

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi del sistema di rainwater harvesting in
ambito agricolo**

Il caso studio del Campo di Dalías, Spagna

Autore:

Michelangelo BUZZI

Relatore:

Prof. Fulvio
BOANO

Correlatore:

Prof.ssa Patrizia
LOMBARDI

Marzo 2018

Declaration Of Authorship

I, Michelangelo Buzzi, declare that this thesis and the work presented in it are my own and has been generated by me as the result of my own original research.

I confirm that:

- this work was done wholly or mainly while in candidature for a degree at this University
- where any part of this thesis has previously been submitted for a degree or any other qualification at this University or any other institution, this has been clearly stated
- where I have consulted the published work of others, this is always clearly attributed
- where I have quoted from the work of others, the source is always given with the exception of such quotations, this thesis is entirely my own work
- I have acknowledged all main sources of help
- where the thesis is based on work done by myself jointly with others, I have made clear exactly what was done by others and what I have contributed myself
- wither none of this work has been published before submission

Signed: _____

Date: _____

Politecnico di Torino

Abstract

Master of Science in Civil Engineering

Analysis of rainwater harvesting system for agricultural purpose

Case study of Campo de Dalías, Almería, Spain

by Michelangelo BUZZI

Ensuring a correct management of water resources at global level is a fundamental step to guarantee water security to most, if not all, of the world's population. International agreements have set out key objectives that must be achieved to ensure a sustainable development in order to tackle climate change; it is essential to study and develop technologies that guarantee a correct water management to face future challenges. The Mediterranean part of Spain, like most of the areas characterized by a semi-arid climate and a poor rainfall, suffers from severe water scarcity. The territory called Campo di Dalías, in the Province of Almería, possesses the peculiar characteristic of having a large amount of natural resources, especially thanks to aquifers, that have been poorly managed due to the local activity characterized by intensive greenhouse agriculture. Reflecting the main economic activity of the area, the exploitation of water resources has been so unsustainable that has severely compromised the preservation of the aquifers causing environmental problems that are leading to important economic and social consequences if the management of local natural resources does not change. For this reason, this work proposes an analysis of a possible introduction of a massive rainwater harvesting system in order to reuse rainwater for agricultural supply following the guidelines of the current legislation of El Ejido municipality. The main cultivation cycles were taken into consideration by comparing the relative water requirements with the potential of the collection system, supporting the analysis with a comparison concerning an environmental, economic and social

assessment between rainwater harvesting and the principal water supply systems of the territory. The resulting impacts due to the massive installation of the rainwater harvesting system have been summarized in a SWOT analysis applied to a triple bottom line framework. A final cost – benefits analysis is developed in two different scenarios to evaluate the feasibility of the project. The results show a promising cost – benefits ratio in both cases and a break even point situated in the fifth of the 20 years estimated life cycle of the system guaranteeing a final profit between 15173 € and 21292 €.

In the conclusion the main limitations and recommendations are highlighted.

Keywords: rainwater harvesting, greenhouse agriculture, water management, sustainable resources, Almería.

Riconoscimenti

Questo lavoro di tesi non sarebbe stato possibile senza il supporto ricevuto durante il tirocinio svolto con la Dott.ssa Aline Chiabai ed il Dott. Marc Neumann al Basque Center for Climate Change BC3 a Leioa, Spagna. La linea di ricerca intrapresa durante il periodo di stage, riguardante l'importanza dell'aspetto estetico nelle infrastrutture che producono risorse sostenibili, ha contribuito ad una sensibilizzazione personale verso tali argomenti, in particolare verso le risorse idriche. I conseguenti approfondimenti con l'aiuto fondamentale della Prof.ssa Patrizia Lombardi e del Prof. Fulvio Boano si sono tradotti in questo lavoro di ricerca.

“Future is vintage”

Jean-Philippe Verdin

Indice

| | |
|--|-----------|
| Elenco delle tabelle..... | xiii |
| Elenco dei grafici..... | xv |
| Elenco delle figure..... | xvii |
| Elenco degli acronimi..... | xix |
| 1 Introduzione..... | 1 |
| 1.1 Tema ed obiettivi..... | 2 |
| 1.2 Metodologia..... | 3 |
| 1.3 Struttura della tesi..... | 4 |
| 2 La gestione delle risorse idriche..... | 5 |
| 2.1 Un quadro generale..... | 5 |
| 2.2 Risorse naturali e cambiamento climatico..... | 7 |
| 2.2.1 Tecnologie per un uso sostenibile delle risorse idriche..... | 10 |
| 2.3 Revisione della letteratura..... | 11 |
| 3 Il contesto: lo sviluppo agricolo in Almería..... | 25 |
| 3.1 La produzione agricola nell'economia spagnola..... | 25 |
| 3.1.1 La ricerca di una politica idrica sostenibile in Spagna..... | 27 |
| 3.2 L'agricoltura intensiva in serra..... | 29 |
| 3.2.1 I diversi tipi di serra..... | 31 |
| 3.2.2 Le coltivazioni..... | 35 |
| 3.3 Disponibilità ed uso delle risorse idriche locali..... | 39 |
| 3.3.1 Acquiferi della Sierra di Gádor - Campo di Dalías..... | 40 |
| 3.3.2 Risorse idriche secondarie..... | 42 |
| 4 Rainwater harvesting: criteri di progetto..... | 47 |
| 4.1 Le caratteristiche principali..... | 47 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.2 | La quantità d'acqua disponibile..... | 53 |
| 4.2.1 | I depositi di raccolta idrica | 55 |
| 4.2.2 | Il tasso di evaporazione | 56 |
| 4.3 | Il modello normativo di El Ejido | 58 |
| 4.4 | I costi di installazione e/o adeguamento | 59 |
| 5 | Utilizzo delle risorse idriche del RWH..... | 61 |
| 5.1 | Applicazione ai principali cicli di coltivazione | 62 |
| 5.1.1 | Confronto di efficienza tra le diverse coltivazioni | 78 |
| 5.2 | I principali impatti del sistema di RWH..... | 79 |
| 5.2.1 | Aspetti economici..... | 79 |
| 5.2.2 | Aspetti ambientali..... | 81 |
| 5.2.3 | Aspetti sociali..... | 88 |
| 5.3 | Triple bottom line analysis..... | 90 |
| 5.4 | Analisi costi – benefici | 93 |
| 6 | Conclusioni e raccomandazioni | 101 |
| | Bibliografia e sitografia | 105 |

Elenco delle tabelle

| | |
|--|----|
| Tabella 3.1: Produzione per ogni ciclo di coltivazione nel Campo di Dalías (Cobos Lucena, Gordillo Manrique e Alfayate Iranzo 2003) | 36 |
| Tabella 3.2: Parametri principali acqua dell'impianto di dissalazione (AcuaMed, Planta desaladora de Campo de Dalías (Almería) s.d.) | 44 |
| Tabella 4.1: Precipitazione media dell'Almería (AM Online Projects 2018)..... | 53 |
| Tabella 4.2: Potenziale acqua raccolta (Elaborazione propria)..... | 54 |
| Tabella 4.3: Tassi di evaporazione medi mensili (Elaborazione propria)..... | 56 |
| Tabella 5.1: Confronto efficienza principali cicli di coltivazione (Elaborazione propria) | 78 |
| Tabella 5.2: Fabbisogno idrico e CE. (Cajamar 2005) | 82 |
| Tabella 5.3: ton eq. di CO ₂ risparmiate annualmente utilizzando il RWH (Elaborazione propria)..... | 85 |
| Tabella 5.4: Analisi SWOT e TBL framework (Elaborazione propria)..... | 92 |
| Tabella 5.5: Costi stimati di manutenzione per una serra di 16000 m ² (Sig. Aitor, Responsabile Proprietà Escobar Reyes, Comunicazione personale, 2018) (Elaborazione propria)..... | 94 |
| Tabella 5.6: Coltivazioni e relativo fabbisogno idrico (Elaborazione propria).... | 94 |
| Tabella 5.7: Percentuale acqua raccolta utilizzata nell'irrigazione (Elaborazione propria) | 95 |
| Tabella 5.8: Costi e benefici totali a 20 anni (Elaborazione propria)..... | 97 |
| Tabella 5.9: Costi e benefici cumulati (Elaborazione propria) | 98 |

Elenco dei grafici

| | |
|--|----|
| Grafico 5.1: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di peperoni ed acqua raccolta (Elaborazione propria) | 62 |
| Grafico 5.2: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di meloni e peperoni ed acqua raccolta (Elaborazione propria) | 64 |
| Grafico 5.3: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di melanzane ed acqua raccolta (Elaborazione propria) | 66 |
| Grafico 5.4: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di peperoni e angurie ed acqua raccolta (Elaborazione propria) | 68 |
| Grafico 5.5: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di pomodori ed acqua raccolta (Elaborazione propria) | 70 |
| Grafico 5.6: Confronto tra fabbisogno idrico di un doppio ciclo di zucchini ed acqua raccolta (Elaborazione propria) | 72 |
| Grafico 5.7: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di cetrioli ed acqua raccolta (Elaborazione propria) | 74 |
| Grafico 5.8: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di meloni e cetrioli ed acqua raccolta (Elaborazione propria) | 76 |
| Grafico 5.9: Emissioni di CO ₂ delle principali fonti di energia elettrica in Spagna e relativa percentuale di utilizzo (Electricity Map s.d.) (Elaborazione propria) | 84 |
| Grafico 5.10: Evoluzione dei prezzi dell'acqua in campo agricolo in Almeria (Elaborazione propria)..... | 96 |
| Grafico 5.11: Break Even Point (Elaborazione propria)..... | 99 |

Elenco delle figure

| | |
|--|----|
| Figura 3.1: La distesa di serre del Campo di Dalías. (Lang 2015) | 30 |
| Figura 3.2: Serra multitunnel con sistema rainwater harvesting a sinistra e serra parral-plano a destra (Almeria Hoy 2017) | 32 |
| Figura 3.3: Schema di una serra multitunnel (Invernaderos Ferrer s.d.) | 34 |
| Figura 3.4: Schema di una serra raspa y amagado (Ferrer s.d.)..... | 35 |
| Figura 3.5: Entrata serra multitunnel. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)..... | 37 |
| Figura 3.6: Irrigazione a goccia coltivazione di pomodori. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M 2018.) (Elaborazione propria) | 38 |
| Figura 3.7: Coltivazione di zucchini. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria) | 38 |
| Figura 3.8: Bacino di Benínar (Ufficio Municipale del Turismo di Berja s.d.) | 42 |
| Figura 3.9: Impianto di dissalazione del Campo di Dalías (Interempresas 2015) | 43 |
| Figura 3.10: Balsa del Sapo (ASAJA Almería 2016)..... | 45 |
| Figura 4.1: Sistema di RWH installato su serra multitunnel. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria) | 48 |
| Figura 4.2: Struttura RWH vista dall'interno di una serra tipo raspa y amagado. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.3: Particolare strutturale del RWH in serra multitunnel. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria) | 49 |
| Figura 4.4: Incontro con il Sig. Aitor, incaricato della gestione della Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria) | 50 |
| Figura 4.5: Incontro con il Sig. Aitor. Coltivazione di pomodori in serra multitunnel. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria) | 50 |
| Figura 4.6: Discesa acqua piovana presso apposito deposito di raccolta idrica. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)..... | 51 |
| Figura 4.7: Deposito di raccolta idrica a cielo aperto. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)..... | 52 |
| Figura 4.8: Sistema di pompaggio idrico per irrigazione. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)..... | 52 |

Elenco degli acronimi

| | |
|---------------|---|
| UN | United Nations |
| UE | Unione Europea |
| DQA | Direttiva Quadro sulle Acque |
| SDG | Sustainable Development Goals |
| COP | Conference Of Paris |
| PHN | Plan Hidrológico Nacional |
| RWH | RainWater Harvesting |
| RAPIDO | Recogida Aguas Pluviales en Invernaderos, Drenajes, Obras |
| CE | Conduttività Elettrica |
| TBL | Triple Bottom Line |
| SWOT | Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats |
| ACB | Analisi Costi – Benefici |
| BEP | Break Even Point |

1 Introduzione

La ricerca si propone di analizzare i problemi nella gestione dell'acqua, come risorsa naturale, in particolare, in un contesto agricolo, per identificare politiche di gestione sostenibile. La ricerca si focalizza su uno specifico caso in un territorio conosciuto con il nome di Campo di Dalías, nella provincia di Almería, in Spagna, nel quale lo sviluppo economico ha messo totalmente in secondo piano la buona gestione delle risorse e, solamente negli ultimi anni, sono iniziati i lavori di ricerca per rimediare all'inaccuratezza della gestione passata.

Il problema di questo caso studio riguarda la grave scarsità d'acqua in alcuni territori del bacino del Mediterraneo, in particolare la parte meridionale della Spagna. Sebbene le risorse idriche naturali non manchino, le decisioni economiche ed istituzionali sono state errate riguardo all'uso delle risorse sia a livello urbano che agricolo (Mora 2013). In Almería lo sviluppo dell'agricoltura intensiva in serra sta aumentando incessantemente raggiungendo una quantità di produzione di prodotti ortofrutticoli senza precedenti; produzione che si trova a rischio dato che la gestione delle risorse idriche locali non permette uno sfruttamento regolare e sostenibile degli acquiferi.

Il clima della Regione si può considerare mediterraneo, caratterizzato da una stagione invernale mite e relativamente piovosa, contrastata da estati caldi con una quasi assenza di precipitazione; per questo motivo l'aridità è particolarmente accentuata ed il paesaggio è desertico. Il Campo di Dalías, con una media di precipitazione annua di 228 mm (AM Online Projects 2018), si presenta perciò come una delle zone più aride della Spagna. Considerando il costante aumento del deficit idrico della zona ed il conseguente sovra sfruttamento degli acquiferi sotterranei e la mancanza di

progetti conclusivi per la risoluzione del problema, vale la pena considerare come opzione alternativa alla riduzione del deficit l'utilizzo di sistemi di approvvigionamento idrico alternativi come il rainwater harvesting (RWH), che, nonostante sia un sistema che generalmente viene utilizzato in paesi con una grande piovosità annua, in questo caso la poca pluviometria può essere compensata dalla grande presenza di infrastrutture destinabili alla raccolta di acqua piovana che, al giorno d'oggi, superano i 20.000 ettari (ASAJA Almería 2016).

La soluzione proposta non si pone l'obiettivo di risolvere il problema del deficit idrico del Campo di Dalías ma, piuttosto, vuole far riflettere su come una soluzione semplice e totalmente sostenibile come il rainwater harvesting possa fornire un grande contributo al fabbisogno idrico della zona. Una soluzione che generalmente è applicata da singoli utenti isolati, o da comunità rurali con limitate occupazioni in ambito urbano, in questo caso, se pensata ed applicata su scala maggiore, si vedrà in seguito come possa essere, nonostante le sue ovvie limitazioni, un sistema di approvvigionamento idrico che fornisce una quantità e qualità d'acqua comparabile a quella attualmente in uso. Per questo si vuole stimolare la ricerca scientifica orientata verso un recupero ed utilizzo delle risorse in modo che questo studio dimostra come un'accurata ricerca assieme a corrette politiche di gestione, possa essere un futuro punto di partenza verso una gestione sostenibile delle risorse naturali.

1.1 Tema ed obiettivi

Lo scopo di questo studio è quello di valutare una soluzione di rainwater harvesting che venga utilizzata esclusivamente per uso agricolo in un sistema di coltivazione in serra nel territorio del Campo di Dalías, confrontando dati pluviometrici storici opportunamente elaborati per stimare la potenzialità, il costo ed i conseguenti impatti dovuti all'installazione di questo sistema.

Gli obiettivi della ricerca sono:

- fornire una panoramica generale sulla questione acqua sottolineando gli obiettivi dei principali accordi istituzionali degli ultimi anni
- analizzare le caratteristiche ed i criteri di progettazione del rainwater harvesting
- sviluppare una soluzione applicata ai principali cicli di coltivazione ortofrutticoli della zona del Campo di Dalías
- confrontare l'efficienza della raccolta idrica e valutare i singoli impatti per giustificare l'installazione del sistema
- valutare la fattibilità economica dell'investimento tramite un'analisi costi – benefici

1.2 Metodologia

La metodologia utilizzata in questo lavoro di tesi ha seguito diversi *steps*. Inizialmente, è stata presa in considerazione la revisione della letteratura esistente, a livello internazionale, di casi simili a quello in oggetto, nei quali il sistema di RWH ha fornito un contributo sostanziale all'agricoltura locale. Successivamente sono state prese in considerazione le principali coltivazioni del Campo di Dalías ed analizzati i rispettivi fabbisogni idrici in modo da quantificare la potenzialità del sistema di RWH tramite analisi specifiche di bilancio idrico.

La ricerca è proseguita con il confronto tra il sistema di approvvigionamento d'acqua piovana e la tradizionale rete idrica, in modo da sottolinearne i principali benefici e le limitazioni, utilizzando un *framework triple bottom line* per la definizione dei relativi impatti. Infine lo studio sviluppa un'analisi costi – benefici per valutare l'effettiva convenienza economica dell'investimento.

1.3 Struttura della tesi

In questo lavoro di tesi, il capitolo 2 tratta della necessità di applicare una politica comune di gestione delle risorse idriche con particolare enfasi alla situazione spagnola facendo forza sull'importanza delle risorse naturali in un contesto di cambiamento climatico. Successivamente vengono introdotte le tecnologie che verranno trattate nella ricerca e si propone una revisione della letteratura di alcuni casi rilevanti a livello mondiale. Il capitolo 3 introduce la storia e l'evoluzione delle coltivazioni in Almería sottolineando la situazione idrica attuale del territorio.

Il capitolo 4 tratta del sistema di rainwater harvesting ed analizza la normativa proposta dal comune di El Ejido per valutarne un'ulteriore applicazione su scala maggiore. Il capitolo 5 propone un'analisi quantitativa di utilizzo delle risorse raccolte con il sistema di rainwater harvesting e ne analizza i relativi impatti economici, ambientali e sociali che sono sintetizzati tramite un triple bottom line framework ed un'analisi costi - benefici. Per finire, il capitolo 7 trae le conclusioni della ricerca.

2 La gestione delle risorse idriche

L'acqua è un fattore determinante per lo sviluppo economico e sociale e, allo stesso tempo, svolge la funzione fondamentale di mantenere l'integrità dell'ambiente naturale. Nonostante ciò, l'acqua è solo una delle risorse naturali vitali ed è quindi sostanziale che i problemi idrici non siano trattati esclusivamente in forma separata dagli altri ma è necessario che si integrino in un piano di gestione integrata in modo da valutare correttamente sia le implicazioni economiche, sia quelle ambientali e sociali.

I gestori delle risorse idriche, governativi e privati, devono prendere decisioni complicate in merito all'assegnazione dell'acqua, soprattutto di fronte ad un'offerta che declina di fronte alla crescente domanda. Fattori come i cambiamenti demografici e climatici aumentano soprattutto la pressione sulle risorse idriche. Esistono grandi differenze tra i vari territori su scala globale in termini di disponibilità idrica, che vanno dalla scarsità estrema dei deserti all'abbondanza delle foreste tropicali. Inoltre, vi è anche una variabilità nell'offerta a livello temporale a causa delle variazioni stagionali ed inter-annuali che rende i periodi di fornitura idrica parzialmente imprevedibili. Ciò implica una mancanza di affidabilità verso la risorsa, che rappresenta una sfida importante sia per i gestori delle risorse idriche sia per la società nel suo insieme.

2.1 Un quadro generale

Negli ultimi anni i problemi legati all'acqua stanno aumentando in modo significativo. La domanda idrica tutt'ora supera le capacità dei servizi e delle infrastrutture di approvvigionamento idrico che, al giorno d'oggi, sono già insufficienti e lo saranno ancor di più considerando che la popolazione mondiale è in continua crescita (Tran, Engin e Connor 2016). Questi ed altri

fattori, come l'avanzare del processo di desertificazione e la siccità, costringono i governi ad introdurre piani di gestione incentrati sul risparmio delle risorse idriche per garantire un regolare approvvigionamento d'acqua alla maggior parte della popolazione. Pianificare adeguatamente la gestione delle risorse idriche in modo che tutti possano trarne beneficio non è facile dato che non solo gli esseri viventi ne hanno bisogno ma anche molte industrie richiedono una grande quantità d'acqua per portare avanti le loro produzioni giacché, sebbene a livello europeo l'agricoltura sfrutti circa il 70% delle risorse idriche, il restante 30% è utilizzato per due terzi dalle industrie e per un terzo per uso urbano (UN 2015). Ci sono alcuni fattori che ostacolano il risparmio ed una corretta pianificazione delle risorse, ad esempio, geograficamente ci sono aree molto più secche di altre. La desertificazione è un problema crescente al quale un numero sempre maggiore di Paesi deve far fronte. L'uomo ha dovuto e deve tuttora elaborare strategie diverse per vincere la battaglia ed essere in grado di distribuire al meglio le risorse idriche. Un ulteriore problema è rappresentato dal fatto che un gran numero di Paesi che soffre di scarsità idrica non possiede un'economia abbastanza forte per investire in grandi opere ingegneristiche per sfruttare al meglio le risorse naturali presenti sul territorio (Cellamare 2009) garantendo, per esempio, uno stoccaggio delle risorse per poterne gestire l'utilizzo a seconda della disponibilità oppure usarle per produrre energia elettrica. Un'altra soluzione per sanare il deficit idrico potrebbe essere la desalinizzazione, tecnica che risale ai tempi dell'Antica Grecia (Nebbia e Menozzi Nebbia 2009) che però, per garantire una regolare fornitura ha bisogno di un grande quantitativo di energia e di un grande investimento per la costruzione degli impianti, fatto che non sempre rende il processo economicamente sostenibile per alcuni Paesi, molti dei quali sono i più colpiti dai problemi della desertificazione o scarsità idrica in generale. La domanda d'acqua potabile continua ad aumentare mentre il volume totale di acqua disponibile su una scala globale

rimane invariato; fornire acqua equamente per uso domestico, agricolo e industriale è quindi una grande sfida. È necessario indirizzarsi verso un futuro incentrato sulla cooperazione tra Paesi in tema di risorse idriche, e non solo, per garantire una corretta valutazione ambientale, economica e sociale in modo da raggiungere una gestione sostenibile di queste. È necessario sviluppare soluzioni per rendere più facile l'accesso all'acqua per le popolazioni più povere, per preservare l'ambiente, evitare conflitti e lavorare a favore di un dialogo orientato al buon governo. È inoltre fondamentale valutare la quantità d'acqua disponibile, il suo riutilizzo e la sua buona gestione in aree in cui è scarsa.

A livello tecnico bisogna sviluppare indicatori e metodi di misurazione universali in modo da consentire ai governi di parlare un linguaggio comune sulla gestione delle risorse idriche, nonché di stabilire e raggiungere obiettivi comuni (Francesco 2015). L'acqua non è una risorsa gratuita perciò la sua protezione, distribuzione e trattamento obbediscono alle stesse leggi economiche di qualsiasi altro bene di consumo (Attari 2014); però, allo stesso tempo, è una risorsa a cui tutti dovrebbero poter accedere.

2.2 Risorse naturali e cambiamento climatico

L'impatto dell'industrializzazione e l'incertezza causata dai cambiamenti climatici, i conflitti ed i disastri naturali possono accentuare il problema dell'approvvigionamento idrico e, più in generale, dell'accesso alle risorse.

L'ONU afferma che, entro il 2030, quasi la metà della popolazione mondiale vivrà nelle aree ad alto stress idrico, in particolare le popolazioni che si trovano in Africa (Mora Aliseda s.d.). I cambiamenti climatici influenzano enormemente le condizioni meteorologiche, le precipitazioni e l'intero ciclo dell'acqua, come le risorse superficiali e sotterranee. Il crescente problema della disponibilità delle acque superficiali e l'aumento dei livelli di inquinamento minacciano di ostacolare, o addirittura di interrompere, lo

sviluppo sociale ed economico in molte aree, oltre che influenzare la salute degli ecosistemi. Le risorse idriche sotterranee possono aiutare a soddisfare la domanda, ma sono spesso vittime di uno sfruttamento eccessivo. Spesso alcune pratiche tradizionali, come la raccolta dell'acqua piovana, vengono perfezionate e combinate con nuove tecniche come la ricarica artificiale delle falde, la desalinizzazione ed il riutilizzo delle cosiddette *greywater*. È necessario un ulteriore supporto, non solo per trovare soluzioni tecniche innovative che migliorino l'offerta, ma anche per gestire la domanda e promuovere l'efficienza nell'uso dell'acqua (Martinez Guzman 2013).

A causa dei crescenti cambiamenti nella disponibilità di risorse idriche, sarà necessario un sostegno politico per raccogliere informazioni in modo da consentire ai responsabili di prendere decisioni migliori in merito alla gestione e all'utilizzo dell'acqua. Sono già stati fatti grandi passi in materia con la stipulazione da parte delle Nazioni Unite dell'Agenda 2030, documento nel quale si dichiara l'effettiva insostenibilità del nostro sviluppo mondiale e si stilano 17 obiettivi principali in materia ambientale, economica e sociale, conosciuti come Sustainable Development Goals (SDG), che dovranno essere raggiunti nel futuro prossimo. Di grande importanza per questo lavoro di tesi è il n.6, riguardante le risorse idriche, che si pone l'obiettivo di garantire accesso ad acqua potabile, ai servizi igienico-sanitari e promuove una buona gestione degli ecosistemi d'acqua dolce dato che sono essenziali per la salute umana, la sostenibilità ambientale e la prosperità economica (UN 2015).

Un altro importante passo istituzionale risiede nella COP 21, Conferenza di Parigi tenutasi tra il 30 novembre ed il 12 dicembre 2015 nella quale 195 Paesi hanno approvato un testo che parte dal presupposto fondamentale che "il cambiamento climatico rappresenta una minaccia urgente e irreversibile per le società umane e per il pianeta". Si richiede pertanto "la massima

cooperazione di tutti i paesi" con l'obiettivo di "accelerare la riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra" (UN 2015).

I cambiamenti climatici, l'aumento della temperatura ed una maggiore irregolarità delle precipitazioni causerà una diminuzione degli apporti idrici ed un aumento della domanda anche dei sistemi di irrigazione. La sensibilità delle risorse idriche all'aumento della temperatura e diminuzione delle precipitazioni è molto alta, le aree più critiche sono le aree semi-aride, dove la diminuzione del contributo può raggiungere il 50% delle risorse potenziali dell'area (Martinez Guzman 2013).

La distribuzione temporale delle precipitazioni e delle temperature influisce sulla generazione di risorse idriche, in molte occasioni, con maggiore importanza rispetto ai valori medi mensili o stagionali di questi due parametri climatici. Allo stesso tempo i cambiamenti che si verificano nelle risorse idriche influenzano molti altri settori come gli ecosistemi acquatici e continentali, la biodiversità animale e vegetale, il settore agricolo, forestale, energetico e turistico, la salute umana ed i rischi naturali di origine climatica (UN 2015). Nella stima delle risorse idriche a seguito di possibili cambiamenti climatici ci sono incertezze inerenti sia sui dati di base sia sull'evoluzione del processo di generazione delle risorse (UN 2015); date queste incertezze, si distinguono vari scenari possibili che differiscono sulla distribuzione spaziale e temporale delle precipitazioni, sul comportamento dell'uso delle risorse, sulla ricarica degli acquiferi ed ovviamente sulle limitazioni dei diversi modelli di simulazione. Le legislazioni richiedono che l'uso delle risorse sia sostenibile; ciò implica la gestione razionale delle risorse naturali tenendo conto della loro capacità di rinnovamento, evitando il loro eccessivo sfruttamento e ricostituendole qualitativamente e quantitativamente, quando possibile (UN 2015). Nel caso specifico di risorse naturali non rinnovabili (quali minerali ed idrocarburi, ad esempio), lo sfruttamento deve

considerarne un uso efficiente, evitando o riducendo l'impatto negativo sull'ambiente.

2.2.1 Tecnologie per un uso sostenibile delle risorse idriche

Di fronte agli effetti dei cambiamenti climatici che trarranno conseguente scarsità di risorse idriche, insicurezza e povertà sia rurale che urbana, l'uso delle pratiche agricole si è intensificato per una migliore conservazione dell'acqua e del suolo, così come la ricerca di opzioni tecnologiche progettate per catturare l'acqua di qualsiasi origine, e usarla sia in agricoltura che per il consumo umano.

La promozione di tecniche per la raccolta di acqua si basa su due tipi di fonti: l'area in cui si genera la raccolta e l'area che è destinata a conservare la risorsa per consentirne l'uso a posteriori. Nella misura in cui aumenta il cambiamento climatico l'insicurezza nell'agricoltura pluviale, gli investimenti nella raccolta e distribuzione dell'acqua sono problemi fondamentali che devono essere presi in considerazione. Data l'accentuata carenza d'acqua e l'aumento del costo dei grandi sistemi irrigazione, è necessario sfruttare le diverse opportunità che vengono presentate per migliorare la produttività attraverso la modernizzazione di sistemi esistenti, l'espansione e la diffusione dei mezzi di raccolta idrica ed i piccoli sistemi di irrigazione.

Per contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici in agricoltura, nello specifico, ci si riferisce ad una maggiore variabilità delle precipitazioni ed all'aumento delle temperature, ciò richiede l'implementazione di pratiche e tecnologie per garantire la disponibilità di acqua durante il periodo di produzione delle coltivazioni. Per questo motivo, la diffusione di pratiche per la costruzione di aree di ricarica o fonti d'acqua, tecniche per la raccolta delle acque piovane e del deflusso, tecniche per la conservazione, il riciclaggio o il riutilizzo dell'acqua, unite ad un uso efficiente, diventano azioni

fondamentali per contribuire alla sicurezza alimentare ed all'adattamento ai cambiamenti climatici.

Un migliore utilizzo dell'acqua piovana attraverso sistemi di raccolta di acqua piovana, conosciuti come sistemi di rainwater harvesting (RWH) potrebbe contribuire ad un'agricoltura più semplice migliorando i livelli di produzione e garantendo una gestione sostenibile dei terreni. La chiave è avere tecnologie accettate dalla maggior parte degli utenti; per questo è necessario propagare tecnologie a basso costo, adattate ai contesti locali, facilmente replicabili, che possano essere implementate all'agricoltura in forma sostenibile (Martinez Guzman 2013).

Le varie tecnologie di RWH si adattano ai vari sistemi di irrigazione, differenti a seconda dei cicli di coltivazione, per garantire una fornitura idrica durante i mesi di siccità oppure per essere usati come risorsa supplementare durante tutto l'anno in modo da assicurare continuità produttiva.

L'introduzione di tecnologie sostenibili per l'uso delle risorse idriche per scopo agricolo è fondamentale perché, altrimenti, per la maggior parte degli agricoltori non sarà facile abbandonare l'agricoltura pluviale e quindi non saranno garantite le regolari produzioni negli anni futuri.

Nel seguente paragrafo, prima di entrare nel dettaglio dell'area di progetto, verranno illustrate le principali ricerche dedicate al rainwater harvesting dalle quali si è preso spunto per costruire questa tesi.

2.3 Revisione della letteratura

Negli ultimi 20 anni il tema della raccolta d'acqua piovana per uso agricolo è stato ampiamente discusso. La maggior parte degli articoli analizzati si pone il problema di fornire un contributo idrico supplementare alle coltivazioni in alcune particolari aree caratterizzate da un clima semi-arido utilizzando l'acqua piovana durante le precipitazioni oppure raccogliendola per utilizzarla durante i periodi di siccità.

È importante sottolineare che non tutti i metodi presenti negli studi selezionati fanno riferimento al rooftop rainwater harvesting, sistema che utilizza come superficie di raccolta i tetti degli edifici ma alcuni utilizzano superfici chiamate di run-off che sono superfici in pendenza che, rivestite opportunamente in modo da alterare l'infiltrazione favoriscono la discesa dell'acqua verso l'area coltivata. Sono inoltre stati analizzati studi che fanno riferimento alla possibile alterazione del ciclo idrologico nel caso di un'adozione su larga scala del sistema di RWH e sono state riportate alcune ricerche sul fabbisogno di alcune coltivazioni in serra.

Gli articoli selezionati hanno l'obiettivo di fornire una conoscenza generale su come possa essere utilizzato il rainwater harvesting per scopo agricolo e che impatti abbia sul ciclo idrologico prendendo come esempio alcuni casi specifici a livello internazionale che presentano caratteristiche simili a quelle dell'area che verrà considerata di progetto:

- Li, F., S. Cook, G. T. Geballe, e W. R. Burch Jr. «Rainwater Harvesting Agriculture: An Integrated System for Water Management on Rainfed Land in China's Semiarid Areas.» *BioOne*, 2000: 477-483.
- Ngigi, S. N., H. H. G. Savenije, e F. N. Gichuki. «Land use changes and hydrological impacts related to up-scaling of rainwater harvesting and management in upper Ewaso Ng'iro river basin, Kenya.» *Elsevier*, 2007: 129-140.
- Zhao, X. N., P. T. Wu, H. Feng, Y. K. Wang, e H. B. Shao. «Towards Development of Eco-Agriculture of Rainwater-Harvesting for Supplemental Irrigation in the Semi-Arid Loess Plateau of China.» *J. Agronomy & Crop Science*, 2009.
- Liang, X., e M. P. van Dijk. «Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing.» *Elsevier*, 2011: 1100-1108.

- Biazin, B., G. Sterk, M. Temesgen, A. Abdulkedir, e L. Stroosnijder. «Rainwater harvesting and management in rainfed agricultural systems in sub-Saharan Africa – A review.» *Elsevier*, 2012: 139-151.
- Sanjuan-Delmás, D., E. Sanyé-Mengual, X. Gabarrell Durany, e A. Josa. «Application of rainwater harvesting to rooftop greenhouse: a case study from Barcelona.» 2014: 1-2.
- Woltersdorf, L., S. Liehr, e P. Döll. «Rainwater Harvesting for Small-Holder Horticulture in Namibia: Design of Garden Variants and Assessment of Climate Change Impacts and Adaptation.» *Water*, 2015: 1402-1421.
- Ricardo Calzadilla, M. P., M. Méndez Fernández, e C. Bonet Pérez. «Evaluación de la eficiencia de la captación de agua de lluvia en casas de cultivos.» *Revista ingeniería agrícola*, 2015: 3-9.
- Bafdal, N., S. Dwiratna, D. Rustam Kendarto, e E. Suryadi. «Rainwater Harvesting As a Technological Innovation to Supplying Crop Nutrition through Fertigation.» *international journal on advanced science engineering information technology*, 2017.
- Rozaki, Z., M. Senge, e K. Yoshiyama. «Feasibility and adoption of rainwater harvesting by farmers.» *Reviews in Agricultural Science*, 2017: 56-64.
- Lupia, F., V. Baiocchi, K. Lelo, e G. Pulighe. «Exploring Rooftop Rainwater Harvesting Potential for Food Production in Urban Areas.» *Agriculture*, 2017.

Li, Cook, et al. (2000)

Lo studio affrontato da Li et al. riguarda l'introduzione di un sistema di RWH a scopo agricolo per migliorare la gestione integrata delle risorse idriche in Cina. L'agricoltura che fa uso della raccolta di acqua piovana, è stata inizialmente sviluppata da scienziati nella provincia di Gansu oltre trent'anni fa; essa è composta da un sistema integrato per la gestione dell'acqua in aree semiaride caratterizzate da un'agricoltura piovana. Questo sistema è caratterizzato da tre componenti principali che includono il sistema di raccolta dell'acqua piovana, un sistema di irrigazione a risparmio idrico ed un sistema estremamente efficace di produzione agricola. Le superfici di raccolta possono avere diverse caratteristiche: possono essere costituite semplicemente da un'area impermeabilizzata con cera fusa, asfalto, cemento, film plastici etc. oppure, dove è possibile, si possono utilizzare come superfici di raccolta tetti, cortili, colline rocciose e strade asfaltate. La principale funzione di un sistema di RWH è fornire una sufficiente quantità d'acqua agli agricoltori in ambienti con limitato accesso alle risorse necessarie per soddisfare fabbisogni domestici ed agricoli. L'implementazione preliminare del RWH in Gansu e altre province nel nord-ovest della Cina suggeriscono che il RWH ha il potenziale per migliorare le prestazioni nell'agricoltura piovana oltre che contribuire alla risoluzione di problemi ambientali come l'erosione del suolo. La piccola scala e il basso costo dei sistemi di RWH rendere semplice l'introduzione del sistema da parte degli agricoltori. Però, per avere successo, il RWH deve essere integrato in un completo sistema di gestione agricola; cioè la gestione dei sistemi di RWH deve essere combinata ad ulteriori tecnologie e pratiche di gestione. Inoltre, la diffusione del RWH su vaste aree rende necessarie varie considerazioni agro-idrologiche, ecologiche, sociali, culturali, economiche e politiche. In particolare, sorge la necessità di fornire servizi di formazione e di estensione agli agricoltori, per sviluppare e diffondere più efficacemente le tecnologie di RWH come

alternativa e sviluppare strumenti di politica alternativa ed istituzioni sociali che facilitino l'adozione di pratiche RWH.

Ngigi, Savenije e Gichuki (2007)

Lo studio affrontato da Ngigi et. al si pone l'obiettivo di analizzare i cambiamenti nell'uso del suolo e gli impatti idrologici legati alla dimensione dei sistemi di raccolta e gestione delle acque piovane in Kenya. Alcuni cambiamenti nell'uso della terra sono guidati dalla necessità di migliorare la produzione agricola ed il sostentamento tramite raccolta e gestione delle acque piovane. Questi cambiamenti hanno lo scopo di conservare ulteriori deflussi sui terreni agricoli per usi produttivi. Ciò potrebbe ridurre i flussi idrici provenienti dal fiume per gli utenti a valle e portare a conseguenze idrologiche, socioeconomiche e ambientali negative in un bacino idrografico. D'altra parte, i sistemi di stoccaggio dell'acqua piovana possono portare a impatti positivi riducendo le estrazioni idriche per l'irrigazione durante i periodi di siccità. L'articolo presenta una struttura concettuale per valutare gli impatti dei cambiamenti nell'uso del suolo nel bacino del fiume Ewaso Ng'iro in Kenya. È basato su un nesso ecosistema-persone-acqua ed analizza i problemi principali e come possono essere affrontati. Il *paper* presenta una valutazione idrologica del quadro concettuale di raccolta delle acque piovane che valuta gli impatti dell'utilizzo della terra sui cambiamenti del regime idrologico in un bacino idrografico. I risultati aiuteranno la gestione sostenibile dei terreni, le politiche di gestione delle risorse idriche e la creazione di strategie per i bacini che presentano scarsità idrica. La necessità di ridimensionamento di un sistema di RWH può essere attribuita ad un aumento della produzione agricola e quindi migliori entrate e mezzi di sussistenza. Tuttavia, c'è bisogno di preparazione per affrontare gli impatti previsti e risultanti da una crisi idrica. Questa previsione aiuterà le parti interessate a formulare politiche sostenibili per scongiurare l'incombente crisi

idrica. Inoltre, c'è bisogno di previsioni più dettagliate dei possibili scenari. Tuttavia, i risultati preliminari guidano il processo di formulazione delle strategie per affrontare i cambiamenti di uso del suolo previsti ed i relativi impatti correlati. Una strategia di gestione integrata delle risorse idriche sostenibile dovrebbe bilanciare i diversi interessi delle parti interessate. Migliorare la comprensione di vari aspetti idrologici e socioeconomici e quindi supportare la formulazione di politiche, legislazioni ed istituzioni sostenibili che si focalizzano sulle esigenze e le attività socio-economiche degli utenti dell'acqua e sugli ecosistemi naturali. Il processo di formulazione della politica richiede una comprensione del *trade-off* tra uso della terra e sistemi idrici e potenziali impatti su altri settori. Ciò identificherebbe opzioni sostenibili per la gestione delle risorse. Si utilizza uno strumento esplorativo finalizzato a questioni strategiche di utilizzo del suolo: come soddisfare le esigenze contrastanti con obiettivi in materia di sicurezza economica, alimentare, ecologica e sociale. Il suo scopo principale è sostenere e stimolare una discussione aperta sulle possibilità future e le relative limitazioni.

Zhao, Wu, et al. (2009)

Gli autori prendono in considerazione l'altopiano semi-arido di Loess, in Cina, per valutare il contributo supplementare all'irrigazione che può essere dato dalla raccolta di acqua piovana dato che la suddetta zona è una zona centrale dell'agricoltura piovana cinese.

La siccità e l'erosione del suolo sono i due principali ostacoli alla restrizione dello sviluppo economico nell'altopiano. La tradizionale agricoltura conservativa e l'agricoltura piovana sono state sviluppate per diversi decenni per ridurre l'uso d'acqua e la perdita di suolo e migliorare l'efficienza di utilizzo dell'acqua piovana. Tuttavia, il ruolo regolativo di questi sistemi nell'utilizzo dell'acqua piovana è molto limitato, e, problemi della produzione agricola, come la grave siccità stagionale e scarsità d'acqua, bassa produttività

agricola, fragile ambiente ecologico, ed il rapporto basso rendimento-investimenti, sono ancora in corso. L'irrigazione supplementare con acqua piovana raccolta è una forma importante di regolazione e utilizzo delle precipitazioni sulla base di sofisticate tecnologie e teorie sull'agricoltura conservativa di tipo piovano che promuove la raccolta delle piogge su base sia spaziale che temporale. La produttività dell'agricoltura sarà notevolmente aumentata utilizzando la raccolta dell'acqua piovana per l'irrigazione supplementare delle coltivazioni. Non solo si unisce l'integrazione ecologica allo sviluppo economico, ma si fornisce anche un nuovo approccio allo sviluppo sostenibile dell'agricoltura e si superano due dei maggiori ostacoli (siccità ed erosione del suolo). Si suggerisce che questa tecnologia potrà diventare una misura strategica ed un modello di sviluppo completo dell'altopiano di Loess in Cina.

Liang e van Dijk (2011)

L'analisi proposta dagli autori rimane sempre sul territorio cinese però si dedica agli aspetti economico-finanziari dei sistemi di RWH per uso agricolo. Dal 2006 sono stati costruiti circa 600 sistemi di raccolta d'acqua piovana per l'irrigazione a Pechino. Le implicazioni finanziarie ed economiche dell'uso di questi sistemi sono state meno discusse perciò è importante comprendere l'efficacia degli investimenti sui sistemi di raccolta dell'acqua piovana. L'articolo mira ad analizzare le prestazioni economiche e finanziarie dei sistemi di raccolta dell'acqua piovana costruiti nelle zone rurali di Pechino attraverso il metodo dell'analisi costi-benefici. L'analisi economica si concentra sul determinare il contributo dei sistemi di raccolta dell'acqua piovana allo sviluppo della società, realizzato da un punto di vista governativo. L'analisi finanziaria consente il confronto delle implicazioni economiche nell'utilizzo delle acque sotterranee con l'utilizzo dell'acqua piovana per l'irrigazione da punto di vista di partecipazione degli agricoltori

locali. I risultati mostrano che i sistemi di raccolta dell'acqua piovana sono economicamente fattibili. Ciò significa che la raccolta dell'acqua piovana ha effetti positivi per la società. Però, la fattibilità finanziaria dei sistemi di raccolta dell'acqua piovana dipende dall'addebito per le acque sotterranee e oltre la dimensione dei sistemi di raccolta dell'acqua piovana. Se l'acqua sotterranea non presentasse costi di utilizzo, la raccolta dell'acqua piovana non sarebbe finanziariamente sostenibile. Se l'acqua di falda ha un prezzo di 2 Yuan/m³ (circa 0,26 €/m³), solo i sistemi di grandi dimensioni sono finanziariamente fattibili mentre i sistemi di piccole e medie dimensioni non sono economicamente vantaggiosi.

Biazin, Sterk, et al. (2012)

Biazin et al. si concentrano, in un contesto africano sub-sahariano, alla gestione delle risorse idriche provenienti dal RWH. La scarsità di acqua per uso agricolo nei sistemi di coltivazione prevalentemente pluviali dell'Africa subsahariana è legata più alla variabilità delle precipitazioni ed agli eccessivi sprechi, rispetto che al totale annuale delle precipitazioni nella stagione di crescita. Meno del 15% delle precipitazioni terrestri diventa produttiva sotto forma di traspirazione "verde". Le tecnologie di raccolta e gestione delle acque piovane hanno un potenziale significativo per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua piovana e sostenere l'agricoltura nella regione. La ricerca delinea le varie tecniche RWH praticate nella regione e revisiona recenti risultati di ricerche riguardanti le performance di altri progetti selezionati. Finora, la micro-raccolta e la raccolta d'acqua piovana in situ sono le tecniche più comuni di irrigazione a differenza dei sistemi di macro-raccolta, meno utilizzati. A seconda delle precipitazioni e delle caratteristiche locali del suolo, l'applicazione appropriata delle tecniche in situ e di micro-raccolta potrebbero migliorare il contenuto d'acqua del suolo nella zona di radicazione delle coltivazioni fino a 30%. Sono stati ottenuti fino a sei raccolti

attraverso combinazioni di RWH e fertilizzante, rispetto alle pratiche tradizionali. L'irrigazione supplementare attraverso la raccolta dell'acqua piovana non solo riduce il rischio di fallimento totale del raccolto dovuto a periodi secchi, ma anche migliora sostanzialmente la qualità dell'acqua e la produttività delle coltivazioni. A seconda del tipo di coltivazione e del modello stagionale delle precipitazioni, l'applicazione delle tecniche di gestione delle risorse provenienti dal RWH garantisce una maggiore sicurezza economica, rispetto ai sistemi esistenti. L'attuazione della raccolta dell'acqua piovana può consentire ai piccoli agricoltori di cereali di passare a coltivazioni diversificate, migliorando così la sicurezza alimentare delle famiglie, variare l'alimentazione e garantire un ritorno economico. La tanto necessaria rivoluzione verde e gli adattamenti ai cambiamenti climatici nella regione dovrebbero fondersi agli ideali di raccolta dell'acqua piovana a scopo agronomico. Sono necessari ulteriori sforzi per migliorare le tradizioni indigene e diffondere le migliori pratiche su una scala più ampia.

Sanjuan-Delmás, Gabarrell Durany, et al. (2014)

La ricerca è focalizzata sull'utilizzo delle risorse di RWH applicate al un ciclo di coltivazione in una serra. Lo studio è stata condotto nel campus Universitat Autònoma de Barcellona, Spagna. Gli edifici considerati dispongono di un sistema di raccolta dell'acqua piovana condiviso con quasi 2.100 m² di superficie di raccolta e 135 m³ di capacità di stoccaggio dell'acqua in 2 serbatoi sotterranei. Il sistema consente una nuova applicazione di utilizzo dell'acqua piovana in una serra integrato sul tetto di uno degli edifici, che è collegato ad un altro edificio di servizio, consentendo potenziali collegamenti con i flussi d'acqua. Questo studio mira ad una valutazione teorica della fattibilità del sistema di raccolta dell'acqua piovana. Sebbene al momento sia operativa solo un'area pilota di 120 m² di coltivazione, è stata considerata l'intera superficie potenziale esistente per la serra sul tetto (480

m²) per la valutazione. Il periodo per una coltivazione di pomodori (10 mesi) è stato preso in considerazione per la valutazione del fabbisogno di irrigazione. Le colture sono idroponiche e consistono in sacche di perlite con un sistema di irrigazione che fornisce l'acqua e le sostanze nutritive necessarie.

I risultati della valutazione mostrano che le precipitazioni nel periodo sono sufficientemente elevate da coprire il fabbisogno idrico delle colture. Il fabbisogno idrico delle colture di pomodoro è di circa 12 m³/mese. Data la concentrazione delle precipitazioni nell'area mediterranea in alcuni punti dell'anno, la potenziale acqua piovana raccolta è inferiore alla precipitazione totale, poiché il 12% dell'acqua supera la capacità dei serbatoi. Si può osservare che l'acqua raccolta è quasi 4 volte l'acqua necessaria per l'irrigazione delle colture. Ciò significa che ci sono circa 1100 m³ di acqua disponibili per altri usi all'interno dell'edificio. Inoltre, l'acqua in uscita potrebbe essere utilizzata per i bagni e l'irrigazione di piante ornamentali nell'edificio. Un elemento importante da considerare è il pompaggio dell'acqua dal serbatoio che consuma energia. L'applicazione della raccolta delle acque piovane all'agricoltura urbana potrebbe rappresentare un notevole risparmio nel consumo di acqua ed aiutare la lotta contro siccità. L'applicazione della metodologia di valutazione del ciclo di vita potrebbe essere di interesse al fine di quantificare gli impatti ambientali di questo sistema. Questo studio mostra un primo tentativo di analizzarlo e dovrebbe incoraggiare l'applicazione di questa tecnologia e l'ulteriore valutazione di più casi studio.

Woltersdorf, Liehr e Döll (2015)

Lo studio, avvenuto in Namibia, non si propone solamente di analizzare la potenzialità di un sistema di RWH per una piccola coltivazione ma cerca anche di studiare il possibile adattamento ai cambiamenti climatici. La

progettazione di giardini basati sulla raccolta dell'acqua piovana richiede la considerazione della corrente situazione climatica ma anche dei cambiamenti climatici durante la vita della struttura. L'obiettivo dello studio è presentare un approccio per la progettazione di varianti di giardini che possono essere tranquillamente irrigati con la raccolta dell'acqua piovana. Inoltre, lo studio presenta una metodologia per quantificare gli effetti dei cambiamenti climatici per osservare la variazione di precipitazione effettivamente utilizzabile. I risultati dello studio potrebbero non essere accurati a causa delle ipotesi formulate per le proiezioni climatiche e potrebbero dover essere ulteriormente ridefiniti. Sono stati stabiliti tre semplici scenari di condizioni climatiche differenti ed è stato analizzato l'impatto dei cambiamenti climatici sulla pioggia e sulla produzione orticola raccolta per una regione semi-arida nel nord della Namibia. Nei due scenari climatici con diminuzione delle precipitazioni ed un aumento della temperatura medio/alto sono necessarie misure di adattamento per evitare riduzioni sostanziali della produzione orticola. Lo studio ha rilevato che le misure di adattamento più promettenti per sostenere i rendimenti sono l'introduzione di un giardino più efficiente ed un ingrandimento delle dimensioni del tetto. Le misure proposte possono compensare parzialmente o completamente gli impatti negativi dei cambiamenti climatici.

Ricardo Calzadilla, Méndez Fernández e Bonet Pérez (2015)

Lo studio di Ricardo Calzadilla et al. valuta l'efficienza della raccolta dell'acqua piovana in alcune serre a La Habana, Cuba. La raccolta di acqua piovana è un'alternativa efficace per la conservazione del suolo e dell'acqua. Il raggiungimento di una gestione sostenibile delle varie fonti d'acqua costituisce una sfida globale, che richiede soluzioni locali efficaci. Applicando i metodi di raccolta si garantisce l'affidabilità della produzione agricola e vengono mitigati gli effetti degli eventi estremi. Lo studio ha permesso di

valutare l'efficienza della raccolta di acqua piovana dai tetti di tre serre in condizioni climatiche diverse attraverso indicatori di beneficio; di protezione ambientale, socioeconomici e produttivi. I risultati hanno mostrato che l'acqua piovana che è stata raccolta protegge i terreni ed evita le perdite dovute alla potenziale erosione laminare nelle vicinanze delle case studiate, in un intervallo da 0,06 a 5,00 ton/ettaro annue. Inoltre, si garantisce acqua di buona qualità per uso domestico e per consumo umano ad un totale di 202 persone per 30 giorni del periodo di siccità, con l'acqua catturata solo da una serra di 540 m². È stato inoltre dimostrato che in ogni regione sarà possibile progettare diversi tipi di serbatoi e bacini con una capacità di stoccaggio di oltre 480 m³ in modo da soddisfare il fabbisogno idrico di coltivazioni importanti come pomodori, pepe e cetrioli.

Bafdal, Dwiratna, et al. (2017)

Gli autori analizzano la gestione delle risorse idriche nella produzione agricola principalmente attraverso una combinazione tra irrigazione e fertilizzante. L'introduzione di fertilizzanti nell'acqua di irrigazione per fornire sostanze nutritive alle coltivazioni è stata un'innovazione tecnologica nel settore agricolo. L'interdipendenza tra irrigazione e fertilizzante è stata riconosciuta nella maggior parte del mondo in cui viene praticata l'agricoltura irrigua. La fertirrigazione diventa una componente strettamente collegata in un sistema generale per l'acqua nella gestione nella produzione agricola. Il concetto di raccolta dell'acqua piovana nella stagione delle piogge e la sua fornitura alle coltivazioni attraverso la fertirrigazione è stata introdotta come parte di una più ampia innovazione teorica e tecnologica. L'acqua piovana viene raccolta periodicamente dal tetto di una serra e conservata in canali per un uso successivo. Lo scopo di questo studio è quello di valutare il volume totale di acqua piovana raccolto a scopo agricolo per piantare una coltivazione di pomodori rosso tipo ciliegia nella stagione sia secca che

umida. La ricerca è stata condotta da gennaio a maggio 2016 nella serra del campus dell'Università Padjadjaran, Jatinangor Sumedang, West Java Indonesia. I risultati mostrano che la quantità d'acqua raccolta dai tetti delle serre e la successiva applicazione come fertirrigazione nella stagione delle piogge fornisce risultati abbastanza buoni per garantire un consumo per tutto l'anno (stagione umida e secca) per la coltivazione presa in considerazione.

Rozaki, Senge e Yoshiyama (2017)

Rozaki et al. nella loro pubblicazione studiano la fattibilità dell'adozione di un sistema di RWH da parte degli agricoltori in Giappone. La raccolta dell'acqua piovana è stata praticata per molti anni in diverse regioni a livello mondiale ed è principalmente utilizzata per uso domestico o agricolo. Vari studi sulla raccolta delle acque piovane per uso agricolo nelle zone secche o tropicali dei paesi in via di sviluppo hanno dimostrato benefici come un aumento dei rendimenti delle coltivazioni e facilitato il passaggio a coltivazioni di maggior valore. Per ottimizzare i vantaggi di raccolta dell'acqua piovana è necessario un progetto che ne valuti la fattibilità e l'efficienza. I costi di questa tecnologia sono influenzati da manodopera, materiali, periodo di ammortamento e costi di gestione. È stato dimostrato che la raccolta dell'acqua piovana è fattibile, con un rapporto costi benefici fino a 1,6 e un tasso interno di rendimento fino al 76%, anche se il valore attuale netto varia a seconda della valuta e della località. Tuttavia prevale ancora l'incertezza riguardo alla tecnologia di raccolta dell'acqua piovana e, per i piccoli proprietari terrieri, può essere un problema raccogliere le finanze necessarie per la costruzione iniziale del sistema. Per affrontare questo problema, sussidi o l'accesso a prestiti sono importanti.

Lupia, Baiocchi, et al. (2017)

La pubblicazione di Lupia et al. si concentra sulla potenzialità dei sistemi di RWH per la produzione agricola installati sui tetti nella zona urbana di Roma, Italia. Frutta e verdura nostrane stanno guadagnando popolarità in molte aree metropolitane con diverse sfaccettature collegate al più ampio fenomeno dell'agricoltura urbana. Allo stesso tempo, la relazione tra la produzione alimentare urbana e l'acqua per l'irrigazione è cruciale in termini di gestione delle risorse. Nell'articolo, si è studiato il risparmio idrico attraverso l'uso di acqua piovana raccogliibile dai tetti degli edifici per irrigare 2631 orti di frutta ed ortaggi nell'area urbana di Roma. La metodologia si avvale di dati geospaziali esistenti e di dati derivati dalla classificazione delle immagini satellitari per stimare le esigenze di irrigazione degli orti e la raccolta acqua piovana dai tetti degli edifici vicini. Il confronto tra l'acqua piovana raccogliibile annualmente con le esigenze irrigue ha consentito il calcolo della proporzione dei giardini autosufficienti a livello idrico, nonché la quantità di giardini il cui il fabbisogno idrico potrebbe essere parzialmente soddisfatto con l'acqua piovana. Le statistiche sono state differenziate per tipo di uso del suolo (orticoltura, coltivazioni miste, uliveti, frutteti e vigneti) e sotto l'ipotesi che i sistemi di irrigazione possano avere un'efficienza differente a seconda dell'uso. Si è ricavato che tra il 19% ed il 33% dei giardini potrebbe essere autosufficiente dal punto di vista idrico a seconda che venga considerata un'efficienza d'irrigazione rispettivamente bassa o alta. I restanti giardini, utilizzando la quantità d'acqua piovana disponibile, potrebbero soddisfare tra il 22% (bassa efficienza) e il 44% (alta efficienza) del fabbisogno idrico garantendo una riduzione nell'uso di fonti d'acqua convenzionali.

3 Il contesto: lo sviluppo agricolo in Almería

Nel contesto spagnolo il focus della ricerca si incentra su un territorio conosciuto con il nome di Campo di Dalías, ubicato nella parte Occidentale della Provincia di Almería, in Andalusia, una delle regioni più colpite dal fenomeno della desertificazione a causa della mancanza d'acqua ma che presenta un enorme motore economico per l'intero Paese grazie ad un'elevata produzione agricola derivata da un tipo di agricoltura intensiva in serra.

In seguito verrà analizzata nel dettaglio la principale attività economica della Regione, le relative necessità idriche e le risorse locali che sono presenti e cercano di soddisfare la sempre crescente domanda.

3.1 La produzione agricola nell'economia spagnola

L'agricoltura intensiva nella provincia di Almería è un modello di agricoltura ad alte prestazioni tecniche ed economiche sulla base di un uso razionale di acqua, suolo e l'utilizzo di serre ad alta componente tecnica. La prima serra della Provincia fu costruita nel 1963 e la tecnica fu estesa dal Campo de Dalías al Campo de Níjar, comprendendo velocemente tutta la zona denominata *Poniente Almeriense* fino a raggiungere la parte orientale della Regione. Le serre utilizzate vedono come protagonista principale il polietilene che, acquisendo una tradizione già presente nelle Isole Canarie ed in Catalogna, si sostituisce al vetro in modo da creare una copertura con pari potenzialità della precedente ma con maggiore versatilità e minori costi. La plastica trasparente intensifica il calore e mantiene l'umidità, questo permette la raccolta dei prodotti fino ad un mese prima rispetto al normale garantendo, inoltre, la possibilità di gestire una doppia coltivazione annuale con un ciclo autunno – inverno ed uno primavera – estate.

Ciò ha dato uno slancio economico alla Regione favorendone la rapida crescita del settore agroalimentare grazie al fatto che, in serra, essendo i tempi di coltivazione ridotti rispetto alla coltivazione all'aria, i prodotti almeriensi hanno un vantaggio sul mercato rispetto alla concorrenza. Al momento il Campo di Dalías conta la maggiore superficie di serre del mondo; negli ultimi decenni un "mare di plastica" parallelo al mare, si è esteso lungo l'occidente spagnolo, caratterizzato da una produzione ortofrutticola ad alto rendimento. Con il passare del tempo lo sviluppo tecnologico dell'orticoltura andalusa è stato spettacolare e quindi le Province adiacenti, accomunate al Campo di Dalías da caratteristiche climatiche simili sono state contagiate da questo slancio economico ed hanno contribuito all'espansione delle coltivazioni in serra per tutta l'Andalusia. Agli inizi, le coltivazioni tipiche della provincia di Almería erano quelle della terra arida mediterranea, come cereali, ulivi, vite o agrumi. Nella zona del Campo di Dalías anche orzo e fico d'India. Il grande prodotto di esportazione dal IXX secolo fino agli anni '60 è stato l'uva da tavola, conosciuta anche come Uva de Ohanes o Uva da Barca. Le produzioni agricole del Campo di Dalías hanno perciò una lunga tradizione ed è per questo che l'agricoltura rappresenta da anni il nucleo centrale dell'economia provinciale e regionale.

Il fulcro della produzione almeriense è, appunto, il Campo de Dalías, una pianura di circa 650 km² che si estende a sud-ovest della provincia di Almería; esso racchiude i comuni di Adra, Berja, Dalías, Enix, Felix, Roquetas de Mar, El Ejido, Vícar e La Mojonera. Esso conta una superficie di serre che al giorno d'oggi è pari a 20769 ettari, 60% dei quali sono presenti nel comune di El Ejido. In media il Campo di Dalías conta, garantisce una produzione di circa 5,4 milioni di tonnellate di prodotti agroalimentari l'anno (Cobos Lucena, Gordillo Manrique e Alfayate Iranzo 2003).

3.1.1 La ricerca di una politica idrica sostenibile in Spagna

La questione delle risorse idriche è stata a lungo interessata da molteplici conflitti sulla base di interessi che spesso si verificano tra le comunità autonome spagnole, i partiti politici e gli utenti dell'acqua hanno generato, oltre ad uno spreco di tempo, uno spreco di risorse economiche. L'UE ha imposto sanzioni per la violazione degli obblighi relativi alla gestione delle risorse idriche, dal momento che non sono stati raggiunti una serie di obiettivi entro i termini stabiliti dalla Direttiva Quadro Europea sulle Acque (DQA) (Vega 2017).

Fortunatamente ci sono anche risvolti positivi: bisogna sottolineare che, a volte, sono stati fatti grandi sforzi, sia tecnici che economici, da parte di tutti gli agenti coinvolti (Ricart Casadevall 2012), per cercare di garantire una buona gestione delle risorse idriche nonostante la complicata situazione climatica della maggior parte della Penisola e la complicata distribuzione spaziale dei bacini idrografici (Morote Seguido 2014).

Sebbene sia lo Stato che deve prendere ogni tipo di iniziativa in relazione all'acqua, per la sua natura di bene pubblico, non deve essere l'unico protagonista sulla strada del cambiamento e del miglioramento poiché deve essere accompagnato da tutti gli enti coinvolti come le forze politiche, i singoli utenti e i movimenti sociali, contribuendo insieme alla formulazione di piattaforme di accordo e gestione.

Tuttavia, per contestualizzare, va notato che l'Unione Europea è l'istituzione che guida il quadro giuridico per la pianificazione e la gestione integrale delle risorse idriche con la conseguente adozione da parte della legislazione nazionale della sopracitata DQA. C'è anche da indicare che l'amministrazione statale spagnola sta sviluppando un nuovo approccio nella gestione delle risorse idriche dettagliatamente descritto nel Piano Nazionale di adattamento al cambio climatico (PNACC). Quest'ultimo si basa su una prospettiva sostenibile ed efficace, creando nuovi metodi di rigenerazione e riutilizzo,

modernizzando i metodi di irrigazione e, soprattutto, incentrato sulla promozione della ricerca ed incorporazione di nuove tecnologie per garantire qualità e disponibilità delle risorse idriche, non solo per l'agricoltura, ma anche per uso urbano, senza trascurare gli altri settori dell'economia (EEA 2012).

La Spagna è costretta ad affrontare, più di altri Paesi europei, il problema della scarsità idrica, in particolare nelle aree mediterranee, soggette ad un grande irregolarità climatica durante i diversi periodi dell'anno. Per questo gioca un ruolo fondamentale una buona gestione dei bacini idrografici e delle infrastrutture legate all'acqua, in modo che sia possibile garantire un normale sfruttamento delle risorse idriche da parte della maggior parte, se non della totalità, della popolazione.

La grande sfida alla quale si affaccia la Spagna è quella di indirizzare le scelte future in materia idrica verso la sostenibilità, cioè verso una nuova cultura dell'acqua, introducendo il concetto di funzionalità come elemento chiave per il recupero, la gestione e la manutenzione delle risorse (Hernández-Mora s.d.). Certamente, negli ultimi anni sono stati fatti molti progressi nell'uso delle risorse idriche e nel miglioramento della qualità dell'acqua, grazie ai numerosi e ambiziosi programmi che sono emersi di anno in anno, il cui obiettivo comune è quello di recuperare e mantenere i bacini nelle condizioni migliori, per garantire tutte le possibilità d'uso dell'acqua facendone un uso intelligente per assicurarne uno sviluppo più equilibrato.

Pertanto, dopo la DQA, la gestione delle risorse idriche ha acquisito una complessità sorprendente poiché comporta profonde riforme dei diritti nazionali e, cosa più importante, obbliga a modificare le abitudini ormai radicate costringendo i cittadini ad assumere una nuova concezione culturale di questa risorsa vitale.

Gli obiettivi di pianificazione e gestione stabiliti dal Piano Idrologico Nazionale (PHN) si basano, in primo luogo, sull'ottimizzazione dell'uso

dell'acqua, sull'aumentarne la disponibilità e tutelarne la qualità soddisfacendo le richieste, equilibrando ed armonizzando lo sviluppo regionale e settoriale, tenendo conto del medio ambiente e delle altre risorse naturali.

La DQA ha come obiettivo la conservazione dell'ambiente, una gestione efficiente e la partecipazione pubblica al processo decisionale senza dimenticare ciò che è noto come coscienza ecologica o ambientale, nella quale si dovrebbe sensibilizzare l'opinione pubblica sull'uso efficiente delle risorse idriche, in particolare nei periodi di siccità, e dovrebbe fare la stessa cosa per quanto riguarda la salvaguardia della qualità della risorsa dopo l'utilizzo (UE 2000). Data la situazione della penisola e la consapevolezza che l'acqua è una risorsa vulnerabile, è essenziale, per portare ordine e frenare l'illegalità dello sfruttamento, introdurre piani di gestione delle falde acquifere, specialmente per quelle eccessivamente sfruttate per evitare di compromettere definitivamente una risorsa che appartiene a tutti per soddisfare gli interessi del singolo.

Per quanto riguarda l'irrigazione, è stato dimostrato che se i prezzi di mercato riflettono i costi reali, gli agricoltori adottano misure appropriate per ridurre il consumo di acqua, incoraggiando il risparmio (UE 2000). È per questo che è necessario che i governi presentino dei piani di gestione e risparmio delle risorse agli agricoltori per garantire una convivenza di tutte le parti in modo che, attraverso l'informazione, la consulenza e formazione si trovi la soluzione più conveniente a livello ambientale, economico e sociale.

3.2 L'agricoltura intensiva in serra

L'agricoltura in serra almeriense è avvantaggiata a livello energetico rispetto alle concorrenti europee grazie al clima favorevole, infatti, il consumo energetico è molto più basso rispetto ad altre aree di coltivazione. Ad esempio, è 22 volte inferiore a quello delle serre olandesi (López, et al. 2005).



Figura 3.1: La distesa di serre del Campo di Dalías. (Lang 2015)

Da un punto di vista ambientale, le serre hanno effetti positivi che non sono sufficientemente valutati; secondo Campra et al. (2008) il recente sviluppo dell'orticoltura intensiva nell'area sta riducendo l'aumento locale della temperatura grazie al fenomeno di riflessione dato dalle migliaia di ettari di tutte le serre. Situazione che va controcorrente rispetto all'aumento globale dei gas serra. Inoltre vale la pena evidenziare l'effetto positivo che hanno le serre dato che la grande densità di piante presenti aiuta l'abbassamento dei livelli di CO₂ (Sancho 2015). In Almería è come se ci fosse una enorme foresta che però è invisibile perché è coperta dalle serre.

Un rapporto pubblicato dalla Conferenza delle Nazioni Unite per il Commercio e lo Sviluppo propone di seguire le linee guida dell'agricoltura almeriense perché considerata il modo migliore per nutrire il mondo (Perez del Castillo 2013).

Per le Nazioni Unite è importante trovare modelli che consentano un'importante produttività con il minimo utilizzo possibile delle risorse naturali e senza danneggiare l'ambiente, senza peggiorare la situazione attuale

dovuta ai cambiamenti climatici e utilizzando una minore quantità di prodotti chimici.

Il rapporto delle Nazioni Unite è specificamente dedicato allo sviluppo di una trasformazione verso un'agricoltura più sostenibile come base per nutrire i quasi sette miliardi di persone che popoleranno il mondo entro un paio di decenni (Perez del Castillo 2013).

L'agricoltura in Almería è considerata il modello con la massima efficienza nella gestione delle risorse idriche, il risparmio energetico che apporta il sole nelle serre, la battaglia contro i cambiamenti climatici e il livello di efficienza a livello sia economico che sociale ed ambientale. Infatti, durante il loro ciclo produttivo, le coltivazioni beneficiano di un microclima creato all'interno della serra, che non solo ha il vantaggio di poter coltivare alcuni prodotti al di fuori del loro normale ciclo ma aumenta anche la produzione rispetto alle coltivazioni all'aperto, dato che si ha un maggiore controllo sulle condizioni climatiche interne e quindi sullo sviluppo delle coltivazioni.

3.2.1 I diversi tipi di serra

Esistono varie tipologie di serre ma in Almería la struttura più utilizzata è il modello *Parral*, anche conosciuta come tipo Almería che, come si vedrà in seguito, si suddivide in due sottotipi. In termini generali questa struttura è composta da uno scheletro metallico portante che può dare origine ad una o più campate. Le altezze di colmo di ogni struttura dipendono a seconda delle necessità però, generalmente, oscillano tra i 4,5 e 5,5 metri; l'altezza nelle parti laterali varia tra i 2,5 e 3,5 metri. Un sistema di cavi e tiranti combinato con un efficace assemblaggio di plastica garantisce che ogni serra abbia un'elevata resistenza strutturale sia ai carichi orizzontali che verticali, essendo una buona opzione nelle zone caratterizzate da climi umidi e che presentano forti raffiche di vento.

Le serre tipo Almería si possono a loro volta differenziare per il loro metodo di copertura; si differenziano tre tipi principali: *Parral - Plano*, *Multitunnel* e *Parral - Raspa y Amagado*.



Figura 3.2: Serra multitunnel con sistema rainwater harvesting a sinistra e serra parral-plano a destra (Almería Hoy 2017)

Parral - Plano

La struttura di una serra tipo *parral - plano* si basa essenzialmente su due componenti strutturali: uno verticale ed uno orizzontale. La struttura verticale è formata da molti supporti sia perimetrali che interni di elevata rigidità mentre la struttura orizzontale è costituita da due reti di filo metallico con filo zincato poste l'una sopra l'altra che vengono impiantate manualmente, in modo simultaneo, alla costruzione della serra e la cui funzione è quella di trasportare e fissare la copertura di plastica. Le serre di tipo *parral - plano* sono caratterizzate da un'altezza media compresa tra 2,15 metri e 3,5 metri.

I principali vantaggi di questo tipo di serra sono:

- economicità della struttura
- buona resistenza ai venti
- buona illuminazione interna

Contrariamente però le serre *parral - plano* non possiedono un grande volume interno d'aria e la ventilazione non è molto efficace; inoltre, queste serre non sono molto durature.

La copertura di plastica superiore è bucata sia per favorire l'ingresso della pioggia sia per evitare che si accumulino un eccessivo quantitativo d'acqua che può causare il collasso della struttura. Il lavoro all'interno della struttura è complicato a causa della grande quantità di pali presenti e dalla relativamente bassa altezza della struttura. Per questi motivi le serre di tipo *parral-plano* fanno parte, in Almería, della vecchia generazione di serre che verranno sostituite con il tempo.

Multitunnel

La serra di tipo *multitunnel* è caratterizzata da una copertura di forma semicilindrica che garantisce un volume molto grande al suo interno. La sua costruzione è basata su due elementi: archi pre-rivestiti in ferro e polietilene teso. L'altezza di colmo varia tra i 5,25 m e i 6,9 m. Ogni tunnel può avere larghezza variabile tra i 5,40 m e i 9 m.

I principali vantaggi della serra multitunnel sono:

- alta resistenza ai forti venti
- un grande indice di ventilazione
- facilità di costruzione
- leggerezza della struttura

- uniformità dell'illuminazione
- grande volume d'aria all'interno

Il principale svantaggio della serra multitunnel è una bassa inerzia termica il che non permette una ottimale gestione dei cambiamenti interni di temperatura.

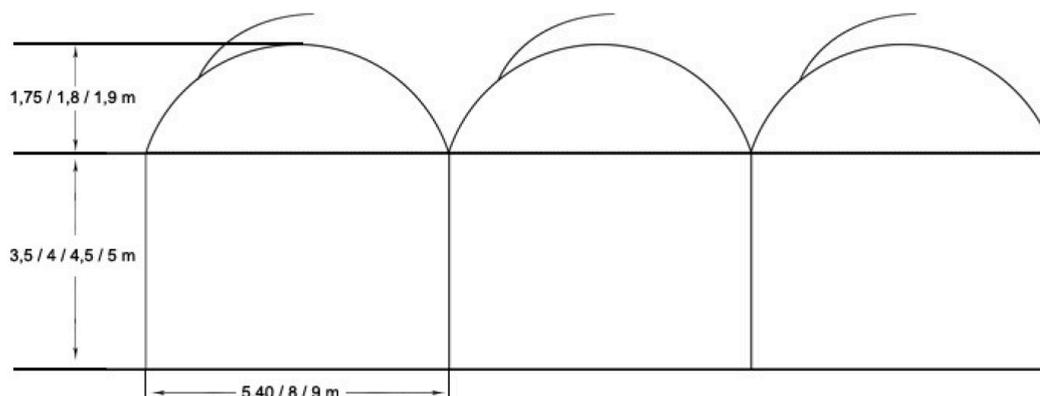


Figura 3.3: Schema di una serra multitunnel (Invernaderos Ferrer s.d.)

Parral - Raspa y amagado

Questo tipo di serra è il più moderno presente nella Provincia di Almería; è caratterizzato dalla flessibilità di gran parte dei suoi elementi strutturali e dall'essere formato da moduli a due alloggiamenti collegati l'uno con l'altro. La copertura del tetto è formata da fogli di plastica flessibili situati tra due reti metalliche che si estendono fino ai bordi laterali della struttura. L'angolo della copertura oscilla solitamente tra i 6° e i 20°. Più alto è l'angolo, migliore è l'incidenza della radiazione solare, ma richiede un maggiore sforzo strutturale a causa dell'azione del vento. Con l'introduzione delle serre del tipo *raspa y amagado* è aumentata l'altezza massima di colmo della struttura rispetto alle serre piane raggiungendo altezze fino a 6 metri. Attualmente questo tipo di serre è il più usato data la versatilità nell'adattamento alle condizioni climatiche almeriensi ed ai vari tipi di coltivazione.

I suoi vantaggi sono:

- maggiore adattabilità alla topografia del terreno
- maggiore resistenza al vento
- maggiore uniformità luminosa, che favorisce un migliore sviluppo del raccolto
- controllo delle condizioni climatiche di umidità e temperatura
- capacità di evacuazione dell'acqua piovana attraverso i canali di evacuazione che consentono il loro ricircolo ed uso

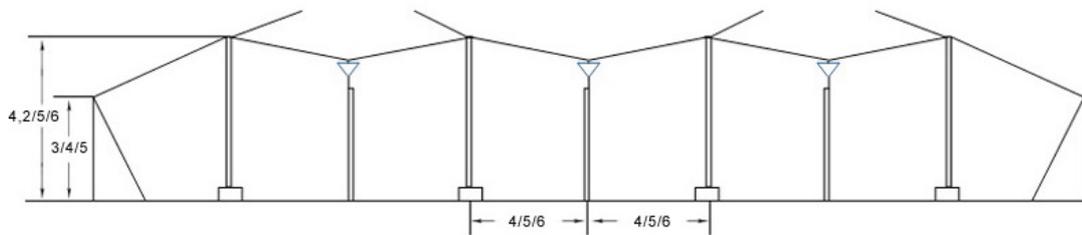


Figura 3.4: Schema di una serra raspa y amagado (Ferrer s.d.)

3.2.2 Le coltivazioni

Con il passare degli anni le principali coltivazioni sono cambiate, soprattutto per cercare di soddisfare le esigenze di mercato. In seguito è riportato un sondaggio riguardante la campagna agricola 2013/14 promosso dall' Agenzia di gestione agraria e di pesca dell'Andalusia.

Il sondaggio è stato realizzato tra aprile e dicembre 2014 su tutta la Regione Andalusia, per quanto riguarda il Campo di Dalías sono stati raccolti 374 questionari ai quali è associata una superficie di 799 ettari, pari a circa il 4% della superficie di serre totale della zona interessata.

Successivamente vengono forniti i risultati del sondaggio:

| Posizione | Alternativa | % |
|------------------|-----------------------|----------|
| 1 | Peperoni ciclo lungo | 35,8 |
| 2 | Meloni e Peperoni | 11 |
| 3 | Melanzane ciclo lungo | 8,1 |
| 4 | Peperoni e Angurie | 7 |
| 5 | Pomodori ciclo lungo | 6,2 |
| 6 | Zucchini e Zucchini | 4 |
| 7 | Cetrioli ciclo lungo | 4 |
| 8 | Cetrioli e Meloni | 3,2 |
| 9 | Altri | 20,7 |

Tabella 3.1: Produzione per ogni ciclo di coltivazione nel Campo di Dalías (Cobos Lucena, Gordillo Manrique e Alfayate Iranzo 2003)

Le coltivazioni principali sono peperoni, melanzane zucchini e cetrioli. Nella campagna primaverile si aggiungono le coltivazioni di anguria e melone.

Nel territorio del Campo di Dalías il peperone viene coltivato prevalentemente a ciclo lungo (35,8% delle serre nel campione) e quando si coltiva a ciclo breve in autunno, in primavera si coltiva il melone (11%) e in misura minore le angurie (7%), che sono le alternative predominanti.

Il tipo di peperone più coltivato a scopo commerciale è il California, varietà destinata principalmente all'esportazione; viene seguita da altre varietà come il peperone italiano e il Lamuyo. Negli ultimi anni la tendenza è stata la mono coltivazione a ciclo lungo, in parte, dovuta alla variabilità dei prezzi delle coltivazioni primaverili di anguria e melone. Per quanto riguarda il cetriolo, la modalità di coltivazione più frequente è un singolo raccolto a ciclo lungo, presente nel 4% delle serre del campione o, come alternativa ai cetrioli nel ciclo autunnale, i meloni (3,2%) nel ciclo primaverile.

Per gli zucchini, il caso più frequente è un doppio ciclo (4%), uno autunnale ed uno primaverile. Raramente, nel caso di piantagioni extra-precoci, si possono trovare tre cicli di zucchine. Lo zucchini è un prodotto che può entrare come alternativa con praticamente qualsiasi coltivazione grazie al suo adattamento per quanto riguarda le date di semina e trapianto. La melanzana viene coltivata prevalentemente a ciclo lungo (8,1%); per quanto riguarda il pomodoro, la coltivazione predominante è il singolo ciclo lungo, essendo presente in più del 6% delle serre campione. Questo prodotto si concentra soprattutto in due comuni della regione del Campo di Dalías: Vúcar e Roquetas de Mar.



Figura 3.5: Entrata serra multitunnel. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)



Figura 3.6: Irrigazione a goccia coltivazione di pomodori. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M 2018.) (Elaborazione propria)



Figura 3.7: Coltivazione di zucchini. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)

3.3 Disponibilità ed uso delle risorse idriche locali

Nonostante l'uso estremamente razionato e controllato dell'acqua i fabbisogni idrici del territorio sono enormi e, al giorno d'oggi, la domanda idrica del Campo di Dalías è quantificabile con 140 hm³ annui (AcuaMed, Informe de viabilidad de la actuación 1.1a Desalacion y obras complementarias para el Campo de Dalias (Almeria) 2006) e l'agricoltura gioca un ruolo assolutamente predominante giacché si impone con il 77% del consumo totale a confronto del 17% per uso urbano (IESA 2008).

La regione, nonostante il clima principalmente arido, ha vissuto uno spettacolare sviluppo socioeconomico grazie allo sfruttamento degli acquiferi sotterranei; tuttavia, l'uso che è stato fatto delle falde acquifere ha innescato una serie di processi negativi che compromettono seriamente l'offerta idrica nel futuro. È fondamentale riflettere sulle ripercussioni che il modello di gestione sta causando e sulle conseguenze che potrebbero causare l'esaurimento e la totale compromissione delle falde acquifere. La soluzione deve perseguire una gestione sostenibile degli acquiferi; ciò significa bilanciare le richieste con le risorse disponibili facendo un uso compatibile in modo che il loro funzionamento non venga alterato e non si verificano fenomeni indesiderati di sovra sfruttamento, salinizzazione, inquinamento e allagamento. L'obiettivo è risolvere i processi negativi che stanno interessando le falde acquifere della Sierra de Gádor - Campo de Dalías e orientarli verso una gestione migliore. Fino al 2010, circa l'80% dell'acqua utilizzata proveniva dalle falde sotterranee, al giorno d'oggi sono state adottate alcune soluzioni alternative per cercare di contenere il deficit idrico (Cerrillo López, Jorroto Zaguirre e López Rodríguez 2009). Le seguenti sezioni vuole dare una panoramica generale sui principali apporti idrici della Provincia.

3.3.1 Acquiferi della Sierra di Gádor - Campo di Dalías

Il Sud della Sierra de Gádor - Campo de Dalías è costituito da un insieme costiero di acquiferi sotterranei che, generalmente, contiene un dominio molto fratturato di materiali permeabili intercettati da zone impermeabili che generano vari acquiferi (Gonzalez Asensio e Dominguez Prats 1989). Quando iniziò lo sfruttamento delle falde acquifere, l'estrazione avveniva da falde superficiali tramite pozzi poco profondi. L'equilibrio tra le risorse disponibili e quelle utilizzate garantisce uno sfruttamento sostenibile dato che nelle falde acquifere che sono in contatto con il mare non si riscontra un aumento della salinità essendoci un equilibrio tra acqua dolce ed acqua salata. La domanda idrica aumenta e, come diretta conseguenza, aumenta il numero di pozzi. Gli acquiferi superiori cominciano ad essere sovrasfruttati in alcune aree e, parallelamente, la qualità dell'acqua peggiora per diversi motivi come:

- eccessiva intrusione marina nelle falde acquifere che sono in contatto con il mare
- ritorno in falda dell'acqua utilizzata che presenta una percentuale di contaminanti (prodotti agrochimici) e di sali presenti naturalmente nel suolo.

La diminuzione della qualità dell'acqua dei pozzi fa sì che essa non abbia più i requisiti necessari per l'irrigazione perciò le estrazioni diminuiscono favorendo il recupero dei livelli originali degli acquiferi (Cerrillo López, Jorroto Zaguire e López Rodríguez 2009). Il processo di filtrazione del terreno che raccoglie le acque dovute principalmente all'irrigazione contribuisce al recupero dei livelli piezometrici ma, essendo le acque utilizzate ricche di prodotti agrochimici come fertilizzanti, accelera anche il deterioramento della qualità dell'acqua. Il continuo aumento della domanda idrica rende necessario lo scavo di pozzi sempre più profondi che raggiungono le falde acquifere inferiori. L'incessante sfruttamento causa forti

flessioni nei livelli idrici delle falde acquifere inferiori fino al punto di scatenare il fenomeno dell'intrusione marina in alcune aree. Negli acquiferi superiori continua l'aumento dei livelli ed il deterioramento della qualità dell'acqua. Le falde acquifere superiori sono entrate parzialmente in contatto con quelle inferiori sia per un'eccessiva flessione dei livelli piezometrici sia ad alcune parziali inaccurately nella cementificazione delle perforazioni più profonde; il che significa che ora l'acqua contaminata degli acquiferi superiori comincia a muoversi verso gli inferiori, alterandone la qualità. In vaste aree, gli acquiferi superiori hanno acqua di qualità non più adatta per gli usi più comuni. Questa situazione è conseguenza di diversi processi di salinità naturale, intrusione marina, in alcune zone, e ritorno dell'acqua sia di irrigazione che di uso urbano (Thompson, et al. 2007). La cessazione del pompaggio nella maggior parte di queste falde acquifere ha permesso il recupero progressivo dei livelli piezometrici, in alcuni casi, superiori a quelli originali, causando allagamenti in aree più depresse, come nel caso della palude di Cañada de Las Norias. Questo fenomeno è dovuto al fatto che le principali fonti di approvvigionamento idrico, con la cessazione dell'estrazione dalle falde superiori, sono diventate gli acquiferi inferiori e gli impianti di dissalazione. Di conseguenza l'acqua che non viene assorbita dalle coltivazioni si riversa nel terreno raggiungendo gli acquiferi superiori che si ritrovano sovraccaricati da apporti esterni.

Gli acquiferi inferiori, con acqua originariamente di buona qualità, supportano più dell'80% delle pompe e subiscono continue discese di livello ed il progressivo deterioramento della qualità dell'acqua estratta dovuto a processi di intrusione marina ed inquinamento proveniente dalle falde acquifere superiori. Sebbene sia complicato stimare esattamente le risorse idriche disponibili nel complesso del Sud della Sierra di Gádor - Campo di Dalías i dati sottolineano che, per garantire uno sfruttamento sostenibile degli acquiferi, il pompaggio idrico dell'insieme delle risorse presenti sia nelle falde

superiori che in quelle inferiori non deve superare i 67 hm³ all'anno (Cerrillo López, Jorreto Zaguirre e López Rodríguez 2009).

3.3.2 Risorse idriche secondarie

Acque superficiali del bacino di Benínar



Figura 3.8: Bacino di Benínar (Ufficio Municipale del Turismo di Berja s.d.)

Il bacino di Benínar è il secondo bacino più grande della Provincia almeriense, esso è alimentato principalmente dalle acque che discendono dalla Sierra Nevada. Il suo nome è dovuto al fatto che è stato costruito sulla città di Benínar, che tutt'ora si trova sotto le sue acque. La sua costruzione è stata completata nel 1983 ed attualmente possiede una capacità di 63 hm³ l'anno, 45 dei quali provengono dal fiume Adra che è il maggior immissario. La sua riserva idrica è usata per la maggior parte per scopo urbano, solamente una media di 3 hm³ l'anno sono usati per scopo agricolo (Dominguez-Prats 2016).

Acqua desalinizzata dall'impianto del Campo di Dalías

L'impianto di dissalazione dal quale proviene l'acqua per uso agricolo è la pianta del Campo di Dalías, situata a Balanegra, nel comune di El Ejido. L'impresa spagnola AcuaMed si è incaricata della costruzione e si occupa della gestione e distribuzione dell'impianto di dissalazione di acqua marina; esso è uno dei più grandi impianti di desalinizzazione in Europa, che ha avuto bisogno di un investimento totale di 130 milioni di euro. L'impianto, con una capacità produttiva di 97.200 m³ al giorno 310 giorni all'anno, fornisce acqua potabile a 300.000 abitanti e acqua per l'irrigazione a 8.000 ettari nei comuni di Vícar, El Ejido e Roquetas de Mar, oltre al Consiglio centrale degli utenti del Poniente Almeriense (FuturENVIRO 2015).



Figura 3.9: Impianto di dissalazione del Campo di Dalías (Interempresas 2015)

La massima capacità di distribuzione annua è di 30 hm³ l'anno dei quali 18 circa sono disponibili per uso agricolo. L'acqua marina utilizzata viene raccolta direttamente dal mare e successivamente trattata con il processo di osmosi inversa per garantire una composizione chimica accettabile sia per uso agricolo che urbano.

| Parametro | Valore |
|-----------------------|---------------|
| Solidi tot. disciolti | < 400 mg/L |
| Solfati | < 200 mg/L |
| Cloruri | < 250 mg/L |
| Sodio | < 200 mg/L |
| Boro | < 0,5 mg/L |

Tabella 3.2: Parametri principali acqua dell'impianto di dissalazione (AcuaMed, s.d.)

È attualmente in atto un progetto di miglioramento di efficienza che prevede un aumento della capacità di produzione diaria netta per raggiungere i 129600 m³ al giorno e garantire una fornitura di 40 hm³ l'anno (AcuaMed, Informe de viabilidad de la actuación 1.1a Desalacion y obras complementarias para el Campo de Dalías (Almería) 2006).

Acqua desalinizzata dall'impianto della Balsa del Sapo

La Balsa del Sapo è un insieme di due lagune che occupa un'area di 130 ettari e raggiunge, in alcune zone, una profondità di oltre 12 metri. Quello che oggi è un bacino si trova tra i 24 e 27 m sopra il livello del mare inizialmente era considerato come uno dei terreni più fertili di tutta l'Almería (La Calle Marcos e Martínez Rodríguez 2013). La fertilità della terra ha fatto sì che il terreno venisse utilizzato come terriccio per le coltivazioni in serra non solo a El Ejido ma anche in altre zone del Poniente. Alla fine degli anni '80 la vicinanza delle zone di scavo con la falda acquifera superiore fece sì che l'acqua cominciasse ad affiorare nell'intera area. Con il tempo il grande scavo della Cañada de las Norias divenne una splendida riserva, unica in Almería, che accoglie varie specie sia animali che vegetali e contribuisce in maniera sostanziale al clima della zona che, al giorno d'oggi, è conosciuta popolarmente come la Balsa del Sapo.

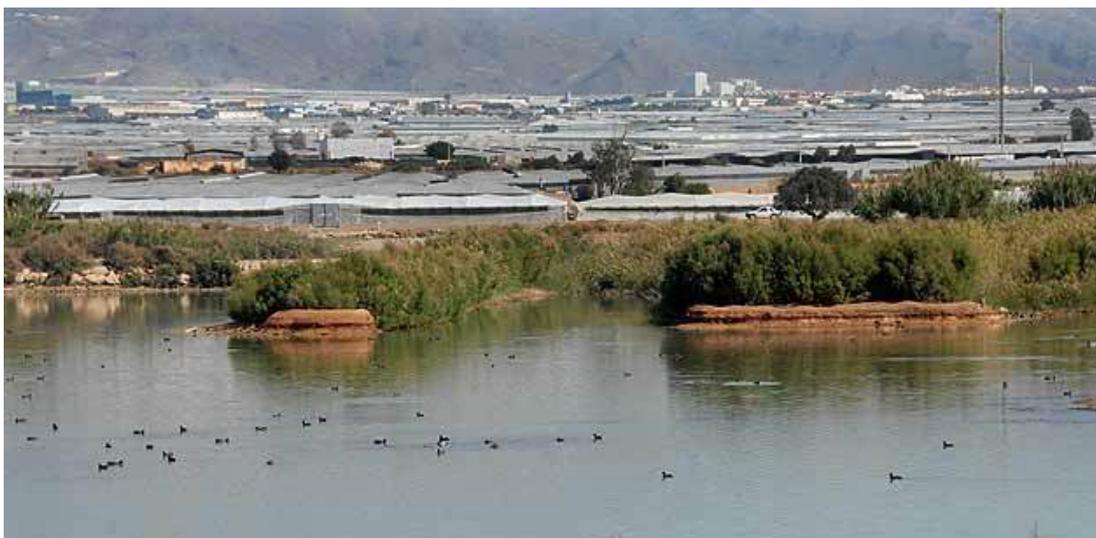


Figura 3.10: Balsa del Sapo (ASAJA Almería 2016)

Attualmente i livelli idrici del bacino sono molto instabili e durante gli inusuali eventi atmosferici estremi il bacino è solito straripare causando danni alle serre circostanti. Per far fronte a ciò sono in atto vari progetti, tra questi è già stato realizzato un impianto di desalinizzazione (giacché l'acqua presente nell'invaso è salmastra) che garantisca sia un controllo del pompaggio idrico per mantenere costanti i livelli idrici del bacino sia un apporto idrico all'agricoltura; attualmente questo apporto può essere quantificato con circa 2 hm^3 all'anno (AcuaMed 2016).

Acqua rigenerata ed altri acquiferi

Sono inoltre presenti tre impianti di riutilizzo delle acque nelle città di Adra, El Ejido, e Roquetas del Mar che contribuiscono con circa 1 hm^3 l'anno ad uso esclusivamente urbano. Ulteriori acquiferi di minore importanza contribuiscono all'agricoltura con 5 hm^3 l'anno (Cerrillo López, Jorrete Zaguirre e López Rodríguez 2009).

4 Rainwater harvesting: criteri di progetto

Negli ultimi anni sono stati investiti centinaia di milioni di euro per risolvere il problema idrico nella provincia di Almería, gli sforzi per la riduzione del deficit idrico hanno dato parziali risultati ma non si è ancora raggiunta una gestione sostenibile degli acquiferi. L'obiettivo di questo lavoro è quello di fornire un'ulteriore soluzione per mitigare il problema di scarsità idrica e dare alcune possibili applicazioni sia a livello agricolo che ambientale per giustificare l'investimento.

La soluzione proposta è conosciuta come rainwater harvesting; nei paragrafi successivi si illustrerà come questa soluzione possa costituire una parte assolutamente rilevante del fabbisogno idrico agricolo annuale e non richieda né l'uso di energia né un grande investimento finanziario comparato a quelli attualmente sostenuti.

4.1 Le caratteristiche principali

Il rainwater harvesting è un sistema con il quale si può raccogliere l'acqua dovuta ad una precipitazione atmosferica ed accumularla per un uso successivo. Il sistema di raccolta è costituito dal tetto della serra, il quale deve avere sia la superficie che la pendenza adeguate per facilitare lo scorrimento dell'acqua della pioggia fino al sistema di raccolta costituito da un deposito di stoccaggio.

Gli elementi di raccolta e conduzione sono una parte essenziale giacché condurranno per gravità l'acqua raccolta dal tetto direttamente al deposito di stoccaggio idrico. Il sistema di pompaggio si incaricherà successivamente della circolazione dell'acqua a seconda dell'utilizzo.

Un sistema di RWH comprende tre elementi fondamentali: un'area di raccolta, un sistema di trasporto e strutture di stoccaggio. Il trasporto

consiste in grondaie o tubi che conducono l'acqua piovana che cade sul tetto verso i bacini. I tubi di scarico, le superfici del tetto ed i bacini dovrebbero essere costruiti con materiali chimicamente inerti al fine di evitare effetti negativi sulla qualità dell'acqua. I sistemi di raccolta dell'acqua piovana sono facili da installare e richiedono poca manutenzione durante il loro funzionamento. Le principali preoccupazioni derivanti dai sistemi di RWH sono dovute al fatto che se l'acqua raccolta venisse utilizzata per scopo potabile sarebbe necessario procedere con particolari trattamenti per evitare la proliferazione ed il trasporto di batteri; questo problema non si pone nel caso di un utilizzo per scopo puramente agricolo.

L'acqua piovana che viene raccolta nei depositi di stoccaggio si unisce con acqua proveniente da altre fonti, se presente, ed entra nel ciclo di irrigazione con un'opportuna aggiunta di fertilizzanti. Il regolare flusso di irrigazione, principalmente a goccia, è garantito da un sistema di pompaggio.



Figura 4.1: Sistema di RWH installato su serra multitunnel. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)



Figura 4.2: Struttura RWH vista dall'interno di una serra tipo raspa y amagado. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)



Figura 4.3: Particolare strutturale del RWH in serra multitunnel. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)



Figura 4.4: Incontro con il Sig. Aitor, incaricato della gestione della Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)



Figura 4.5: Incontro con il Sig. Aitor. Coltivazione di pomodori in serra multitunnel. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)



Figura 4.6: Discesa acqua piovana presso apposito deposito di raccolta idrica. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018) (Elaborazione propria)



Figura 4.7: Deposito di raccolta idrica a cielo aperto. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018)
(Elaborazione propria)



Figura 4.8: Sistema di pompaggio idrico per irrigazione. Proprietà Escobar Reyes, Las Norias de Daza. (Catalán Mulero, M. 2018)
(Elaborazione propria)

4.2 La quantità d'acqua disponibile

La quantità d'acqua che può essere raccolta è, ovviamente, strettamente legata alla pluviometria della zona perciò, in primis, sono stati ricavati i dati pluviometrici annuali medi dell'Almería e sono stati applicati al territorio del Campo di Dalías, supponendo che la precipitazione sia costante su tutta la zona. La pluviometria, tipica delle regioni semi aride, presenta una notevole scarsità nei mesi estivi per risollevarsi leggermente nella restante parte dell'anno. I dati mensili sono riportati nella seguente tabella:

| | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| [mm] | 30 | 22 | 22 | 2 | 18 | 9 | 1 | 2 | 13 | 31 | 27 | 29 |

Tabella 4.1: Precipitazione media dell'Almería (AM Online Projects 2018)

Dai dati utilizzati si ricava facilmente che la precipitazione media annua è pari a $228 \text{ mm} = 228 \text{ L/m}^2$.

Esistono vari metodi per il calcolo approssimato della quantità di acqua che potrà essere effettivamente raccolta per essere successivamente riutilizzata. In questo caso, dato che il calcolo è basato su un periodo annuale, le superfici di raccolta presentano una grande varietà di forma ed inclinazione e l'obiettivo è fornire una stima approssimativa della potenzialità del sistema, l'analisi non sarà effettuata per ogni singola struttura ma si considererà solamente un coefficiente generale di perdita nell'acqua raccolta rispetto alla pioggia effettiva. Questo coefficiente detto di *run-off* comprende le perdite dovute a spruzzi, evaporazione, trabocco e si assume pari a 0,8 (Pacey, et al. 1986).

Di conseguenza l'acqua raccolta sarà facilmente calcolabile come:

$$Q = \text{Rainfall} \cdot C_{\text{run-off}}$$

con Q = quantità di acqua raccolta espressa in L/m^2 .

La Tabella precedente diventa così:

| | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|------|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| [mm] | 24 | 17,6 | 17,6 | 1,6 | 14,4 | 7,2 | 0,8 | 1,6 | 10,4 | 24,8 | 21,6 | 23,2 |

Tabella 4.2: Potenziale acqua raccolta (Elaborazione propria)

Sommando i vari contributi mensili ricavo una quantità di acqua disponibile pari a 182,4 L/m² che rappresenta il valore teorico di acqua raccoglibile con il sistema di RWH.

Come visto in precedenza, non tutte le serre possiedono una forma adeguata per raccogliere l'acqua piovana, infatti, nel Campo di Dalías, il 28,4% delle serre è di tipo parral-plano e perciò presenta un tetto con una pendenza inadeguata, non utilizzabile per una raccolta idrica ottimale.

Il sistema, se fosse installato su tutte le serre del Campo di Dalías, avrebbe la potenzialità di raccogliere una quantità annuale d'acqua pari a:

$$Q_{potenziale} = Q \cdot A_{serre}$$

$$Q_{potenziale} = 0,182 \cdot 2,08 \cdot 10^8 = 3,79 \cdot 10^{10} \frac{m^3}{anno} = 37,9 \frac{hm^3}{anno}$$

Al giorno d'oggi, solamente il 10,2% possiede un sistema di RWH perciò il RWH è di:

$$Q_{attuale} = Q \cdot A_{serre} \cdot 0,102$$

$$Q_{attuale} = 0,182 \cdot 2,08 \cdot 10^8 \cdot 0,102 = 3,87 \cdot 10^9 \frac{m^3}{anno} = 3,87 \frac{hm^3}{anno}$$

Si tratta di valori molto interessanti perché i calcoli sottolineano che la potenzialità del sistema di RWH, installato su tutto il Campo di Dalías, può fornire una quantità d'acqua superiore a quella disponibile con le tradizionali fonti di approvvigionamento, escludendo l'estrazione dalle falde.

4.2.1 I depositi di raccolta idrica

La quantità d'acqua che viene raccolta è totalmente dipendente dalle precipitazioni e non può garantire una regolarità della fornitura come una tradizionale rete idrica. Inoltre, la quantità che è possibile stoccare è limitata sia dalla dimensione del deposito sia dal fatto che se non viene utilizzata in un breve tempo può deteriorare le sue qualità a causa dei problemi ai quali incorre l'acqua stagnante, senza dimenticare l'elevato tasso d'evaporazione al quale tutta la zona è soggetto. Lo stoccaggio dell'acqua è quindi un passo fondamentale per il suo futuro riutilizzo.

Per stimare il volume raccolto si usa la seguente relazione:

$$V = A_{dep. di raccolta} \cdot Rainfall \cdot C_{run-off}$$

In questo modo si ricava il volume massimo cumulabile in un anno. La formula sopraindicata è principalmente usata per lo stoccaggio d'acqua per uso potabile che non necessariamente ne richiede un uso quotidiano dato che il RWH non viene usato mai come unica risorsa. Nel caso agricolo l'acqua viene utilizzata periodicamente e, di conseguenza, i volumi richiesti di stoccaggio sono nettamente inferiori. Non è possibile definire univocamente un volume di stoccaggio minimo anche perché gran parte delle aziende possiede già una riserva d'acqua ausiliaria. L'acqua contenuta non è solamente piovana ma proviene anche dalla rete idrica, essa viene stoccata temporaneamente in modo da poter regolare al meglio il flusso di irrigazione necessario alle coltivazioni oltre che avere una quantità d'acqua sempre disponibile in caso di mancanza temporanea di fornitura dalla rete o in periodi di particolare stress idrico. In letteratura si può ricavare che nel territorio del Campo di Dalías l'81,1% delle imprese possiede un deposito di raccolta di capacità media di 738,7 m³ (Cobos Lucena, Gordillo Manrique e Alfayate Iranzo 2003) poiché, come si è visto pocanzi, lo stoccaggio delle risorse idriche è un passo fondamentale per garantire una corretta irrigazione anche se non fosse presente il sistema di RWH. Perciò, nel proseguire della

ricerca, data la grande quantità di depositi già in funzione nel Campo Di Dalías, essi si considereranno come una struttura ausiliaria al sistema di RWH e non influiranno sui costi di installazione e manutenzione del sistema.

4.2.2 Il tasso di evaporazione

Il problema principale che incide notevolmente sulla quantità d'acqua che è possibile stoccare è l'elevato tasso di evaporazione al quale l'Almeria è soggetta. Infatti, il tasso medio di evaporazione mensile E_m si può calcolare tramite la formula di Visentini:

$$E_m = 2,25 \cdot T_m^{1,5}$$

dove T_m rappresenta la temperatura media mensile.

In questo modo, conoscendo i dati climatici si possono ricavare i tassi di evaporazione medi per ogni periodo dell'anno:

| Mese | T_m [°C] | E_m [mm] |
|-----------|------------|------------|
| Gennaio | 11,8 | 91 |
| Febbraio | 12,2 | 96 |
| Marzo | 14,1 | 119 |
| Aprile | 15,8 | 141 |
| Maggio | 18,5 | 179 |
| Giugno | 21,8 | 229 |
| Luglio | 24,8 | 278 |
| Agosto | 25,3 | 286 |
| Settembre | 23,3 | 253 |
| Ottobre | 19,3 | 191 |
| Novembre | 15,4 | 136 |
| Dicembre | 12,7 | 102 |

Tabella 4.3: Tassi di evaporazione medi mensili (Elaborazione propria)

Come si può notare dai risultati, i valori sono molto elevati rispetto alla pluviometria della zona perciò è sconsigliabile stoccare l'acqua per lunghi periodi perché, molto probabilmente, si riscontrerà un'evaporazione completa. Uno studio nel Campo di Dalías di Bengoechea et al. (1991) ha riscontrato che circa il 17% dell'acqua stoccata annualmente viene persa per evaporazione. Ciò è dovuto al fatto che l'acqua viene usata periodicamente e non sempre è presente nei depositi. Un'ulteriore studio più recente di Martinez Alvarez et al. (2006) ha misurato l'effetto delle coperture in polietilene nero sul tasso di evaporazione applicato alle riserve idriche per uso agricolo nella città di Cartagena. I dati delle due ricerche sono stati confrontati perché il Campo di Dalías e Cartagena sono entrambi in zona costiera, si trovano pressoché alla stessa latitudine e distano circa 200 km. Martinez Alvarez et al. (2006) hanno osservato che il tasso di evaporazione può essere ridotto dal 75% all'83% a seconda che venga usata una singola o doppia copertura di polietilene ed inoltre dal 14 al 21% dell'acqua evaporata può essere raccolta dalla coperta per condensazione.

Non avendo dati relativi alla percentuale di depositi della zona che possiedono una copertura in polietilene nero (singola o doppia), in questo lavoro di tesi si supporrà che l'acqua persa per evaporazione sia contenuta nel coefficiente di run-off citato nel paragrafo precedente e, per limitare i possibili errori dovuti ad un'erronea valutazione, si studierà l'applicazione dell'acqua raccolta con il sistema di RWH in modo che sia regolare e permanga il minor tempo possibile nei depositi di stoccaggio. Questa assunzione dovrebbe rispecchiare l'effettiva funzionalità del sistema dato che le serre del Campo di Dalías presentano una grande efficienza tecnologica del sistema di irrigazione che avviene con il sistema di irrigazione a goccia, sistema che garantisce un elevato controllo sulla quantità d'acqua utilizzata. Nel caso l'acqua raccolta sia in eccesso rispetto al fabbisogno o non siano presenti coltivazioni in un determinato periodo dell'anno delle coltivazioni,

si propone il favoreggiamento all'immissione in falda tramite gli appositi canali di drenaggio municipali che conducono l'acqua direttamente verso gli acquiferi più superficiali favorendone la ricarica ed evitando le consistenti perdite dovute all'evaporazione. Bisogna però inoltre considerare che nei mesi estivi, nei quali il tasso di evaporazione è molto elevato, gran parte delle coltivazioni non è presente ed inoltre sono i mesi nei quali il sistema di RWH ha meno efficacia dato che la pluviometria è quasi nulla.

Si dovrà comunque approfondire l'analisi per capire se con un uso periodico dell'acqua raccolta si potrà contribuire in maniera sostanziale al fabbisogno idrico delle principali coltivazioni essendo così il RWH effettivamente una risorsa confrontabile alla tradizionale rete idrica.

Nella seguente sezione viene riportata la nuova normativa comunale di El Ejido che obbliga la maggior parte delle serre del territorio comunale ad adeguarsi al sistema di raccolta idrica. Partendo da questa normativa si vuole fare un'analisi sulle singole coltivazioni per quantificare il potenziale dell'utilizzo del sistema di RWH come risorsa idrica per uso agricolo applicandolo ai principali cicli di coltivazione e poi stimando quali siano i benefici economici, ambientali e sociali dovuti ad una potenziale estensione della tecnica su tutto il territorio considerato confrontandolo con i tradizionali sistemi di approvvigionamento idrico.

4.3 Il modello normativo di El Ejido

Come detto precedentemente, nel Campo di Dalías sono presenti 7 comuni ed ognuno possiede un programma di gestione agricola a sé stante. Al giorno d'oggi, solamente il comune di El Ejido ha emanato una normativa che obbliga ad un adeguamento strutturale tutte le serre per garantire il recupero di acque meteoriche. Il Dipartimento dell'Agricoltura del Comune di El Ejido ha intensificato il piano RAPIDO (Piano per la raccolta delle acque piovane in serre, drenaggi e opere) con la nuova ordinanza municipale dell'11

aprile 2017 promettendosi l'obiettivo, entro la fine del 2018, di garantire che ogni serra si adegui al sistema di raccolta di acqua piovana con una capacità minima di raccolta oraria pari a 35 L/m². Dalla normativa sono escluse solamente le serre di tipo parral-piano con la copertura adeguatamente perforata per garantire la caduta dell'acqua direttamente sul terreno di coltivazione. Inoltre, l'acqua raccolta con il sistema di RWH dovrà essere immagazzinata in un deposito di raccolta o, in mancanza di quest'ultimo, dovrà essere regolarmente reimpressa in falda tramite la rete generale di evacuazione d'acqua piovana del Comune in modo che, nel primo caso, possa essere riutilizzata per uso agricolo oppure contribuisca alla ricarica della falda evitando di compromettere la normale infiltrazione e, nel caso di un evento piovoso estremo, eviti lo scorrimento superficiale al di fuori delle zone predefinite rischiando di creare danni alle strutture circostanti.

Tuttavia non tutti gli agricoltori stanno adottando il sistema sia perché molte serre non presentano ancora le caratteristiche tecnologiche adatte al RWH sia perché l'Ordinanza non fornisce uno studio quantificando come possano essere utilizzate posteriormente le acque raccolte ma fornisce solamente indicazioni sullo stoccaggio e questo lascia un interrogativo su quale sia l'effettiva potenzialità del sistema applicato ad uso agricolo.

4.4 I costi di installazione e/o adeguamento

Il sistema di RWH presenta un costo di installazione totale pari a 0,33 €/m² (López Pérez, et al. 2015). Supponendo che tutte le serre implementino il sistema, sapendo che la superficie totale al giorno d'oggi è di 20769 ettari, l'investimento totale è dell'ordine di oltre 68 milioni di euro.

Nel Campo di Dalías la superficie media di serre per ogni impresa è di 15911 m² perciò si stima che ogni proprietario, in media, dovrà investire 5.250 € per l'installazione del sistema di RWH.

Inoltre, per rispettare i termini della normativa sarà necessario costruire anche una superficie di raccolta idrica. I costi medi di costruzione sono pari a 0,96 €/m². I dati in letteratura suggeriscono che un'impresa con una superficie di serre pari a 16000 m² avrà bisogno di un deposito di raccolta di circa 1500 m³ (López Pérez, et al. 2015) perciò si stima che l'investimento per ogni proprietario sia pari a circa 1.400 €.

Nel caso in cui anche chi possiede una serra di tipo parral-plano voglia aderire al sistema di raccolta di acqua piovana dovrà sostenere costi maggiori. Come visto in precedenza, il 28,4% delle imprese possiede serre con tetto parral-plano (Cobos Lucena, Gordillo Manrique e Alfayate Iranzo 2003) quindi, per garantire l'adeguamento sarà necessario costruire o una serra di tipo raspa y amagado, con un costo complessivo della struttura (compreso sistema di RWH) di 9,47 €/m² oppure una serra multitunnel con un costo di 17,35 €/m² (Cobos Lucena, Gordillo Manrique e Alfayate Iranzo 2003) che comportano ordini di grandezza molto maggiori; infatti, calcolati sulla dimensione media di una serra di 15911 m² variano tra 150.000 € e 276.000 €.

5 Utilizzo delle risorse idriche del RWH

In questo capitolo sono stati svolti i calcoli per stimare la percentuale di coltivazione che può essere coperta se irrigata con l'acqua raccolta con il sistema di RWH. Sono stati raccolti i fabbisogni idrici delle principali coltivazioni che forniscono un consumo idrico medio settimanale a seconda del periodo di semina. I dati sono stati condensati in una media mensile per ogni coltivazione data la disponibilità e la variabilità dei dati pluviometrici. Si è supposto che l'acqua piovana raccolta mensilmente venga interamente utilizzata a scopo irriguo. Se in eccesso o se in alcuni mesi la serra dotata di sistema di RWH non presenta coltivazioni, l'acqua raccolta verrà direttamente reimpressa in falda per garantire il normale processo di ricarica di quest'ultima. I valori di fabbisogno idrico per le singole coltivazioni sono stati calcolati attraverso media di dati climatici di vari anni perciò sono da considerarsi indicativi e possono variare leggermente di anno in anno. Inoltre sono state considerate come ipotesi la trasmittanza media di una serra simmetrica con una pendenza del tetto pari a 10° in modo da avere un fattore di correzione unitario sulla quantità d'acqua necessaria (Cajamar 2005). Le dosi di irrigazione sono da considerarsi come consumi ottimi della coltivazione, non si tiene inoltre in conto la gestione specifica del raccolto in alcune fasi come la riduzione dell'irrigazione per aumentare il contenuto zuccherino del frutto nei meloni e nelle angurie, l'aumento della radicazione della coltura, la regolazione della crescita vegetativa, ecc. (Cajamar 2005)

Nonostante le piccole differenze che possono verificarsi tra il consumo effettivo di acqua da parte del raccolto ed il calcolato si deve tener conto che il terreno immagazzina l'acqua e che questa quantità può essere considerata per compensare o attutire le differenze. In questo modo è stato possibile determinare il consumo idrico annuale per ogni coltivazione e

successivamente confrontarlo con l'acqua raccolta per vedere quale sia il contributo sia a scopo agricolo che di approvvigionamento della falda.

5.1 Applicazione ai principali cicli di coltivazione

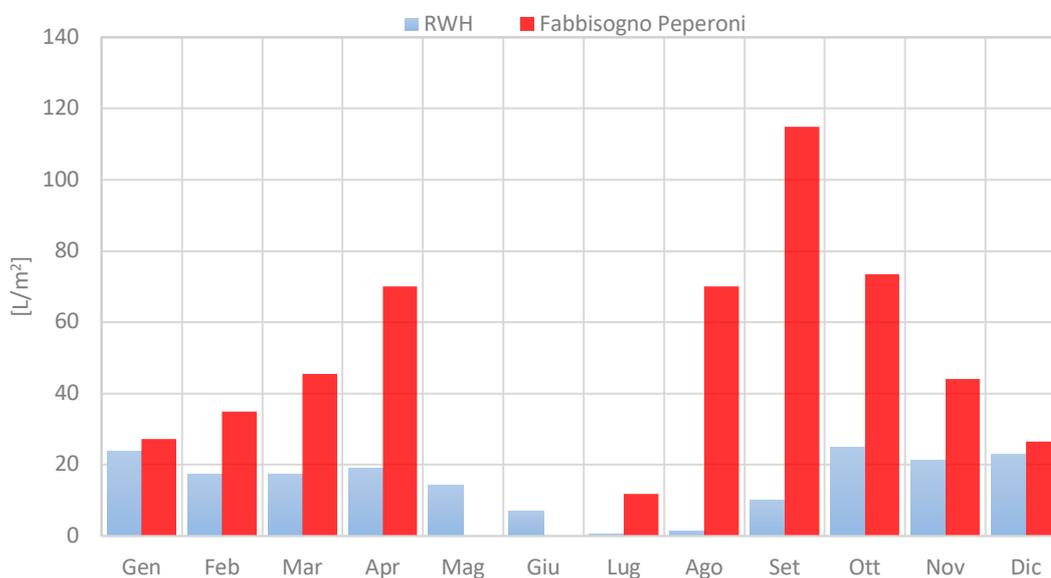
Nella seguente sezione sono stati calcolati i bilanci idrici dei principali cicli di coltivazione. In questo modo prima vengono confrontate la quantità di acqua raccolta con il fabbisogno della specifica coltivazione per metro quadro e successivamente si estende il ragionamento su tutta l'area coperta dalla specifica coltivazione.

Peperoni ciclo lungo

Periodo di semina: luglio

Periodo di raccolta: aprile

Durata ciclo coltivazione: 10 mesi



| Mese | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|-----------------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-------|------|------|------|
| Peperoni [L/m²] | 27,3 | 35 | 45,5 | 70 | | | 11,9 | 70 | 114,8 | 73,5 | 44,1 | 26,6 |
| RWH [L/m²] | 24 | 17,6 | 17,6 | 19,2 | 14,4 | 7,2 | 0,8 | 1,6 | 10,4 | 24,8 | 21,6 | 23,2 |

Grafico 5.1: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di peperoni ed acqua raccolta (Elaborazione propria)

Il fabbisogno idrico per un ciclo intero di coltivazione è:

$$Q_{peperoni} = \sum Q_i = 518,7 \text{ L/m}^2 = 0,519 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con $i =$ gennaio, ..., dicembre

La raccolta idrica totale è:

$$Q_{RWH} = \sum Q_i = 182,4 \text{ L/m}^2 = 0,182 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con $i =$ gennaio, ..., dicembre

Dato che si ipotizza di non stoccare l'acqua sia nei mesi nei quali non è presente la coltivazione sia nel caso nel quale il fabbisogno mensile sia inferiore all'acqua raccolta, l'acqua in eccesso verrà reimpressa in falda per evitare di perderne ingenti quantità legate all'evaporazione ed al deterioramento delle qualità fisico-chimiche. In questo modo l'acqua raccolta viene suddivisa in $160,8 \text{ L/m}^2$ (88%) che saranno usati per uso agricolo e $21,6 \text{ L/m}^2$ (12%) reimpressi in falda. In questo modo il 31% della coltivazione è coperto dalla tecnica di RWH.

Secondo i dati in letteratura il 35,8% delle serre del Campo di Dalías coltiva annualmente peperoni perciò la superficie di serre utilizzata è di:

$$A_{serre} = A_{tot} \cdot \%_{coltivazione}$$

$$A_{serre} = 20769 \cdot 0,358 = 7435,3 \text{ ettari} = 7,4 \cdot 10^7 \text{ m}^2$$

che hanno bisogno di una quantità d'acqua pari a:

$$Q_{tot} = Q_{peperoni} \cdot A_{serre}$$

$$Q_{tot} = 0,519 \cdot 7,4 \cdot 10^7 = 3,86 \cdot 10^7 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 38,6 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Il sistema di RWH garantisce una raccolta idrica totale di:

$$Q_{RWH_{tot}} = Q_{RWH} \cdot A_{serre} = 13,6 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Di questi, $12 \text{ hm}^3/\text{anno}$ saranno utilizzati per scopo agricolo mentre $1,6 \text{ hm}^3/\text{anno}$ saranno reimpressi in falda e garantiscono una copertura del fabbisogno totale del ciclo di coltivazione pari al 31%. Valore che si situa nella media tra tutte le coltivazioni che verranno analizzate.

Meloni e Peperoni

Periodo di semina meloni: febbraio

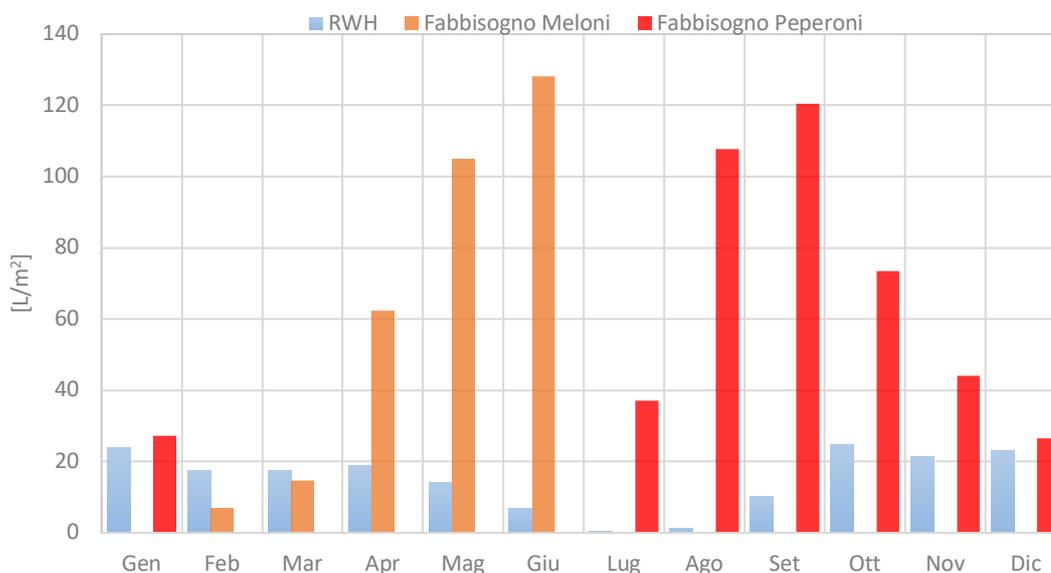
Periodo di raccolta meloni: giugno

Periodo semina peperoni: luglio

Periodo raccolta peperoni: gennaio

Durata ciclo coltivazione meloni: 5 mesi

Durata ciclo coltivazione peperoni: 7 mesi



| Mese | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| Meloni e Peperoni [L/m²] | 27,3 | 7 | 14,7 | 62,3 | 105 | 128,1 | 37,1 | 107,8 | 120,4 | 73,5 | 44,1 | 26,6 |
| RWH [L/m²] | 24 | 17,6 | 17,6 | 19,2 | 14,4 | 7,2 | 0,8 | 1,6 | 10,4 | 24,8 | 21,6 | 23,2 |

Grafico 5.2: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di meloni e peperoni ed acqua raccolta (Elaborazione propria)

Il fabbisogno idrico per un ciclo intero di coltivazione è:

$$Q_{\text{meloni+peperoni}} = \sum Q_i = 753,9 \text{ L/m}^2 = 0,754 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, ..., dicembre

La raccolta idrica totale è:

$$Q_{RWH} = \sum Q_i = 182,4 \text{ L/m}^2 = 0,182 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, ..., dicembre

L'acqua raccolta viene suddivisa in 168,9 L/m² (92%) che saranno usati per uso agricolo e 13,5 L/m² (8%) reimmessi in falda. In questo modo il 22% della coltivazione è coperto dalla tecnica di RWH.

Secondo i dati in letteratura l'11% delle serre del Campo di Dalías coltiva annualmente meloni e peperoni perciò la superficie di serre utilizzata è di:

$$A_{serre} = A_{tot} \cdot \%_{coltivazione}$$

$$A_{serre} = 20769 \cdot 0,11 = 2284,6 \text{ ettari} = 2,3 \cdot 10^7 \text{ m}^2$$

che hanno bisogno di una quantità d'acqua pari a:

$$Q_{tot} = Q_{meloni+peperoni} \cdot A_{serre}$$

$$Q_{tot} = 0,754 \cdot 2,3 \cdot 10^7 = 1,72 \cdot 10^7 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 17,2 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Il sistema di RWH garantisce una raccolta idrica totale di:

$$Q_{RWH_{tot}} = Q_{RWH} \cdot A_{serre} = 4,2 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

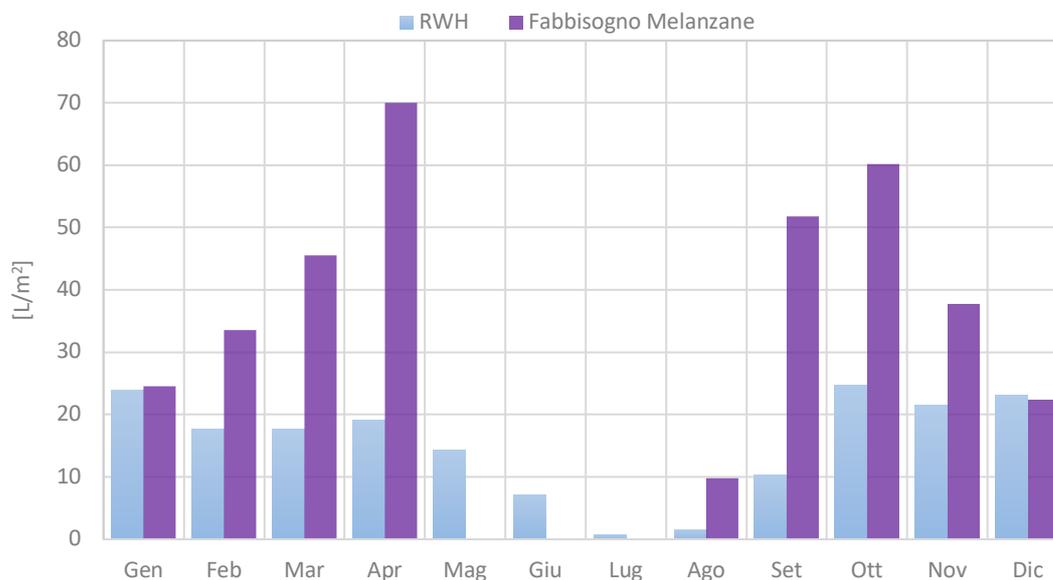
Di questi, 3,9 hm³/anno saranno utilizzati per scopo agricolo mentre 0,3 hm³/anno saranno reimmessi in falda e garantiscono una copertura del fabbisogno totale del ciclo di coltivazione pari al 22%. Valore che, come si vedrà confrontando tutti i cicli di coltivazione, è tra quelli meno performanti.

Melanzane ciclo lungo

Periodo di semina: agosto

Periodo di raccolta: aprile

Durata ciclo coltivazione: 9 mesi



| Mese | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Melanzane [L/m²] | 24,5 | 33,6 | 45,5 | 70 | | | | 9,8 | 51,8 | 60,2 | 37,8 | 22,4 |
| RWH [L/m²] | 24 | 17,6 | 17,6 | 19,2 | 14,4 | 7,2 | 0,8 | 1,6 | 10,4 | 24,8 | 21,6 | 23,2 |

Grafico 5.3: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di melanzane ed acqua raccolta (Elaborazione propria)

Il fabbisogno idrico per un ciclo intero di coltivazione è:

$$Q_{melanzane} = \sum Q_i = 355,6 \text{ L/m}^2 = 0,356 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, ..., dicembre

La raccolta idrica totale è:

$$Q_{RWH} = \sum Q_i = 182,4 \text{ L/m}^2 = 0,182 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, ..., dicembreL'acqua raccolta viene suddivisa in 159,2 L/m² (87%) che saranno usati per uso agricolo e 23,2 L/m² (13%) reimmessi in falda.

In questo modo il 45% della coltivazione è coperto dalla tecnica di RWH.

Secondo i dati in letteratura l'8,1% delle serre del Campo di Dalías coltiva annualmente melanzane perciò la superficie di serre utilizzata è di:

$$A_{serre} = A_{tot} \cdot \%_{coltivazione}$$

$$A_{serre} = 20769 \cdot 0,081 = 1682,3 \text{ ettari} = 1,7 \cdot 10^7 \text{ m}^2$$

che hanno bisogno di una quantità d'acqua pari a:

$$Q_{tot} = Q_{melanzane} \cdot A_{serre}$$

$$Q_{tot} = 0,356 \cdot 1,7 \cdot 10^7 = 6,0 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 6,0 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Il sistema di RWH garantisce una raccolta idrica totale di:

$$Q_{RWH_{tot}} = Q_{RWH} \cdot A_{serre} = 3,1 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Di questi, 2,7 hm³/anno saranno utilizzati per scopo agricolo mentre 0,4 hm³/anno saranno reimmessi in falda e garantiscono una copertura del fabbisogno totale del ciclo di coltivazione pari al 45%. Questa coltivazione rappresenta quella che sfrutterà al massimo il sistema di RWH.

Peperoni ed Angurie

Periodo di semina meloni: febbraio

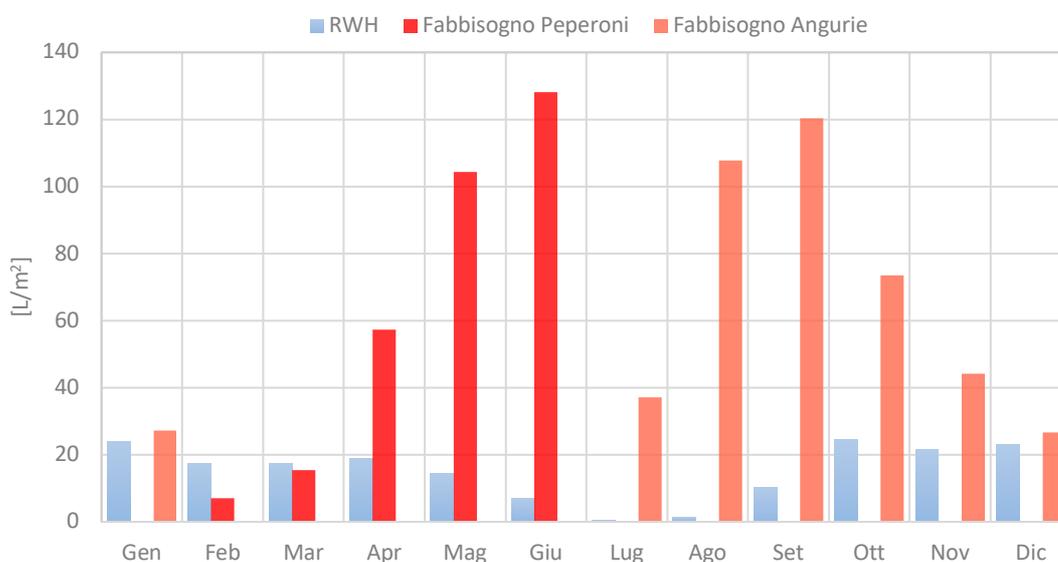
Periodo di raccolta meloni: giugno

Periodo semina peperoni: luglio

Periodo raccolta peperoni: gennaio

Durata ciclo coltivazione meloni: 5 mesi

Durata ciclo coltivazione peperoni: 7 mesi



| Mese | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|----------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|
| Peperoni e angurie [L/m²] | 27,3 | 7 | 15,4 | 57,4 | 104,3 | 128,1 | 37,1 | 107,8 | 120,4 | 73,5 | 44,1 | 26,6 |
| RWH [L/m²] | 24 | 17,6 | 17,6 | 19,2 | 14,4 | 7,2 | 0,8 | 1,6 | 10,4 | 24,8 | 21,6 | 23,2 |

Grafico 5.4: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di peperoni e angurie ed acqua raccolta (Elaborazione propria)

Il fabbisogno idrico per un ciclo intero di coltivazione è:

$$Q_{peperoni+angurie} = \sum Q_i = 749 \text{ L/m}^2 = 0,749 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, ..., dicembre

La raccolta idrica totale è:

$$Q_{RWH} = \sum Q_i = 182,4 \text{ L/m}^2 = 0,182 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, ..., dicembre

L'acqua raccolta viene suddivisa in 151,6 L/m² (83%) che saranno usati per uso agricolo e 30,8 L/m² (17%) reimmessi in falda. In questo modo il 20% della coltivazione è coperto dalla tecnica di RWH.

Secondo i dati in letteratura il 7% delle serre del Campo di Dalías coltiva annualmente peperoni e angurie perciò la superficie di serre utilizzata è di:

$$A_{serre} = A_{tot} \cdot \%_{coltivazione}$$

$$A_{serre} = 20769 \cdot 0,07 = 1453,8 \text{ ettari} = 1,4 \cdot 10^7 \text{ m}^2$$

che hanno bisogno di una quantità d'acqua pari a:

$$Q_{tot} = Q_{peperoni+angurie} \cdot A_{serre}$$

$$Q_{tot} = 0,749 \cdot 1,4 \cdot 10^7 = 1,09 \cdot 10^7 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 10,9 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Il sistema di RWH garantisce una raccolta idrica totale di:

$$Q_{RWH_{tot}} = Q_{RWH} \cdot A_{serre} = 2,7 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

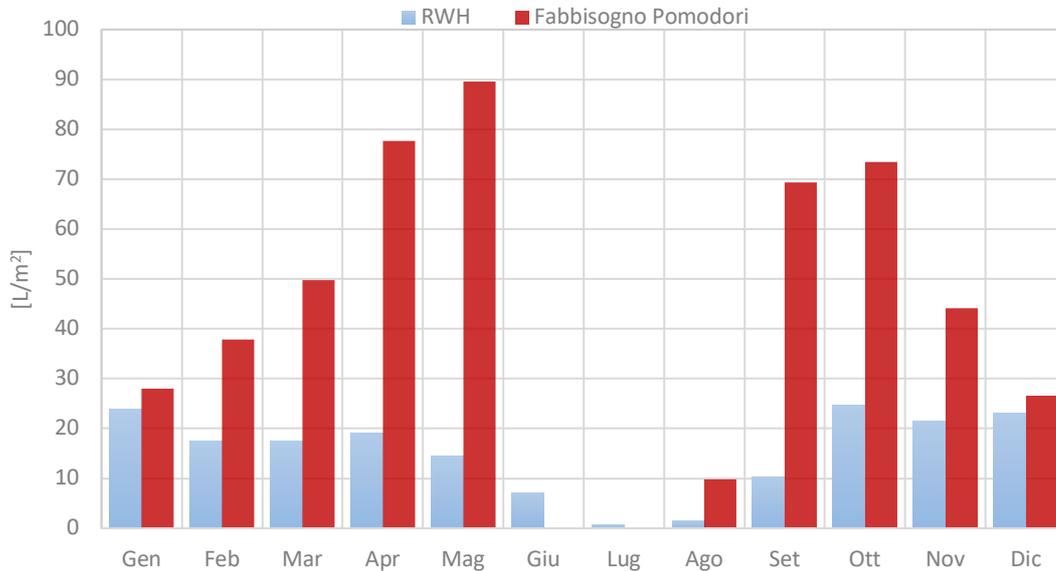
Di questi, 2,2 hm³/anno saranno utilizzati per scopo agricolo mentre 0,5 hm³/anno saranno reimmessi in falda e garantiscono una copertura del fabbisogno totale del ciclo di coltivazione pari al 20%. Questa coltivazione è quella che, tra quelle analizzate, usufruisce meno del sistema di RWH.

Pomodori ciclo lungo

Periodo di semina: agosto

Periodo di raccolta: maggio

Durata ciclo coltivazione: 10 mesi



| Mese | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|------------------------|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Pomodori [L/m²] | 28 | 37,8 | 49,7 | 77,7 | 89,6 | | | 9,8 | 69,3 | 73,5 | 44,1 | 26,6 |
| RWH [L/m²] | 24 | 17,6 | 17,6 | 19,2 | 14,4 | 7,2 | 0,8 | 1,6 | 10,4 | 24,8 | 21,6 | 23,2 |

Grafico 5.5: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di pomodori ed acqua raccolta (Elaborazione propria)

Il fabbisogno idrico per un ciclo intero di coltivazione è:

$$Q_{pomodori} = \sum Q_i = 506,1 \text{ L/m}^2 = 0,506 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, dicembre

La raccolta idrica totale è:

$$Q_{RWH} = \sum Q_i = 182,4 \text{ L/m}^2 = 0,182 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, dicembre

L'acqua raccolta viene suddivisa in 174,4 L/m² (96%) che saranno usati per uso agricolo e 8 L/m² (4%) reimmessi in falda. In questo modo il 34% della coltivazione è coperto dalla tecnica di RWH.

Secondo i dati in letteratura il 6,2% delle serre del Campo di Dalías coltiva annualmente melanzane perciò la superficie di serre utilizzata è di:

$$A_{serre} = A_{tot} \cdot \%_{coltivazione}$$

$$A_{serre} = 20769 \cdot 0,062 = 1287,7 \text{ ettari} = 1,3 \cdot 10^7 \text{ m}^2$$

che hanno bisogno di una quantità d'acqua pari a:

$$Q_{tot} = Q_{melanzane} \cdot A_{serre}$$

$$Q_{tot} = 0,506 \cdot 1,3 \cdot 10^7 = 6,5 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 6,5 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Il sistema di RWH garantisce una raccolta idrica totale di:

$$Q_{RWH_{tot}} = Q_{RWH} \cdot A_{serre} = 2,3 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Di questi, 2,2 hm³/anno saranno utilizzati per scopo agricolo mentre 0,1 hm³/anno saranno reimmessi in falda e garantiscono una copertura del fabbisogno totale del ciclo di coltivazione pari al 34%. Valore che si situa nella media tra tutte le coltivazioni che verranno analizzate.

Zucchini doppio ciclo

Periodo di semina: agosto

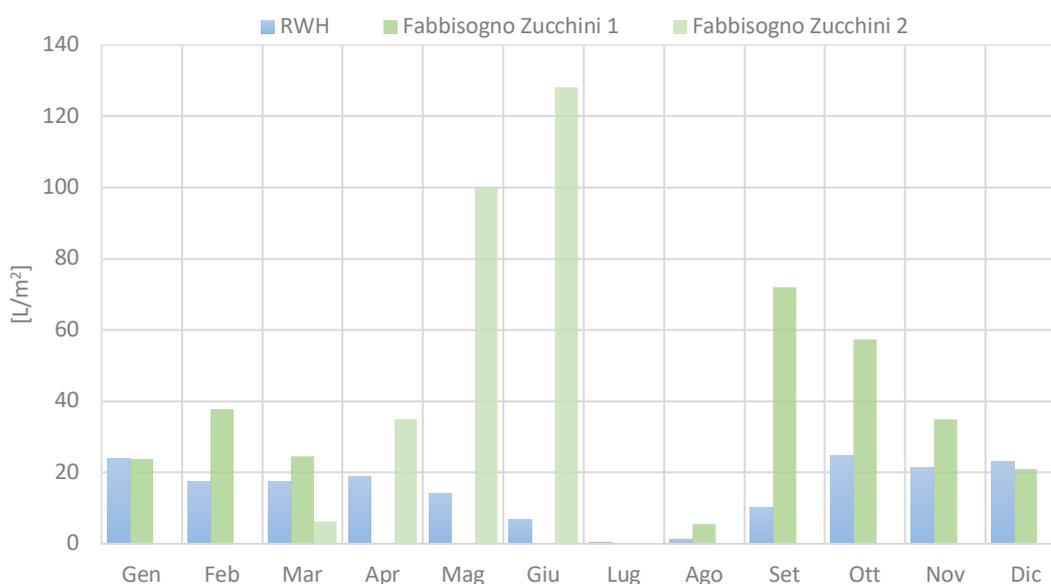
Periodo di raccolta: prima metà di marzo

Periodo di semina: seconda metà di marzo

Periodo di raccolta: giugno

Durata ciclo coltivazione meloni: 8 mesi

Durata ciclo coltivazione peperoni: 4 mesi



| Mese | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|-------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-----|-----|------|------|------|------|
| Zucchini doppio ciclo [L/m²] | 23,8 | 37,8 | 30,8 | 35 | 100,1 | 128,1 | | 5,6 | 72,1 | 57,4 | 35 | 21 |
| RWH [L/m²] | 24 | 17,6 | 17,6 | 19,2 | 14,4 | 7,2 | 0,8 | 1,6 | 10,4 | 24,8 | 21,6 | 23,2 |

Grafico 5.6: Confronto tra fabbisogno idrico di un doppio ciclo di zucchini ed acqua raccolta (Elaborazione propria)

Il fabbisogno idrico per un ciclo intero di coltivazione è:

$$Q_{zucchini+zucchini} = \sum Q_i = 546,7 \text{ L/m}^2 = 0,547 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, ..., dicembre

La raccolta idrica totale è:

$$Q_{RWH} = \sum Q_i = 182,4 \text{ L/m}^2 = 0,182 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, ..., dicembre

L'acqua raccolta viene suddivisa in 179,2 L/m² (98%) che saranno usati per uso agricolo e 3,2 L/m² (2%) reimmessi in falda. In questo modo il 32% della coltivazione è coperto dalla tecnica di RWH.

Secondo i dati in letteratura il 4% delle serre del Campo di Dalías coltiva annualmente due cicli di zucchini perciò la superficie di serre utilizzata è di:

$$A_{serre} = A_{tot} \cdot \%_{coltivazione}$$

$$A_{serre} = 20769 \cdot 0,04 = 830,8 \text{ ettari} = 8,3 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

che hanno bisogno di una quantità d'acqua pari a:

$$Q_{tot} = Q_{zucchini+zucchini} \cdot A_{serre}$$

$$Q_{tot} = 0,547 \cdot 8,3 \cdot 10^6 = 4,5 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 4,5 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Il sistema di RWH garantisce una raccolta idrica totale di:

$$Q_{RWH_{tot}} = Q_{RWH} \cdot A_{serre} = 1,5 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

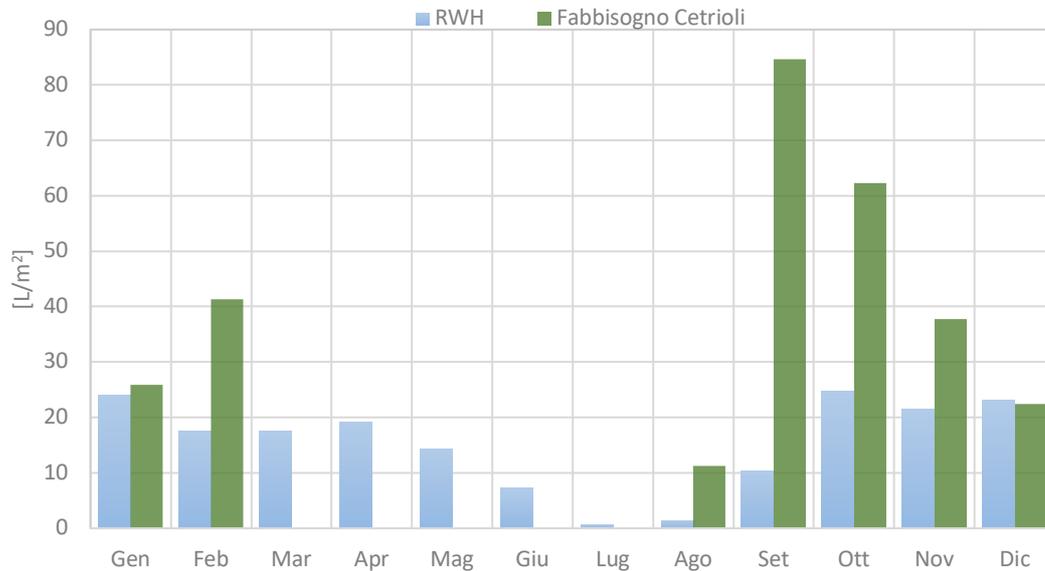
Di questi, 1,47 hm³/anno saranno utilizzati per scopo agricolo mentre 0,03 hm³/anno saranno reimmessi in falda e garantiscono una copertura del fabbisogno totale del ciclo di coltivazione pari al 33%. Valore che si situa nella media tra tutte le coltivazioni che verranno analizzate.

Cetrioli ciclo lungo

Periodo di semina: agosto

Periodo di raccolta: febbraio

Durata ciclo coltivazione: 7 mesi



| Mese | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Cetrioli [L/m²] | 25,9 | 41,3 | | | | | | 11,2 | 84,7 | 62,3 | 37,8 | 22,4 |
| RWH [L/m²] | 24 | 17,6 | 17,6 | 19,2 | 14,4 | 7,2 | 0,8 | 1,6 | 10,4 | 24,8 | 21,6 | 23,2 |

Grafico 5.7: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di cetrioli ed acqua raccolta (Elaborazione propria)

Il fabbisogno idrico per un ciclo intero di coltivazione è:

$$Q_{cetrioli} = \sum Q_i = 285,6 \text{ L/m}^2 = 0,286 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, dicembre

La raccolta idrica totale è:

$$Q_{RWH} = \sum Q_i = 182,4 \text{ L/m}^2 = 0,182 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, dicembre

L'acqua raccolta viene suddivisa in 122,4 L/m² (67%) che saranno usati per uso agricolo e 60 L/m² (32%) reimmessi in falda. In questo modo il 45% della coltivazione è coperto dalla tecnica di RWH.

Secondo i dati in letteratura il 4% delle serre del Campo di Dalías coltiva annualmente cetrioli perciò la superficie di serre utilizzata è di:

$$A_{serre} = A_{tot} \cdot \%_{coltivazione} = 20769 \cdot 0,04$$

$$A_{serre} = 830,8 \text{ ettari} = 8,3 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

che hanno bisogno di una quantità d'acqua pari a:

$$Q_{tot} = Q_{cetrioli} \cdot A_{serre} = 0,286 \cdot 8,3 \cdot 10^6$$

$$Q_{tot} = 2,4 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 2,4 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Il sistema di RWH garantisce una raccolta idrica totale di:

$$Q_{RWH_{tot}} = Q_{RWH} \cdot A_{serre} = 1,5 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Di questi, 1 hm³/anno saranno utilizzati per scopo agricolo mentre 0,5 hm³/anno saranno reimmessi in falda e garantiscono una copertura del fabbisogno totale del ciclo di coltivazione pari al 31%. Valore che si situa nella media tra tutte le coltivazioni che verranno analizzate.

Meloni e Cetrioli

Periodo di semina: agosto

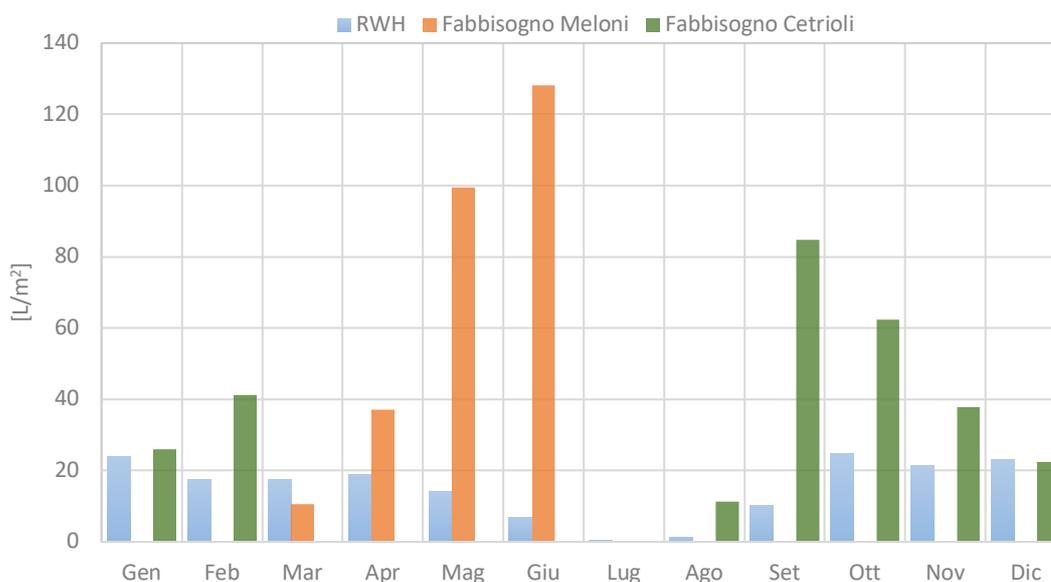
Periodo di raccolta: febbraio

Periodo di semina: marzo

Periodo di raccolta: giugno

Durata ciclo coltivazione meloni: 7 mesi

Durata ciclo coltivazione peperoni: 4 mesi



| Mese | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-----|------|------|------|------|------|
| Meloni e Cetrioli [L/m²] | 25,9 | 41,3 | 10,5 | 37,1 | 99,4 | 128,1 | | 11,2 | 84,7 | 62,3 | 37,8 | 22,4 |
| RWH [L/m²] | 24 | 17,6 | 17,6 | 19,2 | 14,4 | 7,2 | 0,8 | 1,6 | 10,4 | 24,8 | 21,6 | 23,2 |

Grafico 5.8: Confronto tra fabbisogno idrico di un ciclo di meloni e cetrioli ed acqua raccolta (Elaborazione propria)

Il fabbisogno idrico per un ciclo intero di coltivazione è:

$$Q_{meloni+cetrioli} = \sum Q_i = 560,7 \text{ L/m}^2 = 0,561 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, dicembre

La raccolta idrica totale è:

$$Q_{RWH} = \sum Q_i = 182,4 \text{ L/m}^2 = 0,182 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

con i = gennaio, dicembre

L'acqua raccolta viene suddivisa in 173,7 L/m² (95%) che saranno usati per uso agricolo e 8,7 L/m² (5%) reimmessi in falda. In questo modo il 31% della coltivazione è coperto dalla tecnica di RWH.

Secondo i dati in letteratura il 3,2% delle serre del Campo di Dalías coltiva annualmente meloni e cetrioli perciò la superficie di serre utilizzata è di:

$$A_{serre} = A_{tot} \cdot \%_{coltivazione}$$

$$A_{serre} = 20769 \cdot 0,032 = 664,6 \text{ ettari} = 6,6 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

che hanno bisogno di una quantità d'acqua pari a:

$$Q_{tot} = Q_{meloni+cetrioli} \cdot A_{serre}$$

$$Q_{tot} = 0,561 \cdot 6,6 \cdot 10^6 = 3,7 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^3}{\text{anno}} = 3,7 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Il sistema di RWH garantisce una raccolta idrica totale di:

$$Q_{RWH_{tot}} = Q_{RWH} \cdot A_{serre} = 1,2 \frac{\text{hm}^3}{\text{anno}}$$

Di questi, 1,14 hm³/anno saranno utilizzati per scopo agricolo mentre 0,06 hm³/anno saranno reimmessi in falda e garantiscono una copertura del fabbisogno totale del ciclo di coltivazione pari al 43%. Questa coltivazione è tra quelle che sfrutterà al massimo il sistema di RWH, seconda solo alla coltivazione di melanzane a ciclo lungo.

Altri

Le coltivazioni precedentemente analizzate coprono il 79,3% del totale. Il restante 20,7% non può essere studiato dettagliatamente per la mancanza di informazioni sui diversi tipi di coltivazione presenti. Però quest'ultime coprono un'area di 4299,2 ettari, hanno un consumo idrico 19,3 hm³/anno e garantiscono una raccolta idrica di 7,8 hm³/anno.

5.1.1 Confronto di efficienza tra le diverse coltivazioni

Nella tabella successiva viene confrontata la percentuale del fabbisogno idrico di ogni coltivazione coperta dal RWH.

| Percentuale del fabbisogno coperto dal RWH | | | |
|--|---|--|----|
| Coltivazione | m ³ /m ² annui raccolti | m ³ /m ² annui richiesti | % |
| peperoni ciclo lungo | 0,182 | 0,519 | 31 |
| meloni e peperoni | | 0,754 | 22 |
| melanzane ciclo lungo | | 0,356 | 45 |
| angurie e peperoni | | 0,749 | 20 |
| pomodori ciclo lungo | | 0,506 | 34 |
| zucchini e zucchini | | 0,547 | 33 |
| cetrioli ciclo lungo | | 0,286 | 31 |
| meloni e cetrioli | | 0,561 | 43 |

Tabella 5.1: Confronto efficienza principali cicli di coltivazione (Elaborazione propria)

Si può notare che il ciclo di coltivazione di angurie - peperoni è quello che sfrutterà meno il sistema nonostante l'83% venga usato per uso agricolo. Questo è dovuto al fatto che il fabbisogno idrico annuale delle due coltivazioni ammonta a 749 litri, nettamente superiore alla media di 533 litri. Lo stesso discorso vale per la coltivazione di meloni - peperoni. Invece, nel resto delle coltivazioni si supera abbondantemente il 30% di coltivazione coperta dalle risorse di RWH con il massimo dell'efficienza che si riscontra nella coltivazione delle melanzane con una copertura pari al 45% del fabbisogno totale.

5.2 I principali impatti del sistema di RWH

5.2.1 Aspetti economici

Facilità di manutenzione

I sistemi di raccolta dell'acqua piovana richiedono una manutenzione periodica in quanto possono compromettere la regolare fornitura idrica. Nel caso almeriense i problemi più comuni possono essere l'accumulo di polvere e terriccio portato dal vento nei periodi di siccità e l'intrusione nelle canaline di piccoli animali. Per questo sarà necessario un controllo periodico dell'effettiva funzionalità del sistema per evitare un'interruzione della fornitura idrica o un peggioramento della qualità dell'acqua raccolta.

Dato che i sistemi di RWH si basano su una tecnologia semplice, il costo complessivo della loro installazione e funzionamento è molto inferiore a quello dei sistemi di depurazione o pompaggio dell'acqua. La manutenzione richiede poco tempo ed energia. L'area che richiederà la principale manutenzione è dove viene raccolta l'acqua, soprattutto se ci sono alberi nelle vicinanze che possono lasciare detriti sulla copertura e successivamente nelle tubazioni. Normalmente si avrà un filtro per la cattura delle foglie nella parte superiore del tubo che periodicamente dovrà essere ripulito, in particolare in autunno. Se c'è stato un lungo periodo di siccità, allora potrebbe essere una buona pratica controllare tutti i filtri dopo il primo evento piovoso.

Il serbatoio è normalmente progettato per essere esente da manutenzione, anche se i sedimenti potrebbero accumularsi sul fondo nel tempo e potrebbe essere necessaria una manutenzione dopo un lungo tempo di utilizzo. In generale i sistemi di RWH hanno poche parti mobili e sono realizzati con materiali durevoli alle condizioni atmosferiche esterne.

Risparmio sui costi dell'acqua

Come visto in precedenza, l'applicazione del sistema di RWH ai principali cicli di coltivazione garantisce un risparmio idrico che varia dal 20% al 45% a seconda della coltivazione considerata. Considerando che il consumo idrico di ogni serra rimanga invariato e le risorse provenienti dal RWH siano utilizzate in sostituzione dell'acqua proveniente dalla tradizionale rete idrica si può stimare che, a seconda dei prezzi di mercato, si potrà raggiungere un risparmio di 0,39 €/m³ (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía 2017) se si utilizza l'acqua proveniente dalle falde e dagli invasi mentre si avrà un risparmio di 0,52 €/m³ (AcuaMed, Planta desaladora de Campo de Dalías (Almería) s.d.) utilizzando l'acqua degli impianti di dissalazione.

Limiti di raccolta

Le strutture di raccolta impongono una restrizione sulla quantità di acqua piovana che è possibile stoccare e quindi utilizzare. Durante un evento estremo i sistemi di raccolta potrebbero non essere in grado di contenere tutta l'acqua piovana. Il comune di El Ejido tenta di bypassare questo problema garantendo una capacità di raccolta superiore ad un evento estremo per la zona di intensità pari a 35 L/m² ogni ora. Questo problema ricorre generalmente in un sistema di RWH per uso domestico e quindi di limitata capacità. Nel Campo di Dalías, a parte essere estremamente rare le piogge di grande intensità, ogni impresa dovrà essere regolarmente dotata di un sistema di evacuazione dell'acqua piovana direttamente in falda o di un deposito di raccolta idrica. Considerando che nei calcoli precedenti si è pensato di utilizzare direttamente l'acqua raccolta, non dovrebbero essere necessari ulteriori accorgimenti.

Applicabilità del sistema su scala maggiore

Il progetto si è focalizzato sul Campo di Dalías per il fatto che la maggior parte delle serre andaluse è concentrata in quella zona, ed inoltre la situazione degli acquiferi è ampiamente trattata in letteratura però ciò non vuol dire che il sistema di rainwater harvesting possa essere applicato solamente alla zona considerata. La coltivazione in serra è tipica di tutta la regione andalusa ed essa, come il Campo di Dalías, soffre di notevole carenza idrica; come visto in precedenza, solamente nella zona considerata si è stimata una raccolta idrica potenziale di 37,9 hm³/anno. Estendendo la stima a tutta la regione andalusa i dati perdono relativamente importanza per il fatto che le precipitazioni non saranno costanti su tutta la Regione però, considerando che la maggior parte delle serre si trova in pianura nelle zone costiere la stima potrebbe essere più accurata del previsto. Perciò, considerando che al giorno d'oggi l'Andalusia possiede 34900 ettari di serre, usando i dati utilizzati per il Campo di Dalías si può stimare che la raccolta idrica annua possa raggiungere i 63,7 hm³/anno.

5.2.2 Aspetti ambientali

La qualità dell'acqua

L'acqua di buona qualità ha il potenziale per consentire la massima produzione se si seguono le corrette pratiche nella sua gestione. Un'acqua di scarsa qualità può causare problemi al terreno ed alle coltivazioni, causando la riduzione della resa. Il problema sostanziale che ha il Campo di Dalías è il fatto che l'acqua estratta dalle falde presenta una salinità residua che può essere nociva per il raccolto e, comunque, ha bisogno di ulteriori accorgimenti nell'utilizzo come si vedrà in seguito. Di conseguenza il parametro di fondamentale importanza per l'acqua del Campo di Dalías è la conduttività elettrica (CE) misurata in microSiemens al centimetro. Quando

si usa acqua di scarsa qualità e cioè con alti valori di CE, per evitare un eccessivo accumulo di sali nel suolo, si deve immettere una quantità aggiuntiva di acqua, che è chiamata frazione di lavaggio. Nella seguente tabella si mostrano, a titolo di esempio, i fattori di correzione necessari all'irrigazione per alcuni tipi di coltivazione al variare della CE.

| CE [$\mu\text{S}/\text{cm}$] | Peperoni | Cetrioli | Pomodori | Meloni |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 500 | 1,03 | 1,03 | 1,02 | 1,02 |
| 1000 | 1,06 | 1,05 | 1,04 | 1,03 |
| 1500 | 1,1 | 1,08 | 1,06 | 1,05 |
| 2000 | 1,13 | 1,11 | 1,09 | 1,07 |
| 2500 | 1,17 | 1,14 | 1,11 | 1,08 |
| 3000 | 1,21 | 1,18 | 1,14 | 1,1 |
| 3500 | 1,26 | 1,21 | 1,16 | 1,12 |
| 4000 | 1,31 | 1,25 | 1,19 | 1,14 |
| 4500 | 1,36 | 1,29 | 1,22 | 1,16 |
| 5000 | 1,42 | 1,33 | 1,25 | 1,19 |

Tabella 5.2: Fabbisogno idrico e CE. (Cajamar 2005)

Come visto in precedenza, con il crescente aumento della domanda idrica c'è stato un aumento della pressione sulle risorse idriche, causando un deficit crescente che ha generato problemi di notevole abbassamento della falda freatica, salinizzazione e contaminazione delle falde acquifere. Si ha una crescente salinizzazione delle falde acquifere dovuta all'irrigazione con acqua salmastra (Thompson, et al. 2007), dal momento che molti degli agricoltori della zona estraggono acqua per uso irriguo con valori di conducibilità elettrica di circa 3,5 dS/m (3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Sánchez, Reza e Martínez 2015) contando che l'acqua marina, in media, presenta una CE di 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Per quanto riguarda l'acqua piovana, essa, generalmente, presenta una CE media di circa 50 e 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CE riferita ad acqua con temperatura di 25°C)

(DWC s.d.) altamente al di sotto di quella dell'acqua estratta, perciò non avrà bisogno di nessuna correzione per le dosi di irrigazione.

Riduzione della domanda di estrazione idrica

Una conseguenza diretta dell'utilizzo del sistema di RWH per uso agricolo è la diminuzione dell'acqua estratta che sarà almeno pari alla quantità d'acqua raccolta. Nel caso il sistema di RWH sia alternativo all'uso di acqua desalinizzata, la quantità d'acqua utilizzata sarà la medesima ma, nel caso nel quale in precedenza si avesse utilizzato acqua proveniente dalle falde con CE molto elevate, i fattori di correzione ai fabbisogni delle coltivazioni, necessari per garantire un corretto flusso e lavaggio dei sali che rimangono nel terreno, garantirebbe un risparmio di acqua estratta che potrà essere fino al 50% superiore rispetto all'acqua piovana raccolta, di qualità migliore e di CE adeguata, quantificabile tra i 122,4 L/m² e 268,8 L/m² annui.

Riduzioni delle emissioni di gas serra

La tecnica di rainwater harvesting non si pone l'obiettivo di risolvere il problema del deficit idrico della provincia almeriense nella sua totalità ma, semplicemente, vuole fornire un contributo sostanziale sia alle coltivazioni sia all'assetto idrologico della regione. Essendo la domanda idrica costante, se l'acqua non venisse raccolta, dovrebbe provenire da altre fonti quali le falde sotterranee, i bacini e gli impianti di desalinizzazione. Sapendo che il consumo di energia specifico per la desalinizzazione con il processo di osmosi inversa nell'impianto di Dalías è di 4,25 kWh/m³ (AcuaMed, Planta desaladora de Campo de Dalías (Almería) s.d.) e quello medio dovuto all'estrazione e distribuzione dell'acqua di falda e degli invasi superficiali nella Provincia di Almeria è di 0,94 kWh/m³ (Martinez Rodriguez 2011) si può stimare l'energia risparmiata grazie all'acqua raccolta tramite il sistema di RWH. L'acqua desalinizzata incide con il 26% sul totale dell'acqua utilizzata

nel Campo di Dalías quindi si può supporre che solamente 9,9 dei 37,9 hm³/anno dell'acqua piovana raccolta sia effettivamente risparmiata dall'impianto di dissalazione; i restanti 28 hm³/anno si considerano provenienti dalle falde acquifere e dagli invasi.

In questo modo il consumo di energia E che sarebbe stato utilizzato per fornire i 37,9 hm³ annui:

$$E = 4,25 \cdot 9,9 \cdot 10^6 + 0,94 \cdot 28 \cdot 10^6 = 68,4 \cdot 10^6 \text{ kWh/anno}$$

Sapendo che l'energia in Spagna è ricavata da varie fonti, come mostrato nel grafico sottostante, si può quantificare il risparmio totale di emissioni di CO₂ garantito se l'acqua utilizzata provenisse dal rainwater harvesting:

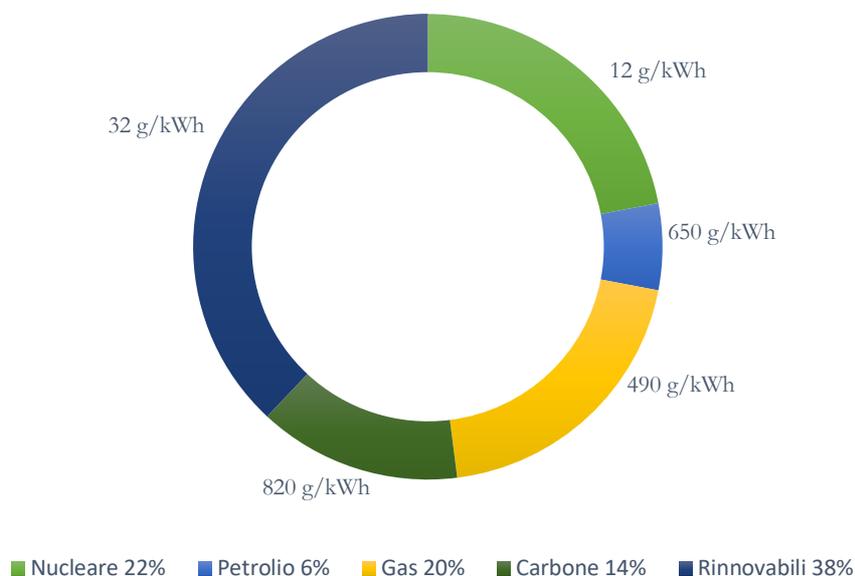


Grafico 5.9: Emissioni di CO₂ delle principali fonti di energia elettrica in Spagna e relativa percentuale di utilizzo (Electricity Map s.d.) (Elaborazione propria)

Stando all'Energy System Overview report del 2016 dell'IEA (International Energy Agency), la Spagna suddivide le proprie risorse rinnovabili in: Biomassa (230 g/kWh) 2%, Idroelettrico (24 g/kWh) 3%, Solare (45 g/kWh) 5% ed Eolico (12 g/kWh) 18% che, facendo una media ponderata sulle singole emissioni, si ricava il valore di 1957 ton equivalenti di CO₂.

Di conseguenza il risparmio di emissioni sarà, per ogni categoria di fonte di produzione, pari a:

| CO ₂ eq. risparmiate [ton] | | | | |
|---------------------------------------|----------|------|---------|-------------|
| Nucleare | Petrolio | Gas | Carbone | Rinnovabili |
| 180 | 2660 | 6685 | 7831 | 829 |

Tabella 5.3: ton eq. di CO₂ risparmiate annualmente utilizzando il RWH (Elaborazione propria)

Per un totale di 18185 ton CO₂ equivalenti l'anno.

Sapendo che, secondo i dati dell'Instituto Nacional de Estadística spagnolo, gli abitanti della provincia di Almería ammontano a 706.672 (Instituto Nacional de Estadística 2017) e conoscendo che, in media, ogni abitante produce 5,7 ton equivalenti di CO₂ all'anno (TeHagoEco 2013), si può stimare il totale delle emissioni di tutta la provincia almeriense che sono pari a:

$$CO_{2Almeria} = CO_{2abitante} \cdot n_{abitanti} = 4,03 \cdot 10^6 \text{ ton } CO_2 \text{ eq/anno}$$

e, sapendo che l'agricoltura contribuisca con il 11% del totale (Ministerio de Agricultura y Pesca 2016):

$$CO_{2Agricoltura,Almeria} = 4,03 \cdot 10^6 \cdot 0,11 = 433083 \text{ ton } CO_2 \text{ eq/anno}$$

Confrontando il risultato con le emissioni risparmiate grazie al sistema di RWH si ricava che si avrà una riduzione percentuale delle tonnellate equivalenti di CO₂ emesse nell'atmosfera dall'agricoltura nella Provincia di Almeria ogni anno pari al:

$$\% \text{ ton } CO_2 = \frac{CO_{2RWH}}{CO_{2Agricoltura,Almeria}} = \frac{18185}{433083} \cdot 100 \simeq 4,1 \%$$

l'equivalente della CO₂ annuale prodotta da circa 3190 persone.

I risultati ottenuti possono essere considerati rilevanti per il fatto che il RWH non ha lo scopo principale di ridurre le emissioni di gas serra, infatti ciò rappresenta semplicemente un beneficio addizionale e, sebbene solamente il Campo di Dalías possieda circa i 2/3 delle serre dell'intera Provincia di

Almeria, se il sistema di RWH venisse ulteriormente esteso almeno a livello regionale, fornirebbe benefici tangibili a livello nazionale.

Riduzione del rischio di alluvioni e di erosione del suolo

Un ulteriore vantaggio dei sistemi di RWH è che l'acqua piovana viene incanalata verso un deposito di raccolta o reimmessa direttamente in falda, perciò si evita lo scorrimento superficiale incontrollato nel caso di un forte evento atmosferico e ciò garantisce sia una riduzione sensibile del rischio di danni dovuti ad alluvioni ed inoltre aiuta anche a ridurre l'erosione del suolo e la contaminazione delle acque superficiali. Da quando sono state fermate le estrazioni dall'acquifero superiore i livelli piezometrici sono saliti, talvolta, al di sopra di quelli originali causando affioramenti della falda in alcune zone, questo fenomeno è dovuto al fatto che l'acqua estratta dagli acquiferi inferiori, che viene utilizzata per irrigare le coltivazioni, in parte, filtra nel terreno e si riversa naturalmente nella falda superiore che risulta quindi sovraccaricata da un contributo esterno. Il problema principale è che l'acqua degli acquiferi superiori presenta un elevato grado di salinità dovuto all'intrusione marina ed una grande quantità di prodotti chimici utilizzati per la fertirrigazione e ciò rende questa risorsa inutilizzabile senza un previo trattamento di purificazione.

Al giorno d'oggi, i livelli piezometrici si situano poco al di sotto del piano campagna perciò un evento atmosferico intenso non solo può causare, come visto in precedenza, problemi dovuti allo scorrimento superficiale delle acque, ma anche rischia di favorire l'aumento eccessivo dei livelli di falda allagando parte delle serre. Perciò il sistema di RWH, stoccando l'acqua piovana in appositi bacini, può aiutare a controllare il flusso idrico di un evento atmosferico evitando improvvisi allagamenti.

Imprevedibilità delle piogge e regolare fornitura idrica

Le precipitazioni sono difficili da prevedere e talvolta sono minime o inesistenti perciò possono causare irregolarità nella raccolta idrica e limitare la fornitura di acqua piovana. Non è consigliabile utilizzare solamente il RWH per tutto il fabbisogno idrico nelle aree in cui le precipitazioni sono limitate; per questo l'acqua raccolta con il sistema di RWH, nonostante i suoi apparenti elevati rendimenti, non può essere considerata come la principale fonte di approvvigionamento idrico per uso agricolo e neppure per uso domestico. Le coltivazioni intensive in serra hanno bisogno di un quantitativo idrico giornaliero prefissato che non dà spazio a considerevoli variazioni, inevitabili se totalmente dipendenti dal RWH, perciò, questa tecnica non può essere considerata come un sistema sostitutivo alle tradizionali fonti idriche tradizionali ma deve essere utilizzato come un complemento alla regolare fornitura idrica che fornisce notevoli vantaggi sia ambientali che economici. Inoltre la situazione pluviometrica è molto incerta per quanto riguarda il futuro, l'aumento delle temperature del Pianeta e gli effetti del cambio climatico fanno attendere una sensibile diminuzione delle piogge fornendo ancora maggiore irregolarità di quest'ultime. Questo lascia un'incertezza sul tasso di efficienza del sistema di RWH con il passare degli anni.

Infiltrazione e ricarica falda

Il processo di infiltrazione può avvenire solamente se l'acqua possiede lo spazio sufficiente per depositarsi sul terreno. Il volume d'acqua che si infiltra nel terreno dipende sostanzialmente dalla velocità d'infiltrazione e dal tasso di evaporazione. Il tasso massimo al quale l'acqua può entrare in un suolo è noto come capacità di infiltrazione. Se l'arrivo dell'acqua sulla superficie del suolo è inferiore alla capacità di infiltrazione, tutta l'acqua si infiltrerà. Se l'intensità della precipitazione sulla superficie del suolo avviene ad una

velocità che supera la capacità di infiltrazione, l'acqua inizia a ristagnare e il deflusso si verifica sulla superficie della terra, una volta che il deposito di raccolta è pieno.

Utilizzando il sistema di RWH su grande scala si può compromettere il normale processo di infiltrazione dato che parte dell'acqua piovana non compirà il suo normale ciclo filtrando nel terreno fino a raggiungere la falda. L'obiettivo principale dei piani idrologici della Provincia di Almería verte sulla salvaguardia degli acquiferi e l'acqua che è raccolta dai sistemi di RWH sarebbe stata estratta comunque per irrigare le coltivazioni continuando, però, a causare problemi di intrusione marina e salinizzazione. Essendo il bilancio idrico della zona costante è fondamentale sottolineare che il sistema di RWH non contribuisce sostanzialmente alla ricarica della falda perché i 3,49 hm³ d'acqua che vengono reimmessi direttamente in falda per evitare l'eccessiva evaporazione nel deposito di stoccaggio sarebbero fluiti regolarmente attraverso il terreno, seppur se con tempi diversi, per il normale processo di infiltrazione. Di conseguenza questo contributo non deve essere considerato come aggiuntivo al bilancio idrologico della zona ma semplicemente ne aiuta la regolazione evitando eccessive perdite per scorrimento superficiale.

5.2.3 Aspetti sociali

Partecipazione e responsabilizzazione all'uso delle risorse

L'utilizzo della tecnica di RWH rappresenta una conservazione e gestione delle risorse naturali all'interno di una visione che abbraccia lo sviluppo sostenibile, nonché il mantenimento e il ripristino dell'integrità ambientale. La conservazione e l'uso delle risorse naturali sono processi sociali per eccellenza poiché fanno affidamento sul comportamento, sui valori e sulle decisioni delle singole persone (UN 2015). L'utilizzo di una tecnica di fornitura idrica sostenibile garantisce inoltre un potenziamento dei valori

comunitari, riconoscendo i loro diritti e le loro responsabilità, sensibilizzando il singolo consumatore verso l'importanza di una gestione accurata delle risorse data la loro disponibilità limitata.

I sistemi di sfruttamento delle risorse naturali che rispettano il medio-ambiente aumentano quindi la stabilità sociale e, di conseguenza, le risorse locali incentivano gli utenti a partecipare alle decisioni di gestione delle risorse in modo efficace.

Promuovere la gestione collaborativa nell'ambito della conservazione e dell'uso sostenibile delle risorse naturali e affrontare la necessità di promuovere processi nazionali che responsabilizzino i diritti e le responsabilità delle comunità locali a partecipare pienamente alla pianificazione, implementazione ed ai processi decisionali che riguardano la gestione delle risorse nelle loro terre e territori (Peters s.d.).

Equità sociale

Il fabbisogno di preservazione degli acquiferi del Sud della Sierra di Gádor – Campo di Dalías rafforza il concetto di giustizia ambientale e mira a raggiungere l'equità sociale in quanto esiste un forte legame tra quest'ultima e la qualità ambientale. Qualsiasi degrado ambientale porta a ingiustizie, scarsa qualità della vita e rischi per la salute. Le persone sono preoccupate per l'equa distribuzione delle risorse naturali e la possibilità di un regolare sfruttamento sia oggi che nel futuro. Le risorse naturali rappresentano la vera ricchezza di una nazione e, per questo, dovrebbero essere considerate ancora più importanti del capitale finanziario.

A questo proposito è chiaro che è necessaria una buona gestione politica ed ambientale basata sulla sostenibilità e sulla giustizia sociale. Questo è l'unico modo in cui si possono evitare disordini, insurrezioni o conflitti. Per questo il RWH, essendo un sistema *user-connected* dovrebbe garantire una sensibilizzazione del singolo utente che, a contatto con la comunità, possa

sfruttare le risorse che personalmente raccoglie, evitando conflitti basati sull'equa distribuzione delle risorse.

Disinteresse e difficoltà nell'accettazione del sistema

Al contrario è possibile che una non corretta informazione ed un mancato impegno dalle autorità governative faccia sì che il sistema di RWH ed in generale l'utilizzo e la gestione delle risorse naturali non venga compreso dalla maggior parte; questo può causare una sfiducia nell'adozione del sistema ed una conseguente riduzione dei benefici strettamente connessi all'installazione su grande scala del sistema come un vero contributo alla salvaguardia degli acquiferi. I benefici ambientali si potranno notare solamente se i singoli utenti agiscono in comunità con obiettivi comuni che vanno al di là del semplice risparmio economico. Una progettazione ed informazione non adeguata rischia di sfociare in uno sforzo invano dovuto al fatto che coloro che decideranno di usare il sistema di RWH rimarranno un caso isolato rispetto agli altri utenti che continueranno ad usare i tradizionali servizi di fornitura idrica.

5.3 Triple bottom line analysis

Gli impatti relativi all'installazione del sistema di RWH studiati nel paragrafo 5.2 vengono schematizzati in questo paragrafo con un'analisi triple bottom line.

La Triple Bottom Line (TBL) è un tipo di *accounting framework* che è composto da tre dimensioni: sociale, ambientale e finanziaria. Si differisce dai tradizionali framework di riferimento in quanto include misure ecologiche (o ambientali) e sociali che possono essere difficili da quantificare con i tradizionali metodi di misurazione.

La TBL è stata introdotta a metà degli anni '90 da John Elkington dal momento che il concetto di raggiungere la sostenibilità è diventato un

obiettivo per aziende, progetti ed anche per il settore pubblico. L'idea che sta alla base del paradigma della TBL è che il successo o il benessere di un'azienda possono e devono essere misurati non solamente con i tradizionali framework finanziari ma devono anche tenere in conto gli aspetti etico-sociali ed il valore ambientale.

Tutti gli aspetti visti nelle sezioni precedenti dovuti all'implementazione dei sistemi di raccolta di acqua piovana nel Campo di Dalías hanno bisogno non solo del fatto che l'investimento sia finanziariamente ragionevole ma richiede anche una valutazione generale degli impatti sociali, economici e ambientali. È infatti opportuno condensarli tutti in un'analisi TBL che includa impatti positivi e negativi su tutte e tre gli ambiti che, sebbene a volte siano difficili da misurare, possono determinare se un progetto è utile da implementare.

Un'analisi Triple Bottom Line include una tabella o un grafico per valutare gli aspetti sociali, economici ed ambientali che verranno successivamente utilizzati per un'analisi finale.

Questo studio è stato affrontato con un approccio simile in modo da analizzare ognuno dei tre aspetti tramite un'analisi SWOT (punti di forza, punti deboli, opportunità e minacce) cercando di coprire la maggior quantità possibile di aspetti derivati dai risultati e dagli effetti ottenuti dal progetto. La tabella 5.4 riassume schematicamente gli effetti che potrebbero essere riscontrati a causa dell'introduzione del sistema di RWH.

| | Economici | Ambientali | Sociali |
|-----------------------|---|--|--|
| Punti di forza | <ul style="list-style-type: none"> - Poca manutenzione e costi operazionali - La maggior parte delle serre già possiede un deposito di raccolta idrica - Il sistema può essere installato sulla maggior parte delle serre senza bisogno di adattamenti strutturali | <ul style="list-style-type: none"> - Acqua di buona qualità per uso agricolo - Non è necessaria né elettricità né energia per il funzionamento del sistema - L'acqua verrà maggiormente valorizzata dagli utenti - Aumenta il tempo di deflusso | <ul style="list-style-type: none"> - Dato che il sistema è installato su ogni singola serra non dovrebbero esserci conflitti tra utenti - Migliora la sicurezza idrica - Parziale indipendenza dalla rete idrica |
| Debolezze | <ul style="list-style-type: none"> - Necessità di un investimento iniziale che può essere considerato elevato - L'area di raccolta è insufficiente per soddisfare l'intero fabbisogno delle coltivazioni - Il prezzo della fornitura idrica è competitivo - Il sistema non ha la stessa efficienza per tutti gli utenti | <ul style="list-style-type: none"> - Totale dipendenza dalle precipitazioni atmosferiche - Quantità non sufficiente per sanare la domanda - Gli utenti dovranno monitorare i livelli idrici | <ul style="list-style-type: none"> - Mancanza di conoscenza della tecnologia - Bassa priorità data al RWH dai governi - Gli agricoltori possono non essere propensi a partecipare - Il progetto può essere considerato inaccettabile da una fascia di utenti |
| Opportunità | <ul style="list-style-type: none"> - Possibilità di investimenti sia pubblici che privati - Il sistema può essere esteso su ampia scala | <ul style="list-style-type: none"> - Aiuta nella prevenzione delle alluvioni - Impatti positivi sul ciclo idrologico - Diminuisce il deficit idrico - Risparmio di emissioni di gas serra | <ul style="list-style-type: none"> - Garantisce una gestione personale delle risorse idriche - Insegna agli utenti ad usare responsabilmente le risorse idriche |
| Minacce | <ul style="list-style-type: none"> - Poca manutenzione rischia di danneggiare il sistema - I costi di manutenzione sono bassi, a meno che il sistema non si danneggi | <ul style="list-style-type: none"> - Cambio climatico e periodi di siccità compromettono la funzionalità del progetto - L'estensione eccessiva sia spaziale che temporale del progetto può avere conseguenze negative sul ciclo idrologico - L'acqua stagnante può essere contaminata col tempo da agenti esterni | <ul style="list-style-type: none"> - La poca conoscenza del sistema può condurre ad un basso uso - Mancanza di solidarietà e partecipazione possono essere un problema nell'accettazione del sistema |

Tabella 5.4: Analisi SWOT e TBL framework (Elaborazione propria)

5.4 Analisi costi – benefici

L'analisi costi-benefici (ACB) confronta i benefici del ridotto consumo di acqua proveniente dalla tradizionale rete idrica con i costi di implementazione del sistema di RWH. L'ACB verrà applicata ad una coltivazione ideale con un fabbisogno idrico calcolato come media ponderata dei vari fabbisogni.

Saranno considerate inoltre le seguenti ipotesi:

- L'acqua piovana raccolta non aumenta il quantitativo d'acqua complessivo di ogni utente ma si traduce in una riduzione permanente dell'acqua acquistata dal servizio idrico.
- I benefici dell'acqua piovana del RWH dati dai miglioramenti della qualità dell'acqua e dalla riduzione del rischio di inondazione non sono inclusi nell'ACB.
- I benefici della raccolta dell'acqua piovana inclusi sono solo quelli del valore economico dell'acqua risparmiata.
- L'analisi è effettuata per una serra di dimensione media pari a 15911 m² in modo da rispecchiare le esigenze della maggior parte degli utenti del Campo di Dalías.
- I costi dell'acqua si considerano pari a 0,42 €/m³ per il primo anno di utilizzo, valore che è stato ricavato tramite media ponderata dei diversi sistemi di approvvigionamento idrico considerando l'incidenza dell'acqua proveniente dagli impianti di desalinizzazione pari al 26% ed il restante 74% proveniente dalle falde e dagli invasi con costi rispettivi pari a 0,52 €/m³ e 0,39 €/m³.
- Il valore dell'acqua risparmiata è stato calcolato come media ponderata dei costi per ogni ciclo di coltivazione.
- Si considera solamente l'installazione del sistema di RWH escludendo il deposito di raccolta idrica.
- L'efficienza del sistema di RWH viene considerata costante per l'intero ciclo di vita dell'infrastruttura, ipotizzato pari a 20 anni in questo studio (Gould e Petersen 1999) (Hutton e Haller 2004).
- I costi di acquisto ed installazione del RWH sono pari a 5250 € e sono pagati interamente all'inizio dell'investimento.

La seguente ACB adotta un approccio comunque cautelativo ed i veri benefici netti sono probabilmente superiori a quelli stimati. Ai costi di installazione si aggiungono i costi di manutenzione che si suddividono in manutenzione ordinaria (pulizia tetto e filtri), manutenzione straordinaria (svuotamento sistema e rimozione detriti).

I costi di manutenzione sono riportati nella seguente tabella:

| Costi | Frequenza intervento | Costo per intervento [€] |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Manutenzione ordinaria | 6 mesi | 100 |
| Manutenzione straordinaria | 4 anni | 300 |

Tabella 5.5: Costi stimati di manutenzione per una serra di 16000 m² (Sig. Aitor, Responsabile Proprietà Escobar Reyes, Comunicazione personale, 2018) (Elaborazione propria)

Il fabbisogno idrico annuo della coltivazione considerata è stato ricavato come media ponderata dei fabbisogni delle coltivazioni presenti nel Campo di Dalías, come indicato nella seguente tabella:

| Percentuale coltivazioni e relativo fabbisogno idrico annuo | | |
|--|-----------------------|--|
| % | Coltivazione | m³/m² annui richiesti |
| 35,8 | peperoni ciclo lungo | 0,519 |
| 11 | meloni e peperoni | 0,754 |
| 8,1 | melanzane ciclo lungo | 0,356 |
| 7 | angurie e peperoni | 0,749 |
| 6,2 | pomodori ciclo lungo | 0,506 |
| 4 | zucchini e zucchini | 0,547 |
| 4 | cetrioli ciclo lungo | 0,286 |
| 3,2 | meloni e cetrioli | 0,561 |

Tabella 5.6: Coltivazioni e relativo fabbisogno idrico (Elaborazione propria)

Il fabbisogno medio è stato ricavato riportando a 100 la percentuale totale delle coltivazioni dato che nella tabella si esclude il contributo delle coltivazioni precedentemente indicate come “Altri” pari al 20,7% del quale non si conosce l'effettivo fabbisogno. In questo modo si ricava un fabbisogno idrico annuo medio pari a $0,546 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

Anche il costo dell'acqua risparmiata è stato calcolato su una coltivazione ideale che rispecchia la media ponderata dell'acqua raccolta che verrà effettivamente usata per scopo irriguo dalle singole coltivazioni dato che, come visto in precedenza, una parte verrà reimpressa in falda.

Utilizzando i dati precedentemente ricavati si ottiene:

| Percentuale acqua raccolta utilizzata nell'irrigazione | | | |
|---|--|--|----------|
| Coltivazione | m^3/m^2 annui raccolti | m^3/m^2 annui utilizzati | % |
| peperoni ciclo lungo | 0,182 | 0,161 | 88 |
| meloni e peperoni | | 0,169 | 92 |
| melanzane ciclo lungo | | 0,159 | 87 |
| angurie e peperoni | | 0,152 | 83 |
| pomodori ciclo lungo | | 0,174 | 96 |
| zucchini e zucchini | | 0,179 | 98 |
| cetrioli ciclo lungo | | 0,122 | 67 |
| meloni e cetrioli | | 0,174 | 95 |

Tabella 5.7: Percentuale acqua raccolta utilizzata nell'irrigazione (Elaborazione propria)

Conoscendo la percentuale con la quale sono distribuite le coltivazioni nel Campo di Dalías si può ricavare tramite media ponderata la quantità d'acqua utilizzata a scopo irriguo da una coltivazione ideale che sarà pari a $0,162 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

In questo modo si può calcolare il costo dell'acqua risparmiata considerando una serra di dimensione pari a 15911 m^2 ed un costo dell'acqua pari a $0,42 \text{ €/m}^3$.

In questo modo si ricava:

$$C_{acqua\ risparmiata} = 0,162 \cdot 15911 \cdot 0,42 \simeq 1080 \text{ €/anno}$$

Dai dati storici per la Regione Andalusia si può notare che negli ultimi 12 anni il prezzo dell'acqua è aumentato, in media, del 3,89% annuo (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía 2017).

Il seguente grafico mostra l'andamento del costo di un m³ d'acqua nella Provincia di Almeria nell'intervallo di tempo tra il 2002 ed il 2017.

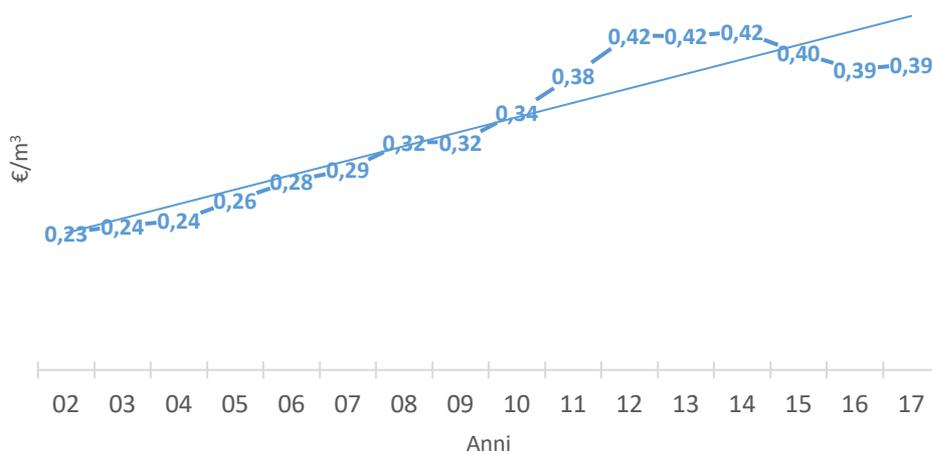


Grafico 5.10: Evoluzione dei prezzi dell'acqua in campo agricolo in Almeria (Elaborazione propria)

Si può osservare un trend nettamente crescente nonostante l'apparente stabilizzazione negli ultimi 5 anni. Si ipotizza che, come sostenuto nei Report delle Nazioni Unite e non solo, l'acqua sarà sempre di più un bene prezioso e scarso negli anni futuri. Di conseguenza, l'approccio utilizzato nella seguente ACB considererà due casi nei quali, durante il ciclo vita del sistema di RWH, i costi saranno attualizzati considerando un tasso di inflazione annuo pari alla media dei tassi ricavata nel periodo 2002-2017 pari all'2,05% (Worldwide Inflation Data 2017) ed i benefici, derivanti unicamente dal risparmio monetario garantito dalla riduzione dell'approvvigionamento idrico dalla rete, saranno attualizzati sia secondo il *trend* calcolato in precedenza, considerando un aumento annuo del prezzo del m³ d'acqua pari al 3,89%, sia, in un'ipotesi più cautelativa, considerando un aumento pari al tasso di inflazione precedente pari al 2,05% annuo.

I costi iniziali C_0 sono pari solamente all'installazione del sistema di RWH. I costi ed i benefici sono stati attualizzati con le seguenti relazioni:

$$C = C_0 + (C_{mo} + C_{ms}) \cdot (1 + r)^k$$

$$B = B_k \cdot (1 + r)^k$$

Con C_{mo} = costi di manutenzione ordinaria

C_{ms} = costi di manutenzione straordinaria

r = inflazione/tasso di aumento del prezzo dell'acqua

k = scadenza temporale

In questo modo è stato possibile stimare il valore delle uscite e degli ingressi nel momento temporale nel quale verranno sostenute.

Successivamente si sono ricavati i costi ed i benefici totali a 20 anni, fine della vita utile del progetto, ed è stato possibile calcolarne il conseguente rapporto B/C:

| Costi e benefici totali a 20 anni | | |
|--|---------------------|------------|
| Costi [€] | Benefici [€] | B/C |
| 11740 | 33033 | 2,8 |
| 11740 | 26913 | 2,3 |

Tabella 5.8: Costi e benefici totali a 20 anni (Elaborazione propria)

Un investimento è considerato favorevole se il rapporto B/C è maggiore di 1 perciò, con questa prima analisi, l'installazione del sistema di RWH risulta un investimento conveniente.

Nella seguente tabella si riportano i costi ed i benefici cumulati ricavati dalle assunzioni fatte in precedenza:

| Anno | Costi cumulati [€] | Benefici cumulati [€] | Benefici cumulati [€] |
|-------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | r = 2,05% | r = 3,89% | r = 2,05% |
| 0 | 5250 | | |
| 1 | 5454 | 1122 | 1102 |
| 2 | 5662 | 2288 | 2227 |
| 3 | 5875 | 3499 | 3375 |
| 4 | 6092 | 4757 | 4546 |
| 5 | 6645 | 6064 | 5741 |
| 6 | 6871 | 7422 | 6961 |
| 7 | 7102 | 8832 | 8206 |
| 8 | 7337 | 10298 | 9476 |
| 9 | 7937 | 11821 | 10773 |
| 10 | 8182 | 13402 | 12096 |
| 11 | 8432 | 15046 | 13446 |
| 12 | 8687 | 16753 | 14824 |
| 13 | 9338 | 18527 | 16230 |
| 14 | 9604 | 20370 | 17665 |
| 15 | 9875 | 22284 | 19129 |
| 16 | 10152 | 24273 | 20623 |
| 17 | 10858 | 26339 | 22148 |
| 18 | 11146 | 28486 | 23704 |
| 19 | 11440 | 30716 | 25292 |
| 20 | 11740 | 33033 | 26913 |

Tabella 5.9: Costi e benefici cumulati (Elaborazione propria)

Graficando i dati della precedente tabella si può ricavare il punto di incontro tra la linea dei costi e quella dei benefici che rappresenta il Break Even Point (BEP), esso rispecchia il punto di pareggio ossia il momento nel quale i benefici coprono totalmente i costi.

Break Even Point

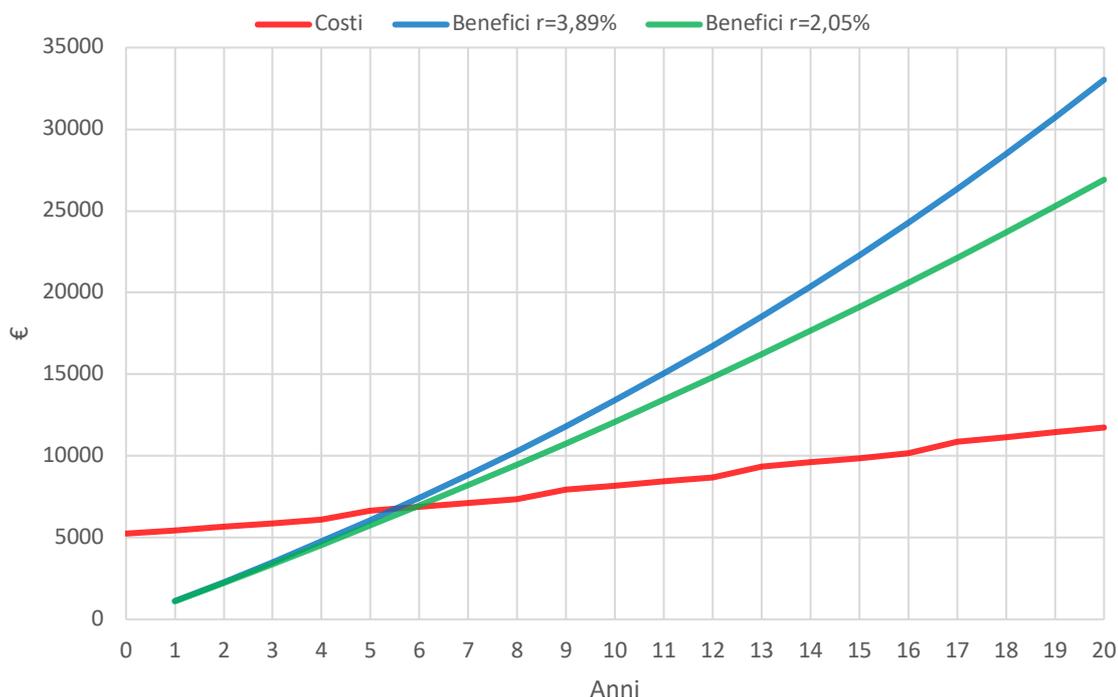


Grafico 5.11: Break Even Point (Elaborazione propria)

Come si può osservare dal grafico, il BEP, in entrambi i casi, si situa tra i 5 ed i 6 anni dall'inizio dell'investimento; si può quindi affermare che, nel caso più favorevole, nel quale si stima un aumento costante del prezzo dell'acqua del 3,89% annuo, l'investimento viene recuperato nel quinto anno di vita del progetto. Mentre, nella situazione più cautelativa, nella quale il prezzo dell'acqua cresce parallelamente al tasso di inflazione e cioè del 2,05% annuo, l'investimento sarà recuperato sempre nel quinto anno di vita del progetto ma successivamente.

I valori ricavati garantiscono perciò che, in entrambi i casi, l'investimento risulta conveniente però, per avere un'ulteriore parametro di valutazione si può calcolare, alla fine dei 20 anni, il valore monetario dell'utile risultante dalla differenza tra i costi totali ed i benefici totali (che rappresentano i ricavi) e determinare la percentuale di risparmio data dall'installazione del sistema di RWH.

Si può quindi osservare che:

$$\sum_{i=1}^{20} B_{r=3,89\%} - \sum_{i=1}^{20} C_{r=2,05\%} = 21292 \text{ €}$$
$$\sum_{i=1}^{20} B_{r=2,05\%} - \sum_{i=1}^{20} C_{r=2,05\%} = 15173 \text{ €}$$

Per la coltivazione ideale considerata, se non fosse stato installato il sistema di RWH e fosse stata utilizzata l'acqua proveniente dalla tradizionale rete idrica, considerando la variabilità precedente del prezzo dell'acqua, l'impresa, per garantire l'irrigazione delle coltivazioni, avrebbe speso un ammontare che varia tra gli 89097 € e i 107531 € rispettivamente per lo scenario nel quale il prezzo dell'acqua aumenta annualmente del 2,05% e del 3,89%.

In questo modo si può concludere che l'installazione del sistema di RWH garantisce, in un periodo considerato di 20 anni, un risparmio variabile tra il 17% ed il 20% dei costi che sarebbero stati sostenuti altrimenti per l'approvvigionamento idrico.

I risultati sono promettenti e, supponendo che le ipotesi fatte in precedenza siano corrette, si può considerare l'installazione del sistema di RWH un investimento conveniente.

6 Conclusioni e raccomandazioni

I problemi di scarsità idrica sono una delle maggiori sfide del Campo di Dalías. Molti fattori come una politica locale non abbastanza presente ed una mancanza di iniziative da parte di settori pubblici e privati stanno contribuendo ad aggravare questa situazione, diminuendo la qualità delle coltivazioni e sfavorendo gli investimenti nella zona. La raccolta dell'acqua piovana è una soluzione che vale la pena esplorare; anche se non si pone l'obiettivo di risolvere il problema della scarsità idrica, può essere usato come complemento per alleviare le necessità in molte aree.

Il rainwater harvesting consiste nel raccogliere le precipitazioni dai tetti delle serre ed immagazzinarle in appositi depositi di stoccaggio. I tetti possono avere particelle ed agenti patogeni che potrebbero contaminare l'acqua che però non sono un problema se l'acqua raccolta viene usata esclusivamente per scopo agricolo dato che il principale problema è la salinizzazione, della quale l'acqua piovana è praticamente priva. Ciò non esclude l'importanza di realizzare periodicamente una manutenzione al sistema di canalizzazione ed ai depositi di raccolta soprattutto in preavviso delle prime forti precipitazioni annue, periodo nel quale le infrastrutture saranno maggiormente contaminate.

La domanda idrica del Campo di Dalías, al giorno d'oggi, è quantificabile con 140 hm³ annui e la scarsità d'acqua è così grave principalmente perché le infrastrutture per l'estrazione non hanno saputo accogliere adeguatamente la domanda idrica sempre crescente durante i periodi di intenso sviluppo economico. Sebbene siano state proposte molte iniziative come la costruzione di invasi e di impianti di dissalazione che hanno garantito una fornitura idrica supplementare di oltre 30 hm³ annui tuttavia, il processo per affrontare correttamente il problema è ancora in fase di sviluppo dato che il problema non risiede solamente nella mancanza di risorse ma è dovuto soprattutto ad una cattiva gestione di quest'ultime.

La raccolta dell'acqua piovana è una soluzione che potrebbe dare agli utenti una certa indipendenza dall'elevato prezzo dell'acqua proveniente dagli impianti di dissalazione che al giorno d'oggi ammonta a 0,52 €/m³, prezzo variabile al quale gli agricoltori sono obbligati a sottostare dato che non hanno alternativa di fornitura.

L'installazione del sistema di RWH su tutto il territorio potrebbe potenzialmente garantire un volume d'acqua annuo quantificabile con 37,9 hm³. Tuttavia, una forte limitazione dei sistemi di raccolta d'acqua piovana è il fatto che sono molto dipendenti dalla quantità di precipitazioni che cade durante tutto l'anno. Siccità, cambiamenti climatici e modelli di precipitazioni variabili rendono questo sistema incerto e questo è il motivo per cui è consigliato utilizzare questo sistema solamente come complemento ad altre soluzioni.

Il progetto ha una convenienza variabile a seconda delle coltivazioni presenti nelle diverse serre; in ogni caso, si è visto come l'utilizzo dell'acqua piovana copre gran parte del fabbisogno idrico annuale garantendo un risparmio tra il 20% e il 45% sulle attuali estrazioni. Inoltre il sistema garantisce una migliore gestione dell'acqua durante gli eventi pluviometrici garantendo più sicurezza per le strutture ed infrastrutture oltre che indirizzare l'acqua superflua verso la naturale ricarica della falda evitando perdite per evaporazione e scorrimento superficiale.

Il periodo di ritorno dell'investimento ricavato nei due casi proposti nell'ACB avviene nei primi 5 anni, valore inferiore a quello di progetto stimato pari a 20 anni; perciò i risparmi derivanti dall'utilizzo dell'acqua piovana, incidendo sulla fornitura dalla rete tradizionale, rendono vantaggioso l'investimento iniziale. Il risparmio finale che viene garantito è quantificabile tra i 15173 € ed i 21292 €, ciò attesta una riduzione dei costi che sarebbero stati sostenuti se non fosse stato installato il sistema di RWH che varia tra il 17% ed il 20%. Ciò significa che, sebbene l'investimento iniziale potrebbe considerarsi elevato, i risparmi che ne derivano sono ancora più alti. Questo tipo di progetto mira ad alleviare le condizioni di scarsità idrica di tutta la zona in modo da garantire sia un normale

sfruttamento delle falde sotterranee sia una quantità d'acqua extra che produce un risparmio per il mancato utilizzo dell'acqua desalinizzata che possiede un costo decisamente più elevato.

Naturalmente, progetti come questo non possono essere analizzati solo da una prospettiva finanziaria per determinare la loro fattibilità; i fattori ambientali e le condizioni sociali giocano un ruolo importante nel processo di analisi della redditività di un progetto. L'analisi TBL integrata con l'analisi SWOT è un buon modo per analizzare un progetto da una prospettiva più ampia. Il quadro presentato dall'analisi TBL mostra che, a volte, benefici ambientali e sociali possono avere maggior importanza dei benefici economici di un'iniziativa. Le necessità d'acqua possono essere così elevate ed i benefici per una zona così grandi da non poter essere misurati da strumenti finanziari. L'idea di installare sistemi di raccolta delle acque piovane nelle aree del Campo di Dalías non è una risposta permanente per la scarsità idrica, tuttavia allevia una necessità immediata e migliora la qualità generale della gestione idrica locale.

Questo tipo di soluzione, in questa ricerca analizzata a livello relativamente locale, potrebbe essere implementata su larga scala in tutta la Provincia di Almería se non in tutta la Regione Andalusia. AcuaMed, responsabile della fornitura di acqua per i cittadini della Regione, potrebbe sponsorizzare e promuovere questa tecnologia per garantire una migliore copertura ed efficienza del progetto.

Bibliografía e sitografía

- Dirección General de la Oficina Española de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. 2008.
- AcuaMed. *Desalación. Solución al déficit hídrico del Campo de Dalías*. Balerna, Almería, s.d.
- AcuaMed. «Informe Anual.» 2016, 1-216.
- AcuaMed. «Informe de viabilidad de la actuación 1.1a Desalación y obras complementarias para el Campo de Dalías (Almería).» Madrid, Madrid, 2006, 1-39.
- AcuaMed. «Planta desaladora de Campo de Dalías (Almería).» s.d., 1-2.
- *Almería Hoy*. 26 Aprile 2017.
<http://www.almeriahoy.com/2017/04/nueva-ordenanza-para-controlar-los.html> (consultato il giorno Gennaio 25, 2018).
- AM Online Projects. *Clima: Almería*. A. Merkel. 2018. <https://es.climate-data.org/location/2150/> (consultato il giorno Gennaio 24, 2018).
- ASAJA Almería. *La subida del nivel de la Balsa del Sapo amenaza los invernaderos de las Norias en Almería*. 02 Settembre 2016.
<http://www.agroprecios.com/es/noticias/3403-la-subida-del-nivel-de-la-balsa-del-sapo-amenaza-los-invernaderos-de-las-norias-en-almeria>
(consultato il giorno Gennaio 25, 2018).
- Attari, Shaheen Z. «Perceptions of water use.» *PNAS*, n. 111 (Gennaio 2014): 5129-5134.

- Bafdal, N., S. Dwiratna, D. Rustam Kendaro, e E. Suryadi. «Rainwater Harvesting As a Technological Innovation to Supplying Crop Nutrition through Fertigation.» *international journal on advanced science engineering information technology*, 2017.
- Becerra-Tolon, Alfredo, e Xavier Lastra-Bravo. «La agricultura intensiva del poniente almeriense. Diagnóstico e instrumentos de gestión ambiental.» *M+A*, Maggio 2010: 8-18.
- Beckers, Brian, Jonas Berking, e Brigitta Schütt. «Ancient Water Harvesting Methods in the Drylands of the Mediterranean and Western Asia.» A cura di eTopoi. (Gerd Graßhoff e Michael Meyer) Settembre 2013: 1-22.
- Bengoechea, J. M., J. Perez, J. Perez-Parra, e J. G. Lopez. « Evaluación de las pérdidas de agua de Riego en el Campo de Dalías, Almería.» *III Symposium sobre el agua en Andalucía. Córdoba, Spain*, 1991.
- Biazin, B., G. Sterk, M. Temesgen, A. Abdulkedir, e L. Stroosnijder. «Rainwater harvesting and management in rainfed agricultural systems in sub-Saharan Africa – A review.» *Elsevier*, 2012: 139-151.
- Braga Alarcón, Juan C., José Baena Pérez, e José Calaforra Chordi. *Geología del entorno árido almeriense*. Rodalquilar, Almeria: Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, 2007.
- Cajamar. *Dosis de riego para los cultivos hortícolas bajo invernadero en Almería*. Segunda edizione. El Ejido, Almeria: Estacion Experimental Cajamar, 2005.
- Campra, P., M. Garcia, Y. Canton, e A. Palacios-Orueta. «Surface temperature cooling trends and negative radiative forcing due to land use change toward greenhouse farming in southeastern Spain.» *JGR* 113 (Settembre 2008): 1-10.

-
- Cellamare, Daniele. *L'acqua. Una risorsa strategica, una minaccia alla stabilità*. Rivista Militare, 2009.
 - Cerrillo López, Manuel I., Sara Jorroto Zaguirre, e María Dolores López Rodríguez. *Acuíferos Poniente: un tesoro oculto bajo tus pies*. A cura di Manuel I. Cerrillo López, Sara Jorroto Zaguirre, & María Dolores López Rodríguez. Siviglia, Siviglia: Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 2009.
 - Cobos Lucena, B., T. Gordillo Manrique, e J. D. Alfayate Iranzo. *Plan del sector hortícola de Almería*. Vol. II. Almería, Almería: Consejería de Agricultura y Pesca, 2003.
 - Comune di El Ejido. *Ordenanza de invernaderos y su entorno. Area de agricultura y medio ambiente*. El Ejido, 2017.
 - Corell, D. «Fog and rain water chemistry in the western Mediterranean basin (Valencia region, Spain).» 25 Luglio 2010.
 - Dallman, S., A. M. Chaudhry, M. K. Muleta, e J. Lee. «The Value of Rain: Benefit-Cost Analysis of Rainwater Harvesting Systems.» *Springer Science*, 2016: 4415-4429.
 - Domínguez Prats, Patricia. *Estado actual del Sur de la Sierra de Gador - Campo de Dalías*. La Mojonera, Almería, 2014.
 - Dominguez Prats, Patricia, Angel Gonzalez Asensio, e Pedro A. Franqueza Montes. *Situación actual de los acuíferos del Campo de Dalías. Un ejemplo de la necesidad de conocer el estado actualizado del funcionamiento en un sistema complejo intensamente explotado*. Almería, Almería, 2000.
 - Dominguez-Prats, P. *Situación actual de los acuíferos de Almería: referencia a los acuíferos del sur de la Sierra de Gador - Campo de Dalías*. A cura di IGME. Almería, Almería, 2016.

- Domínguez-Prats, Patricia, Angel González-Asensio, Pedro Antonio Franqueza-Montes, e José Juárez- García. *Avance de la actualización hidrogeológica general del Sistema de Sierra de Gádor (Almería) destacando el subsistema meridional ("Campo de Dalías") en apoyo a su gestión*. Almería, Almería: IGME, s.d.
- DWC. *Electric Conductivity Meters*. s.d. <http://www.dwc-water.com/technologies/others/water-quality-tester/index.html>.
- EEA. «Towards efficient use of water resources in Europe.» *European Environment Agency Report*, n. 1 (Marzo 2012).
- Electricity Map. s.d. <https://www.electricitymap.org/?wind=false&solar=false&page=country&countryCode=ES> (consultato il giorno Gennaio 24, 2018).
- Fernández, M. D., R. B. Thompson, S. Bonachela, M. Gallardo, e M. R. Fundación Cajamar y Universidad de Almería Granados. «Uso del agua de riego en los cultivos en invernadero.» *Cuadernos de estudios agroalimentarios*, Luglio 2012: 1-24.
- Ferrer, Invernaderos. *Progetti integrali per l'agricoltura moderna*. s.d. https://www.invernaderosferrer.com/it/invernaderos_cubierta_simetrica.aspx.
- Font, Nuria, e Joan Subirats. «Water Management in Spain: the Role of Policy Entrepreneurs in Shaping Change.» (*Ecology & Society*) 2010: 1-14.
- Francesco, Papa. *Laudato si'*. Città del Vaticano: Libreria Editrice Vaticana, 2015.
- FuturENVIRO. *Proyectos, Tecnología y Actualidad Medioambiental*. 2015.

-
- García Rodríguez, Manuel. *Propuesta sobre recogida de pluviales comité comarcal de COAG Almería en El Ejido-Dalias al Ayuntamiento de El Ejido*. A cura di COAG. Vicar, Almería, s.d.
 - Gonzalez Asensio, A., e P. Dominguez Prats. *Sintesis Hidrogeologica del Campo de Dalias (Almería). Propuesta de primeras actuaciones de investigacion y gestion*. 1989.
 - Gould, John, e R.N. Petersen. *Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, construction and implementation*. Intermediate Technology Publications, 1999.
 - GSE. *Rapporto Statistico UE 27 Settore elettrico*. 2010.
 - Hernández-Mora, Nuria. *Guía: Nueva Cultura del Agua*. Fundacion Nueva Cultura del Agua. s.d. <https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/presentacion-de-la-guia/la-guia-nueva-cultura-del-agua> (consultato il giorno Gennaio 24, 2018).
 - Hutton, G., e L. Haller. *Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation Improvements at the Global Level. Water, Sanitation, and Helath Protection of the Human Environment, WHO*. A cura di WHO. Ginevra, 2004.
 - IESA. *Jurado ciudadanos sobre el agua*. Almería, Almería, 2008.
 - INNOVAGRI. *Innovando en el medio rural*. 20 Gennaio 2016. <http://www.innovagri.es/comunidad/la-recogida-de-pluviales-se-impone-en-el-mar-de-plastico-de-almeria.html> (consultato il giorno Gennaio 24, 2018).
 - Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. *Índice de Precios de Consumo*. 2017. <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/iea/detalleDatosDia.jsp?cod=1371&ram=D> (consultato il giorno Febbraio 08, 2017).

- Instituto Nacional de Estadística. *Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero*. 2017.
<http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2857> (consultato il giorno Gennaio 24, 2018).
- Interempresas. *Horticultura*. 20 Febbraio 2015.
<http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/133520-Sera-una-realidad-el-control-biologico-por-conservacion-en-los-invernaderos-de-Almeria.html> (consultato il giorno Gennaio 24, 2018).
- Invernaderos Ferrer. *Invernaderos Ferrer*. s.d.
https://www.invernaderosferrer.com/en/invernaderos_multitunel.aspx (consultato il giorno Gennaio 25, 2018).
- La Calle Marcos, Abel, e Francisco Javier Martínez Rodríguez. *La Balsa del Sapo. Una realidad obstinada*. Vol. 10. Cuides, 2013.
- Lang, Bernhard. *Behance*. 7 Gennaio 2015.
<https://www.behance.net/gallery/22272681/AERIAL-VIEWS-MAR-DEL-PLASTICO> (consultato il giorno Febbraio 27, 2018).
- Li, F., S. Cook, G. T. Geballe, e W. R. Burch Jr. «Rainwater Harvesting Agriculture: An Integrated System for Water Management on Rainfed Land in China's Semiarid Areas.» *BioOne*, 2000: 477-483.
- Liang, X., e M. P. van Dijk. «Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing.» *Elsevier*, 2011: 1100-1108.
- Lopez, Sergio Contreras. *Distribucion espacial del balance hidrico anual en regiones montañosas semiaridas. Aplicacion en Sierra de Gador (Almeria)*. Editorial Universidad de Almería, 2006.

-
- Luis Valera Martínez, Diego, Luis Jesús Belmonte Ureña, Francisco Domingo Molina Aiz, e Alejandro López Martínez. *Los invernaderos de Almería Análisis de su tecnología y rentabilidad*. Cajamar Caja Rural, 2014.
 - López Pérez, R., M. Lorbach Kelle, Polonio Baeyens D., e T. Manrique Gordillo. *Cuantificación de los costes de una explotación de invernaderos*. Almeria, Almeria, 2015.
 - López, J.C., A Baille, S. Bonachela, J.I Montero, M.M. González-Real, e Pérez-Parra J. *Consumos de energía en invernaderos multitúnel en la Región de Almería. Comparación de dos sistemas de calefacción*. Cajamar, 2005.
 - Lupia, F., V. Baiocchi, K. Lelo, e G. Pulighe. «Exploring Rooftop Rainwater Harvesting Potential for Food Production in Urban Areas.» *Agriculture*, 2017.
 - Martínez Alvarez, V., A. Baille, J. M. Molina Martínez, e M. M. Gonzalez-Real. «Effect of black polyethylene shade covers on the evaporation rate of agricultural reservoirs.» *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2006: 280-288.
 - Martínez Guzman, M. N. *Tecnologías para el uso sostenible del agua. Una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático*. FAO, 2013.
 - Martínez Rodríguez, J. *Estudio de la huella energética del abastecimiento urbano e agua e la Provincia de Almería*. Almeria, 2011.
 - Martínez, Diego Luis Valera. *Greenhouse agriculture in Almería. A comprehensive techno - economic analysis*. Cajamar Caja Rural. Cajamar Caja Rural, s.d.
 - Meteo Blue. *meteoblue history+ data*. 24 Gennaio 2018.
<https://www.meteoblue.com/>.

- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, a cura di. *Avance de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero correspondientes al año 2016*. Madrid, Madrid, 2016.
- Montes, Eduardo. *Balance energetico 2016 y perspectivas 2017*. Madrid, Madrid, 2017.
- Mora Aliseda, J. *La Importancia de los Recursos Hídricos en los Usos del Suelo en la Península Ibérica* . s.d.
- Mora, Consuelo. *Planificación y gestión de los recursos hídricos en España*. 29 Settembre 2013. <https://www.iagua.es/blogs/consuelo-mora/planificacion-y-gestion-de-los-recursos-hidricos-en-espana> (consultato il giorno Gennaio 25, 2018).
- Morote Seguido, Álvaro Francisco. «La planificación y gestión de los recursos hídricos en España: aproximación a los principales grupos y líneas de investigación.» *Investigaciones Geográficas*, n. 62 (Luglio 2014): 113-125.
- Nebbia, Giorgio, e Gabriella Menozzi Nebbia. *Breve storia della dissalazione*. 2009.
- Ngigi, S. N., H. H. G. Savenije, e F. N. Gichuki. «Land use changes and hydrological impacts related to up-scaling of rainwater harvesting and management in upper Ewaso Ng'iro river basin, Kenya.» *Elsevier*, 2007: 129-140.
- Nijhof, Saskia, Basja Jantowski, Robert Meerman, e Ard Schoemaker. «Rainwater harvesting in challenging environments: towards institutional frameworks for sustainable domestic water supply.» *Practical Action Publishing* IXXX, n. 3 (Luglio 2010): 209-219.
- Ordóñez Fernández, Antonio. *El agua en Almería. Análisis, problemas y soluciones*. Almería, Almería, 2017.

-
- Pacey, Arnold, Cullis, e Adrian. *Rainwater harvesting : the collection of rainfall and run-off in rural areas*. Londra, 1986.
 - Perez del Castillo, Carlos. *Wake up before it is too late: Make agriculture truly sustainable now for food security in a changing climate*. United Nations Publications, 2013.
 - Peters, Jean Jaques. *Social, Political & Institutional Aspects of Water Resources Engineering and Management*. s.d.
 - Pulido Bosch, A. *La explotación de las aguas subterráneas y su implicación en la desertización*. Almeria, Almeria, 2000.
 - Ricardo Calzadilla, M. P., M. Méndez Fernández, e C. Bonet Pérez. «Evaluación de la eficiencia de la captación de agua de lluvia en casas de cultivos.» *Revista ingeniería agrícola*, 2015: 3-9.
 - Ricart Casadevall, Sandra. *Las miradas del agua en la gestión integrada de los recursos hídricos*. 11 12 2012. <https://www.iagua.es/blogs/sandra-ricart/las-miradas-del-agua-en-la-gestion-integrada-de-los-recursos-hidricos> (consultato il giorno Gennaio 25, 2018).
 - Rodríguez, Manuel García. *Propuesta sobre recogida de pluviales comité comarcal de COAG Almeria en El Ejido - Dalias al Ayuntamiento de El Ejido*. Vicar, Almeria: COAG Almeria, s.d.
 - Rozaki, Z., M. Senge, e K. Yoshiyama. «Feasibility and adoption of rainwater harvesting by farmers.» *Reviews in Agricultural Science*, 2017: 56-64.
 - Sánchez, J.A., J. Reza, e J. Martínez. «Irrigation water management in a Mediterranean greenhouse district: irrigation adequacy assessment. Irrigation and Drainage.» *Irrigation and Drainage*, Aprile 2015.

- Salazar-Moreno, Raquel, Abraham Rojano-Aguilar, e Irineo Lorenzo López-Cruz. «La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada.» *Tecnología y Ciencias del Agua* V, n. 2 (Marzo 2014): 177-183.
- Salinas Andujar, José Antonio. *Los recursos hidricos de Almeria*. Almeria, Almeria, s.d.
- Sancho, Elio. *Los invernaderos de Almería luchan contra los efectos del cambio climático*. 13 Dicembre 2015.
http://www.diariodealmeria.es/finanzasyagricultura/invernaderos-Almeria-luchan-efectos-climatico_0_980302046.html (consultato il giorno Gennaio 25, 2018).
- Sanjuan-Delmás, D., E. Sanyé-Mengual, X. Gabarrell Durany, e A. Josa. «Application of rainwater harvesting to rooftop greenhouse: a case study from Barcelona.» 2014: 1-2.
- Sueiras, José Colino, e José Miguel Martínez Paz. «El agua en la agricultura del sureste español: productividad, precio y demanda.» *Coleccion Mediterraneo Economico: "La agricultura mediterranea en el siglo XXI"* (Caja Rural Intermediterranea), n. 2 (2002): 1-23.
- TeHagoEco. *Huella de Carbono en Almeria (I) - Reparto Territorial*. 07 Ottobre 2013. <http://www.tehagoeco.com/huella-de-carbono-en-almeria-i-reparto-territorial/> (consultato il giorno Gennaio 25, 2018).
- Thompson, R.B., C. Martínez-Gaitana, M. Gallardo, Giménez C., e M.D. Fernández. «Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey.» *Elsevier* LXXXVIII, n. 3 (Maggio 2007): 261-274.

-
- Tolón Becerra, Alfredo, e Xavier Lastra Bravo. «La agricultura intensiva del Poniente Almeriense. Diagnóstico e instrumentos de gestión ambiental.» *Revista Electronica de Medioambiente*, Maggio 2010: 1-22.
 - Tran, Michael, Koncagul Engin, e Richard Connor. *Rapporto 2016 delle Nazioni Unite sullo sviluppo delle risorse idriche mondiali*. 2016.
 - UE. «Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.» *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, Diciembre 2000: 1-73.
 - Ufficio Municipale del Turismo di Berja. *Beníñar Reservoir*. s.d. <http://www.dipalme.org/Servicios/Informacion/Informacion.nsf/referencia/Ayuntamiento+de+Berja+Ayto.Berja+029-IF-bigriver> (consultato il giorno Gennaio 25, 2018).
 - UN. *Agenda 2030*. 2015.
 - UN. *COP 21*. Parigi, 2015.
 - UN. *Sustainable Development Goals*. 2015. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (consultato il giorno Gennaio 25, 2018).
 - Vega, Maria. *España se enfrenta a muchas millonarias tras reducir la inversión hídrica en hasta un 90%*. 26 Novembre 2017. <http://www.elmundo.es/economia/macroeconomia/2017/11/26/5a1889ae46163f981e8b456e.html> (consultato il giorno Gennaio 25, 2018).
 - Velazquez Andres, Jose M., e A. Estebaranz Berzal. *Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático*. 2007.
 - WERF. *User's Guide to the BMP and LID Whole Life Cost Models*. 2009.

- Woltersdorf, L., S. Liehr, e P. Döll. «Rainwater Harvesting for Small-Holder Horticulture in Namibia: Design of Garden Variants and Assessment of Climate Change Impacts and Adaptation.» *Water*, 2015: 1402-1421.
- Worldwide Inflation Data. *Inflazione storica Spagna - inflazione CPI*. 2017. <http://it.inflation.eu/tassi-di-inflazione/spagna/inflazione-storica/cpi-inflazione-spagna.aspx> (consultato il giorno Febbraio 08, 2017).
- Zhao, X. N., P. T. Wu, H. Feng, Y. K. Wang, e H. B. Shao. «Towards Development of Eco-Agriculture of Rainwater- Harvesting for Supplemental Irrigation in the Semi-Arid Loess Plateau of China.» *J. Agronomy & Crop Science*, 2009.

Questa tesi rispetta l'ambiente

È stampata su carta ecologica Favini Shiro Alga ricavata dall'unione di alghe in eccesso provenienti da ambienti lagunari a rischio della Laguna di Venezia con fibre FSC