinochet, J., Felipe, A. J. & Cenis, J. L., 1994. Resistance verification in *Prunus* selections to a mixture of 13 Meloidogyne isolates and resistance mechanisms of a peach-almond hybrid to *M. javanica*. *Fundam. Appl. Nematol.*, Volume 16, pp. 85-92.
- Monks, D. P., Taylor, C., Sommer, K. & Treeby, M. T., 2017. Deficit irrigation of almond trees did not decrease yield. *Acta Hort.* , Volume 1150, pp. 251-258.
- Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M. & Fereres, E., 2003. Yield responses of mature olive orchard to water deficits.. *J. Am. Soc. Hort.* , Volume 123, pp. 425-431.
- Payne, B. N., 2019. Almonds production in the California Central Valley. *Creative Components*, Volume 232.
- Pereira, L. S., Oweis, T. & Zairi, A., 2002. Irrigation management under water scarcity.. *Agr Water Manage*, Volume 57, pp. 175-206.

- Perez-Lopez, D. et al., 2007. The effect of irrigation schedules on the water relations and growth of a young olive (*O. europaea* L.) orchard.. *Agric Water Manage*, Volume 89, pp. 297-304.
- Pèrez-Pastor, A., Domingo , R., Torrecillas, A. & Ruiz-Sanchez, M., 2009. Response of apricot trees to deficit irrigation strategies.. *Irrig sci*, Volume 27, p. 231–242 .
- Pinochet, J., 1997. Breeding and selection for resistance to root-knot and lesion nematodes in *Prunus* rootstocks adapted to Mediterranean conditions. *Phytoparasitica*, Volume 25, pp. 271-274.
- Pinochet, J., 2010. ‘Replantpac’ (Rootpac R), a Plum-almond Hybrid rootstock for replant situations. *HortScience*, 45(2), pp. 299-301.
- Princhar, T. L. et al., 1992. Effects of water supply and irrigation strategies on almonds.. *Proceedings of 20th Annual Almond Research Conference, Sacramento, USA.*, pp. 60-63.
- Ramming, D. W. & Tanner, O., 1983. ‘Nemared’ peach rootstock. *HortScience*, Volume 18, p. 376.
- Ramos, B., 1976. Patrones francos de almendro. *Memoria del I Congr. Int. de Almendra y Avellana*, pp. 377-385.
- Romero, P., Botia, P. & Garcia, F., 2004. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees.. *Plant Soil*, Volume 260, pp. 169-181.
- Rouhi, V., Samson, R., Lemeur, R. & Van Damme, P., 2007. Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery.. *Environ. Exp. Bot.*, Volume 59, pp. 117-129.
- Rubio-Cabetas, M. J., 2016. Almond Rootstocks: Overview. *Options Méditerranéennes*, pp. 133-141.
- Sepaskhah, A. R. & Ahmadi, S. H., 2010. A review on partial rootzone drying irrigation. *International journal of plant production*, 4(4), p. 242 – 258..
- Torrecillas, A. et al., 1996. Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars.. *Plant Sci.*, Volume 118, pp. 135-143.

Torrecillas, A., Ruiz-Sanchez, M. C., Leon, A. & Del Amor, F., 1989. The response of young almond trees to different drip-irrigated conditions—development and yield.. *J Hort Sci*, Volume 64, pp. 1-7.

UNECE, www.unece.org. [Online] [Consultato il giorno maggio 2020].

USDA. *Almond Board of California*. [Online].

Vargas, F. et al., 2008. ‘Vayro’, ‘Marinada’, ‘Constantí’, and ‘Tarraco’ Almonds. *HortScience*, 43(2), p. 535–537.

Wahbi, S. et al., 2005. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate. I. Physiological and agronomic responses.. *Agric. Ecosyst. Environ.*, Volume 106, pp. 289-301.

Wardlaw, I. F., 1990. The control of carbon partitioning in plants.. *New phytol*, Volume 116, pp. 341-381.