

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea Magistrale in
Scienze e Tecnologie Agrarie

Confronto di diverse gestioni e sistemi irrigui per le
principali colture nell'ambito territoriale del
Consorzio di bonifica Piave

Relatore: Ch.ma Prof.ssa **Lucia Bortolini**

Correlatore: Dott. **Eros Borsato**

Laureando/a:

Luca Rosso

Matricola: 2021164

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Indice

Indice	2
Riassunto	4
Abstract	5
1. Introduzione	6
1.1 Effetti del cambiamento climatico	6
1.2 Gestione idrica e ruolo dei consorzi	7
1.3 I metodi irrigui	8
1.4 Irrigazione e bilancio idrico	11
2. Obiettivi della tesi.....	15
3. Materiali e metodi.....	16
3.1 Inquadramento territoriale e struttura pedologica	16
3.2 Dati climatici	19
3.3. Uso del suolo	21
3.4 Il modello Aquacrop	22
3.4.1 Importazione dati.....	24
3.4.2 Simulazioni	27
3.5 Elaborazione dati	29
4. Risultati.....	32
4.1 Analisi climatiche	32
4.2 Analisi delle simulazioni per coltura e sistema irriguo	34
4.2.1 Mais - irrigato con il metodo a scorrimento.....	34
4.2.2 Mais - irrigato con il metodo ad aspersione	38
4.2.3 Mais - irrigato con il metodo a goccia.....	39
4.2.4 Soia – irrigata con il metodo a scorrimento	40
4.2.5 Soia – irrigata con il metodo ad aspersione.....	43
4.2.6 Vite – irrigata con il metodo a goccia	45
4.2.7 Radicchio – irrigato con il metodo ad aspersione	47
4.3 Confronto tra sistemi irrigui	50
4.3.1 Mais – confronto fra irrigazione a scorrimento, ad aspersione e a goccia.....	50
4.3.2 Soia – confronto fra irrigazione ad aspersione e scorrimento	53
4.4 Confronti aziendali	56
4.4.1 Mais irrigato ad aspersione	56

4.4.2 Mais irrigato a scorrimento	57
4.4.3 Soia irrigata ad aspersione	58
4.4.4 Soia irrigata a scorrimento	59
4.4.5 Vite irrigata a goccia	60
4.4.6 Radicchio irrigato ad aspersione	61
5. Conclusioni.....	62
6. Bibliografia.....	63
7. Sitografia	65

Riassunto

Il cambiamento climatico degli ultimi anni ha influenzato tutto il mondo, soprattutto per l'innalzamento delle temperature. In particolare, nella zona della pianura padana, il clima si sta modificando sempre più rispetto all'andamento tipico del passato, con lunghi periodi di siccità, soprattutto in estate, che influenzano le colture presenti nel territorio e costringono gli agricoltori ad utilizzare o rivedere i metodi irrigui che sono stati usati finora.

Il Consorzio di bonifica Piave, che gestisce la rete idrica presente nel bacino idrico del fiume Piave, sta conducendo degli studi per valutare l'efficacia dei propri sistemi irrigui e delle diverse turnazioni rese disponibili nel territorio. Per fare ciò, ci si è avvalsi del software *Aquacrop* sviluppato dalla FAO, che permette di simulare la funzionalità di diverse gestioni e sistemi irrigui in modo da confrontare le varie tesi per valutare quale metodo risulti più efficace per l'irrigazione di determinate colture. In particolare, sono state considerate le principali colture dell'alta pianura trevigiana: mais, soia, vite e radicchio.

Sulla base dei dati climatici forniti da ARPAV per la stazione di Villorba e dei dati pedologici raccolti dal portale AVEPA, dopo la taratura del programma per le quattro colture di interesse, sono state condotte delle simulazioni che hanno riguardato principalmente metodi di irrigazione a scorrimento e a pioggia, ma anche l'irrigazione a goccia. Sono stati eseguiti due set di simulazioni: uno relativo al massimo apporto idrico fornito dal consorzio del Piave a seconda dei turni disponibili per metodo irriguo (ogni 8 giorni per l'irrigazione a scorrimento e a goccia; ogni 10 per l'irrigazione a pioggia), uno sulle effettive irrigazioni effettuate dai vari agricoltori durante la stagione. Per sviluppare questo secondo set è stato necessario sottoporre dei questionari alle aziende locali analizzandone le abitudini irrigue.

I risultati hanno messo in evidenza innanzitutto come il particolare andamento climatico dell'annata 2022 rispetto ai cinque anni precedenti abbia causato diverse problematiche nella gestione irrigua delle colture dell'alta pianura trevigiana. Allo stesso tempo però si è potuto osservare che mediante una corretta e attenta gestione degli interventi irrigui è stato possibile salvaguardare le produzioni delle varie colture, indipendentemente dal metodo irriguo utilizzato.

Abstract

Climate change in recent years has affected the entire world, especially due to rising temperatures. In particular, in the area of the Po Valley, the climate is changing more and more compared to the typical trend of the past, with long periods of drought, especially in the summer, affecting crops in the area and forcing farmers to use or revise the irrigation methods that have been used so far. The Consortium of Piave Irrigation District, which manages the water network in the Piave river basin, is conducting studies to assess the effectiveness of its irrigation systems and the different turns available in the area. To do this, we used the Aquacrop software developed by the FAO, which allows us to simulate the functionality of different irrigation management and systems so as to compare the various theses in order to assess which method is most effective for irrigating specific crops. In particular, the main crops of the Treviso high plain were considered: maize, soybean, vineyard and radicchio.

On the basis of the climatic data provided by ARPAV for the Villorba station and the pedological data collected from the AVEPA portal, after calibration of the programme for the four crops of interest, simulations were carried out, which mainly involved basin and sprinkler irrigation methods, but also drip irrigation. Two sets of simulations were carried out: one on the maximum water supply provided by the Consortium according to the turns available per irrigation method (every 8 days for basin and drip irrigation; every 10 for sprinkler irrigation), and one on the actual irrigations carried out by the various farmers during the season. To develop this second set, it was necessary to submit questionnaires to local farms analysing their irrigation habits.

The results highlighted first of all how the particular climatic trend of the 2022 year, compared to the previous five years, caused several problems in the irrigation management of crops in the Treviso high plain. At the same time, however, it could be observed that through correct and careful management of irrigation practices, it was possible to ensure the production of the various crops, regardless of the irrigation method used.

1. Introduzione

1.1 Effetti del cambiamento climatico

Dal periodo preindustriale (tra il 1850 e il 1900), si stima che le attività umane abbiano aumentato la temperatura media globale della Terra di circa 1 grado Celsius, un numero che continua a crescere di 0,2 °C per decennio. Secondo l'ultimo rapporto dell'UNFCCC (Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici) senza ulteriori misure di mitigazione il mondo è su una traiettoria di aumento della temperatura di 2,7°C entro la fine del secolo (COP26, 2021). Oltre a questo, la concentrazione di gas serra (CO₂) nell'atmosfera sta seguendo un andamento esponenziale che non mostra segni di cedimento e crea seri rischi per la salute. Questo fenomeno è causato principalmente dal fatto che l'approvvigionamento energetico globale continua a essere basato sui combustibili fossili, la cui combustione produce circa il 75% delle emissioni globali. La siccità non è una novità per molti paesi. Ma la sua frequenza, durata e intensità è in costante crescita a causa del cambiamento climatico. Nel 2020 fino al 19% della superficie terrestre globale è stata colpita da siccità estrema: un valore che tra il 1950 e il 1999 non aveva mai superato il 13% (Ruben D. e Guidi A., 2021).

Secondo le stime delle Nazioni Unite, di questo passo i 3,6 miliardi di persone che oggi vivono in aree con scarsità d'acqua per almeno un mese all'anno, diventeranno 4,8 miliardi entro il 2050. E ad ogni aumento di un grado della temperatura media globale corrisponde una riduzione delle rese agricole: grano -6%, riso -3% e mais -7%. Insomma, la crisi alimentare mondiale di quest'anno potrebbe diventare cronica (ISPI, 2022).

Questi fenomeni di innalzamento delle temperature e di siccità si sono manifestati anche nel nostro paese. In Italia negli ultimi anni si sono riscontrati sempre più frequentemente fenomeni di prolungata siccità (a volte anche per diversi mesi) che a loro volta hanno causato problemi nella coltivazione dei terreni e nella gestione idrica dei suoli. In particolare, nel 2022, il Po ha vissuto la più grave secca dal secondo dopo guerra e 125 comuni limitrofi hanno chiesto l'interruzione dell'erogazione d'acqua potabile nelle ore notturne. Il livello idrometrico del fiume Po al Ponte della Becca che è sceso a -2,7 metri su livelli più bassi da almeno 70 anni ma a preoccupare è anche l'avanzare del cuneo salino per la risalita dell'acqua di mare che rende impossibile la coltivazione nelle zone del delta (Coldiretti, 2022).

La situazione è però difficile lungo tutta la Penisola in un 2022 segnato da precipitazioni praticamente dimezzate che ha portato a cambiare anche le scelte di coltivazione sul territorio

con un calo stimato di diecimila ettari delle semine di riso che ha più bisogno di acqua a favore della soia, con un impatto economico, occupazionale ma anche ambientale. A preoccupare è la riduzione delle rese di produzione delle coltivazioni in campo come il grano che fa segnare quest'anno un calo del 15% delle rese alla raccolta ma in difficoltà ci sono girasole, mais, e gli altri cereali ma anche quella dei foraggi per l'alimentazione degli animali e di ortaggi e frutta che hanno bisogno di acqua per crescere. Si può dire che ormai la siccità è da considerarsi un fenomeno strutturale. Tutti i settori del comparto agricolo infatti sono colpiti gravemente, da quello foraggero (in particolare mais e soia), con forti ripercussioni sulla zootecnia, a quello frutticolo, fino a quello ittico, con perdite che vanno dal 30 al 40% (CREA- rassegna stampa 25 luglio 2022).

Dato che il 90% dell'acqua piovana viene perduto, risulta sempre più importante imparare ad utilizzare al meglio le nostre riserve idriche limitando al minimo gli sprechi e cercando di ottenere un'elevata efficienza nei metodi irrigui. In aggiunta, la mancanza di neve come riserva idrica ha rappresentato nel 2022 una ulteriore difficoltà nella gestione irrigua, in quanto oltre alle scarsissime precipitazioni molti agricoltori non sono stati in grado di irrigare i loro terreni a causa della mancanza di acqua di riserva. Alcuni comuni hanno infatti dovuto applicare delle limitazioni nell'irrigazione dei terreni agricoli, causando perdite di resa (sia in quantità che in qualità) per gli agricoltori locali. Per quanto riguarda la regione Veneto, analizzando i dati climatici raccolti da ARPAV degli ultimi 5 anni è possibile confermare il trend positivo di innalzamento delle temperature: ogni anno è risultato infatti mediamente più caldo della media storica, sia durante l'estate che durante l'inverno. In particolare, il 2017 ed il 2019 sono state due tra le annate più calde degli ultimi 20 anni (Barbi A. et al., 2017).

Le precipitazioni sono state mediamente al di sotto della media, ad eccezione del 2019. Sono state rivelate infatti delle diminuzioni del 10-20% degli apporti idrici con picchi del 40% in alcune zone della regione (Barbi A. et al., 2019).

1.2 Gestione idrica e ruolo dei consorzi

Una delle sfide essenziali per garantire un futuro al nostro territorio, al nostro ambiente ed alla nostra società, è rappresentato dalla gestione oculata ed efficiente della risorsa idrica. La normativa che via via è intervenuta nel corso degli anni coglie appieno questa sfida basandosi sul principio fondamentale della pubblicità di tutte le acque, superficiali e sotterranee, prevedendone un utilizzo condotto secondo criteri di solidarietà e salvaguardia non

solo ambientale ma anche delle aspettative e dei diritti delle generazioni future. Un ruolo molto importante nella gestione delle risorse idriche è rappresentato dai consorzi di bonifica, ossia degli enti che si sono formati nel tempo tramite l'associazione dei cittadini e che hanno lo scopo di gestire e governare le risorse idriche presenti nel loro territorio di appartenenza. In generale, il Consorzio è formato da tutti i cittadini proprietari di terreni, abitazioni e immobili produttivi, compresi nei bacini idrografici nei quali il Consorzio opera. I consorziati contribuiscono al mantenimento delle opere idrauliche che tutelano e valorizzano il territorio in cui vivono e lavorano, proporzionalmente al beneficio che ne ottengono (www.consorziopiave.it)

Al momento in Veneto sono presenti 10 consorzi di bonifica, ognuno dei quali controlla una zona ben precisa della regione e si occupa di gestire e regolare i fabbisogni idrici degli agricoltori mediante una serie di reti e canali derivati dai principali fiumi (es. Brenta, Piave, Adige). I consorzi agiscono in sinergia con la realtà territoriale che li costituiscono, collaborando in modo diretto e costruttivo con tutti gli enti che si occupano di problematiche legate al territorio, primi tra tutti gli enti pubblici locali come i Comuni, le Province e la Regione, ma anche l'Autorità di Distretto, gli Enti Parco, gli enti gestori del servizio idrico, le associazioni, le Assemblee dei Contratti di fiume e molto altro ancora (www.bonificavenetorientale.it).

1.3 I metodi irrigui

Esistono diversi metodi irrigui per apportare l'acqua nei terreni agricoli. I principali metodi utilizzati in Italia e nella pianura Padana sono l'irrigazione per aspersione (circa il 37% del totale) che può essere effettuata in diversi modi, principalmente tramite l'uso di rotoloni, e l'irrigazione superficiale, effettuata principalmente per scorrimento (Felici M.L., 2018).

Nell'irrigazione per scorrimento, l'acqua viene fatta scorrere sulla superficie del terreno in modo continuo per consentirne l'infiltrazione. È un metodo adatto alle colture foraggere che richiedono grandi volumi di acqua. Viene effettuata principalmente dove non è presente una rete consorziale a pressione e l'apporto ai terreni agricoli avviene grazie alla presenza di canali e torrenti apposti. Per questo motivo, è un metodo che ha la possibilità di essere adottabile nella maggior parte dei terreni. In base al tipo di coltura presente, l'acqua può essere fatta scorrere su tutto l'appezzamento (in presenza di colture permanenti come prati stabili) oppure solamente all'interno di solchi (con colture annuali come mais e soia). In quest'ultimo caso, l'acqua arriverà all'apparato radicale delle colture per infiltrazione laterale.

In generale è un metodo irriguo che necessita di elevati quantitativi d'acqua e di una elevata manodopera, in quanto sarà necessario gestire continuamente l'apertura delle varie bocchette del canale di apporto. L'efficienza è modesta ma può variare molto in base alla gestione del terreno ed alla sua uniformità (Lamaddalena L. et al., 2010).

L'irrigazione per aspersione, detta anche "a pioggia", è un metodo di distribuzione dell'acqua che simula approssimativamente gli apporti idrici naturali. In media ha un'efficienza di distribuzione del 70-80%, ma questo varia molto in base al tipo di macchinario utilizzato e dalla presenza o meno di vento. A differenza dell'irrigazione a scorrimento, i metodi ad aspersione richiedono minori quantitativi d'acqua, adattandosi a terreni con caratteristiche diverse senza particolari sistemazioni del terreno e richiedendo quindi una minor manodopera. Lo svantaggio è rappresentato dal fatto che richiede la presenza di un impianto a pressione, sia esso una rete consorziale oppure altri metodi gestiti dai privati, necessitando quindi di energia per la messa in pressione dell'acqua. Inoltre, questo metodo irriguo può comportare maggiori perdite per evaporazione (dal getto, dal terreno e dalle foglie) e la presenza di vento o di una scarsa gestione degli interventi irrigui possono portare a delle perdite per deriva o ruscellamento (Catoni A., 1977).

Una delle forme di irrigazione per aspersione più comuni consiste nell'utilizzo di macchine semoventi meccanizzate come i rotoloni ole ali articolate.

L'irrigatore semovente a naspo, chiamato comunemente rotolone, è il metodo più popolare in Italia, soprattutto per l'irrigazione del mais. Questo perché presenta diversi vantaggi: il costo di investimento è relativamente modesto e le caratteristiche costruttive che rendono facilmente trasportabili queste attrezzature nei vari appezzamenti, migliorando la gestione aziendale e la tempestività di intervento. Un altro importante vantaggio è la bassa richiesta di manodopera, soprattutto se confrontata con il metodo a scorrimento, e l'assenza di tubazioni in campo. Esistono modelli di varie dimensioni, adattabili a molte necessità aziendali e che permettono ad ogni coltivatore di scegliere il modello più consono per la sua gestione. Possono essere utilizzati per la stragrande maggioranza delle colture presenti nel nostro areale di coltivazione, partendo dalle foraggere (prati, mais, soia) per arrivare fino alle orticole. I difetti principali dei rotoloni sono la necessità di elevate pressioni di utilizzo (almeno 4-5 bar) e di conseguenza gli elevati consumi energetici (Facchinetti D., 2020).

Un altro metodo utilizzato dagli agricoltori locali, anche se meno diffuso rispetto ai rotoloni, sono le ali articolate: macchinari di grandi dimensioni che richiedono una scarsa manodopera

e sono in grado di dominare decine di ettari di superficie con una sola laterale. Le ali articolate sono costituite da una lunga ala piovana che supporta e alimenta una serie di irrigatori statici o dinamici, articolata in sezioni chiamate “campate” composte da travi metalliche che poggiano su carrelli dotati di motore proprio. È un metodo che generalmente viene utilizzato in appezzamenti di grandi dimensioni e per questo motivo non è largamente diffuso nelle nostre zone, caratterizzate da appezzamenti di medio-piccole dimensioni, ma nonostante ciò rappresenta comunque una valida alternativa ai classici rotoloni. Esistono diverse tipologie di ali articolate e la più diffusa è il Pivot, caratterizzato da una torre centrale di comando alla quale sono collegate le diverse campate che durante i cicli di irrigazione ruotano attorno all’asse centrale, ottenendo uno schema circolare che porta però alla formazione di alle tare non irrigue agli angoli degli appezzamenti. Alcune di queste problematiche sono state in parte risolte grazie a soluzioni tecnologiche, come ad esempio il sistema «corner», dispositivo irrorante che si apre a compasso per irrigare aree di forma non circolare oppure il sistema «bender», che consente di formare fra due campate un angolo (da 30 fino a 160°) per evitare ostacoli nel campo (Bortolini, 2011). Oltre al pivot esistono anche ali articolate ad avanzamento lineare, che percorrono l’appezzamento in direzione longitudinale e riescono quindi a coprirlo quasi interamente durante l’irrigazione. In generale, le ali articolate richiedono un bassissimo impiego di manodopera in quanto sono quasi completamente autonome, richiedono poca energia per il loro funzionamento e riescono a gestire un grande quantitativo di ettari coltivati. Per contro, sono poco adattabili a terreni con caratteristiche agronomiche, colturali e pedologiche diverse, uno dei motivi principali per la loro bassa diffusione nel nostro territorio (Martello et al., 2016).

Infine, un ulteriore metodo presente nel nostro territorio per l’irrigazione ad aspersione è la microirrigazione, e in particolare l’irrigazione a goccia. È un metodo che consente la somministrazione di acqua a basse portate e basse pressioni, con erogazioni localizzate ad intervalli frequenti. Questo metodo è caratterizzato dal fatto di bagnare solamente un’area localizzata del suolo consentendo quindi di utilizzare un quantitativo minore di acqua ed ottenere minori sprechi. Per questi motivi è un metodo ad elevata efficienza irrigua ed elevata uniformità di distribuzione (dovuta al fatto che sono presenti molti erogatori) (Incrocci L e Riccò E., 2004).

Viene utilizzato principalmente nella coltivazione di vigneti (quindi con impianti stabili), ma può essere utilizzato anche per colture foraggere. Richiede basse pressioni per il suo

funzionamento e quindi necessita di poca energia, però è necessaria una manutenzione più frequente e quindi una maggior manodopera, oltre che a delle maggiori difficoltà di progettazione ed un maggiore investimento per le spese di impianto (Corradi C., 2008).

1.4 Irrigazione e bilancio idrico

Un importante aspetto da considerare quando si parla di irrigazione è il bilancio idrico. È importante tenere in considerazione sia il bilancio idrico dei bacini idrografici sia quello delle singole colture. Per quanto riguarda le colture, il bilancio idrico rappresenta la valutazione comparata dell'acqua di cui queste ultime hanno bisogno nelle diverse fasi del ciclo vegetativo, e di quella disponibile per l'assorbimento dall'apparato radicale. Il riferimento per tale valutazione è normalmente costituito dalla porzione di atmosfera con cui la pianta scambia risorsa per traspirazione e dalla porzione di suolo interessata allo scambio di risorsa attraverso l'apparato radicale (strato traspirativo o root zone). La risorsa viene resa disponibile naturalmente, dalle precipitazioni, o attraverso le reti ed i sistemi irrigui (Cassani G et. Al., 2009).

Il bilancio dei bacini invece è particolarmente importante per la gestione idrica da parte dei consorzi, in quanto consente di valutare l'efficienza dell'uso dell'acqua in relazione all'uso degli agricoltori. Considerando l'andamento climatico ed in particolare la sempre più frequente siccità nei mesi estivi l'efficienza di utilizzo dell'acqua diventa un parametro fondamentale da monitorare, soprattutto nelle regioni più secche in cui è destinato attualmente quasi l'80 % dell'acqua utilizzata in agricoltura. Con l'applicazione delle corrette pratiche agricole e di soluzioni politiche a sostegno delle stesse, possiamo ottenere significativi miglioramenti dell'efficienza idrica in agricoltura e di conseguenza una maggiore disponibilità d'acqua per altri usi, in particolare per l'ambiente (Armiraglio S. et al., 2003).

L'efficienza idrica è un parametro influenzato da molti aspetti, alcuni riguardano il trasporto dell'acqua dai bacini ai campi, altri l'utilizzo dell'acqua nei campi stessi. È quindi di fondamentale importanza capire come gestire al meglio aspetti come le reti di trasporto dell'acqua (in canali o a pressione), le varie turnazioni ed i metodi di irrigazione al fine di massimizzare l'efficienza (Ventrella D. et al., 1996).

Per gli enti consortili risulta utile utilizzare dei modelli di simulazione per capire l'efficienza dei propri impianti e formulare decisioni riguardanti i turni irrigui e la gestione della rete consortile. Uno di questi modelli è il software sviluppato dalla FAO chiamato Aquacrop, il

quale permette di rapportare una determinata situazione pedoclimatica con diverse gestioni irrigue in modo da osservare le principali differenze nelle gestioni irrigue.

Per gli agricoltori invece può risultare utile l'utilizzo dei sistemi di supporto alle decisioni (DSS), ovvero sistemi che importano, organizzano ed elaborano informaticamente una serie di dati che verranno poi impiegati nella gestione di una determinata situazione. I DSS trovano applicazione in diversi settori, riscontrando sempre maggiore successo nel campo agricolo, assistendo gli agricoltori in scelte strategiche sui vari interventi agronomici quali concimazione, irrigazione e trattamenti fitosanitari con l'obiettivo di ottimizzare l'uso delle risorse e dei fattori produttivi, e di conseguenza migliorare aspetti come l'efficienza irrigua (D'Antonio et al., 2021).

1.5 Il Consorzio di bonifica Piave

Questa tesi in particolare è stata sviluppata in associazione con il consorzio di bonifica del Piave, un ente presente sul territorio dal 2010 ma che racchiude al suo interno una storia molto più profonda: infatti, inizialmente il territorio gestito dal consorzio del Piave era suddiviso in diversi consorzi minori che negli anni si sono accorpati sempre di più fino ad arrivare alla costituzione odierna. Nel passato l'insieme di questi singoli consorzi ha reso possibile la creazione di canali e reti irrigue in tutto il territorio del bacino del Piave (in particolare nell'alta pianura trevigiana), oltre che la bonifica di territori lagunari mediante l'utilizzo delle idrovore, ossia grandi opere di bonifica che prosciugavano l'acqua stagnante da immensi territori consentendone la coltivazione stabile. L'insieme di queste opere ha reso possibile l'irrigazione in molti territori che prima ne erano sprovvisti, migliorando i raccolti e le produzioni per gli agricoltori locali (www.consorziopiave.it).

Il territorio controllato dal consorzio di bonifica Piave si estende su quasi tutta la provincia di Treviso, in un'area che parte dai confini della provincia di Vicenza (ad ovest) e si estende fino al Friuli Venezia Giulia (ad est). A nord il territorio è delimitato dalle Prealpi mentre a sud il confine è leggermente più articolato in quanto segue il percorso di diversi fiumi quali il Sile, il canale Fossetta ed il Monticano. (Figura 1)

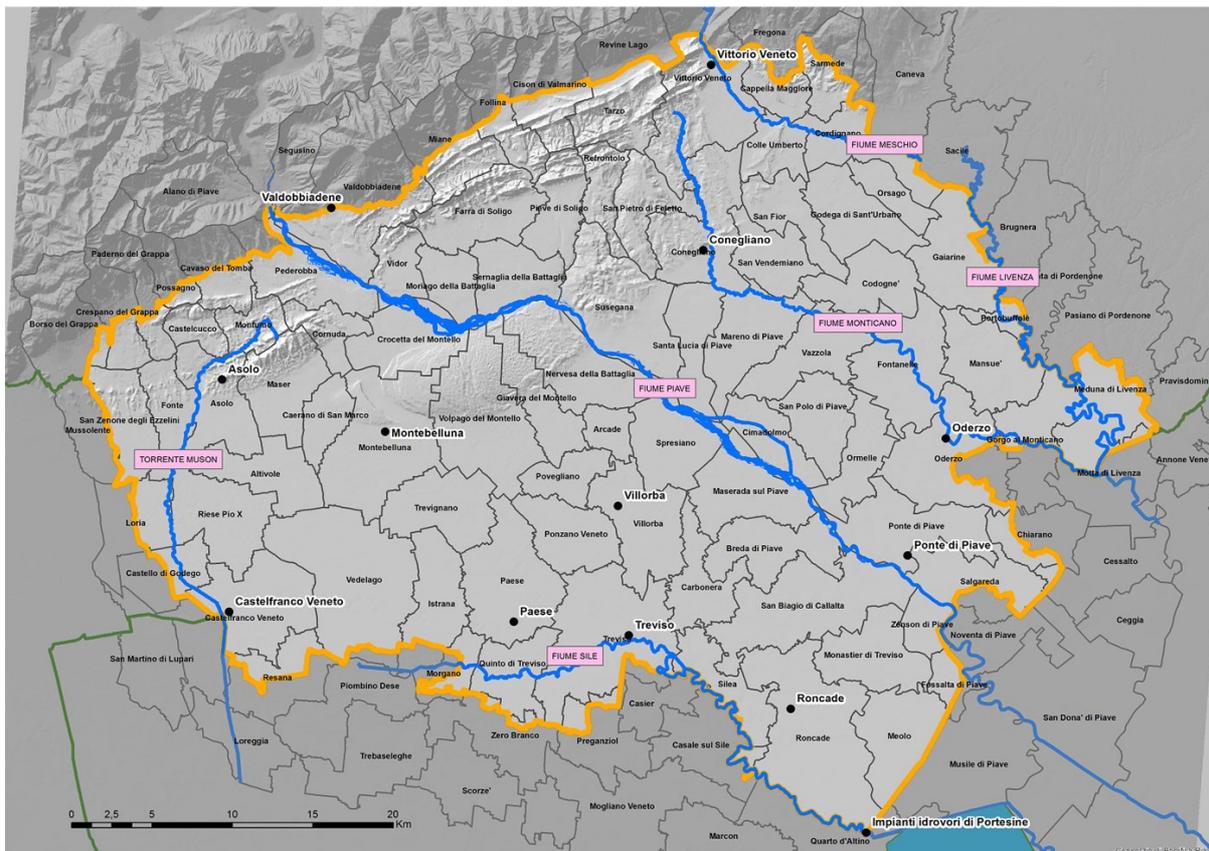


Figura 1: mappa geografica del territorio gestito dal consorzio di bonifica del Piave. L'estensione totale del territorio appartenente al Consorzio di bonifica Piave raggiunge quasi i 1'900 km² e racchiude al suo interno 92 comuni, appartenenti principalmente alla provincia di Treviso.

L'irrigazione è uno dei compiti attribuiti ai Consorzi fin dalla loro istituzione, e con il passare degli anni sono stati attribuiti loro altri compiti come la tutela della qualità delle acque, e lo sviluppo di iniziative agroambientali. Il Consorzio di bonifica Piave ha radici profondamente legate al fiume Piave, che attraversa oggi il territorio trasversalmente da nord-ovest a sud-est, e che costituisce da quasi 600 anni la principale fonte di approvvigionamento idrico.

Sono circa 55.000 gli ettari irrigati con strutture fisse nell'alta pianura trevigiana attraverso le tre grandi derivazioni irrigue, di cui il Consorzio Piave risulta intestatario, situate a Fener, a Nervesa e in sinistra Piave, attraverso il sistema Fadalto S. Croce.

Dalle grandi opere di presa si dirama una fitta maglia di canali adduttori, primari e secondari che percorrono l'area dell'alta pianura trevigiana. Inizialmente nate come reti di distribuzione dell'irrigazione con modalità a scorrimento, gradualmente si stanno trasformando in moderni

impianti di distribuzione a pressione estesi su diverse migliaia di km di reti intubate, dalle quali l'irrigazione viene distribuita mediante aspersione o pluvirrigazione o a goccia.

In totale vengono gestiti più di 6000 km di corsi d'acqua, dei quali circa 1500 km sono costituiti da canali di scolo, 2300 km da canali irrigui ed i restanti 2300 km da condotte interrato.

La struttura dei canali di scolo è generalmente in terra a sponde inclinate ed alcuni di essi sono muniti di argini, mentre i canali irrigui artificiali sono rivestiti in calcestruzzo o in canaletta prefabbricata. Per quanto riguarda gli impianti a pressione, le condotte hanno diametri compresi tra 110 e 1100 mm. Il consorzio definisce un periodo irriguo durante il quale gli impianti a scorrimento e a pressione risultano utilizzabili per l'irrigazione. Il periodo irriguo inizia al 15 maggio e termina al 15 settembre, ma può essere modificato nelle singole annate in base alle necessità degli agricoltori ed in base alle riserve idriche che negli anni di forte siccità potrebbero risultare non sufficienti.

L'irrigazione dei terreni agricoli può quindi avvenire con modalità a scorrimento o con sistemi a pressione. Nella modalità a scorrimento il prelievo avviene a cura dell'utente da una bocchetta consorziale posta nelle vicinanze della proprietà sulla base di una turnazione apposita elaborata dal consorzio all'interno di comizi (ossia raggruppamenti di aziende) omogenei. Generalmente i turni irrigui per la modalità a scorrimento prevedono un'irrigazione ogni 8 giorni.

La modalità per aspersione utilizza invece una rete di distribuzione in pressione (3-4 bar) con attingimento presso idranti posti ai limiti di ciascuna proprietà. La somministrazione avviene mediante l'utilizzo di ala mobile, irrigatore semovente o impianti fissi aziendali con microirrigazione o a goccia. Per l'irrigazione a pioggia i turni irrigui definiti dal consorzio prevedono un'irrigazione ogni 10 giorni, mentre per il metodo a goccia ogni 8 giorni (www.consorziopiave.it).

2. Obiettivi della tesi

L'obiettivo di questo elaborato, svolto in collaborazione con il Consorzio di bonifica Piave, è quello di analizzare mediante l'utilizzo del modello di simulazione Aquacrop la gestione irrigua che il consorzio esercita nel suo territorio di competenza, in particolare nell'area dell'alta pianura trevigiana, valutando l'efficienza delle varie gestioni irrigue e dei turni consortili adibiti all'irrigazione delle principali colture della zona (mais, soia, vite e radicchio). La fase di analisi verrà condotta in senso temporale osservando lo storico degli ultimi 6 anni e analizzando il cambiamento del clima e delle varie rese delle colture, con particolare attenzione all'annata 2022 in quanto, a causa della estrema siccità che si è verificata, sono sorte diverse problematiche nella gestione irrigua del territorio.

La prima parte dell'elaborato è incentrata sulla raccolta dati da fonti ufficiali quali Avepa ed Arpav, in relazione all'andamento climatico e alla struttura pedologica del suolo dell'alta pianura trevigiana per generare dei database utilizzati nel modello Aquacrop.

La seconda parte invece si incentra sul confronto fra le varie annate, in relazione alla coltura e alla gestione irrigua effettuata dagli agricoltori, con lo scopo di analizzare le differenze tra l'andamento climatico e la gestione consortile. I dati riguardano gli ultimi 6 anni (dal 2017 al 2022), per ognuno dei quali si analizzano i tre metodi di irrigazione ossia a scorrimento, irrigazione a pioggia (con rotolone) e a goccia.

Una particolare attenzione verrà data all'annata 2022, raccogliendo dati da alcune aziende locali presenti nel territorio riguardo ai metodi utilizzati per l'irrigazione, alla distanza temporale degli interventi ed all'apporto in mm di acqua distribuito alla coltura, con lo scopo di confrontare la gestione aziendale con la teorica gestione consortile degli stessi appezzamenti e quindi poter valutare l'efficienza del sistema irriguo.

3. Materiali e metodi

Per poter svolgere accuratamente le varie simulazioni con il modello Aquacrop, è necessario inquadrare geograficamente la zona di interesse e successivamente ricavare un database con le informazioni riguardanti il clima, la struttura pedologica del terreno e l'uso del suolo per quanto riguarda le colture ed i sistemi irrigui.

3.1 Inquadramento territoriale e struttura pedologica

Sebbene l'area gestita dal Consorzio di bonifica Piave comprenda quasi tutta la provincia di Treviso, questo elaborato è svolto prendendo in riferimento la zona dell'alta pianura trevigiana, un'area priva di idrografia superficiale naturale, fatta eccezione per il Muson dei Sassi verso ovest, Piave al centro, Livenza e Monticano verso est. L'area in questione si trova a nord del capoluogo di provincia, Treviso, ed è compresa in un areale delimitato a nord dalla zona pedemontana e ad est dal fiume Piave, mentre i confini a ovest e a sud sono meno marcati ed è possibile approssimarne la massima estensione nella zona di Castelfranco Veneto (Figura 2). La mappa riporta in colori diversi le zone dotate di sistemi di distribuzione irrigua in gestione al Consorzio. Le diverse colorazioni corrispondono a diversi sistemi irrigui disponibili. In giallo sono rappresentati i circa 30.000 ha dotati di strutture fisse tubate che consentono il prelievo da idrante alla pressione minima di 3 bar mentre in azzurro le zone ancora dotate di canalette e sistema a scorrimento, su circa 20.000 ha. In totale le aree che possono utilizzare strutture irrigue fisse si estendono su poco più di 50.000 ha di superficie agricola netta. Storicamente le reti irrigue erano molto limitate, ma in tempi più recenti si sono consolidate ed ampliate fino a consentire, attualmente, l'alimentazione irrigua in buona parte della regione, tramite reti alimentate con acqua appartenente al bacino del fiume Piave, prelevate dall'Opera di Presa di Fener, di Nervesa o dal sistema S. Croce – Fadalto - Castelletto, su oltre 50.000 ettari.

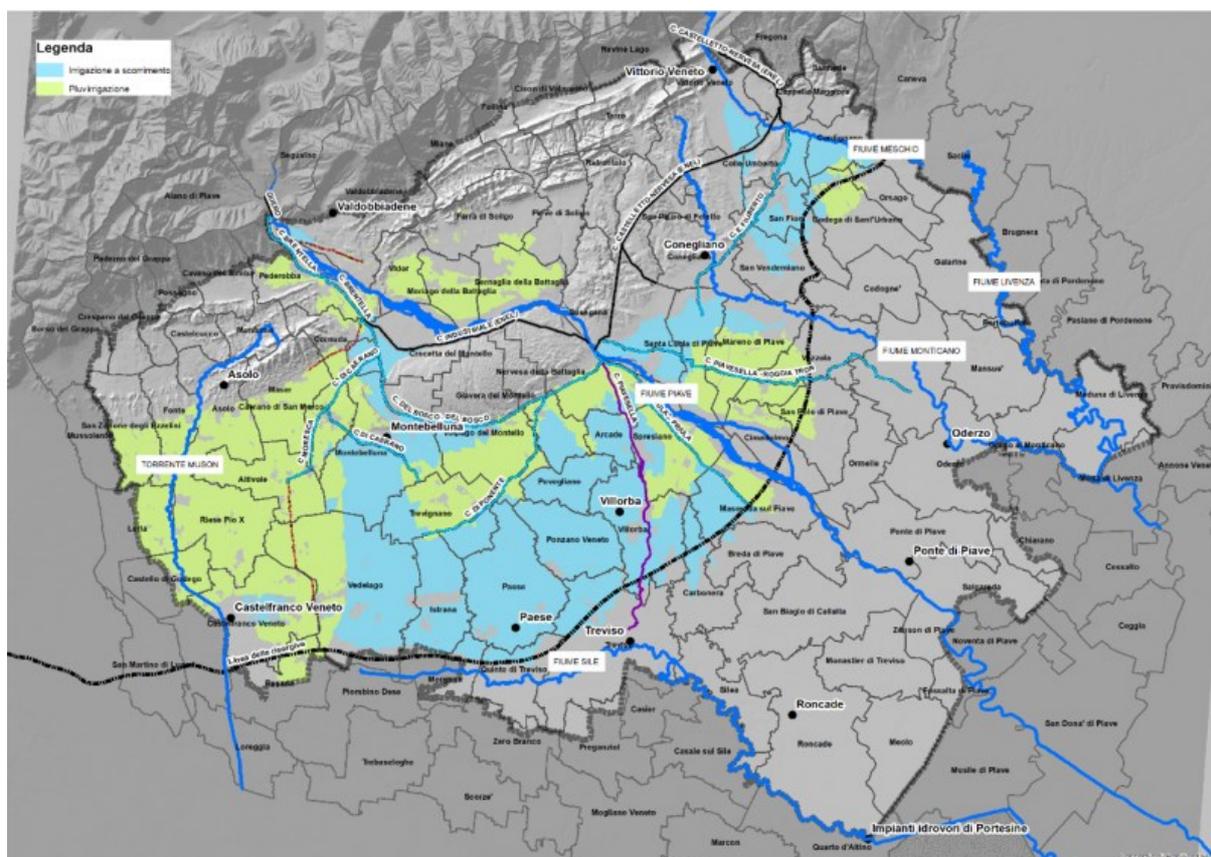


Figura 2: mappatura e confini dell'alta pianura trevigiana comprendente diverse colorazioni relative ai vari metodi di irrigazione resi disponibili dal Consorzio Piave.

Il comprensorio è diviso da sud-ovest verso nord-est da una linea particolare: la linea delle risorgive. L'acqua viene assorbita dai terreni permeabili e raggiunge una grande accumulo d'acqua sotterranea denominata falda. Se essa è superficiale, la falda si dice freatica, se invece è profonda e compresa tra lenti di materiale limoso e impermeabile, acquisisce il nome di falda artesiane. Nell'alta pianura trevigiana la falda freatica è molto profonda. Procedendo verso sud-est l'altimetria dei suoli si riduce, la superficie della falda si avvicina al piano campagna finché, in prossimità della linea delle risorgive, l'acqua affiora. I terreni si fanno più argillosi, pesanti, spesso intrisi d'acqua. I terreni dell'alta pianura trevigiana sono generalmente per loro natura ghiaiosi, molto permeabili e senz'acqua sarebbero aridi, difficilmente coltivabili. Per questo motivo a nord della linea delle risorgive sono le antiche reti irrigue, nate per disporre di acqua in un luogo che altrimenti sarebbe arido e sterile, perché il terreno ghiaioso non trattiene

l'acqua. Si vedono spesso rogge e canali, solo i più grandi hanno acqua per tutta l'anno, altrimenti solo nel periodo estivo.

Un importante strumento utilizzato per determinare la struttura pedologica dell'area di interesse è rappresentato dalle carte dei suoli fornite da Arpav (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto), scaricabili gratuitamente dal loro sito ufficiale. Arpav mette a disposizione diverse tipologie di mappe che suddividono il territorio della regione Veneto provincia per provincia e consentono di analizzare diversi aspetti pedologici come la tipologia di suolo e la sua composizione, la permeabilità, la capacità d'uso (ossia la disponibilità del terreno di ospitare le varie colture di interesse) e la riserva idrica del suolo (www.arpav.it)

Analizzando la mappa dei suoli fornita da Arpav, si è osservato che la zona dell'alta pianura trevigiana compresa all'incirca tra Treviso, Montebelluna e Castelfranco Veneto è molto uniforme e per questo motivo si è scelto di utilizzarla come area di riferimento per le simulazioni. Nella mappa viene indicata con la sigla "P1" e definita come Alta pianura antica (pleistocenica) del Piave con suoli fortemente decarbonatati, con accumulo di argilla e a evidente rubefazione; costituita da conoidi ghiaiosi e superfici terrazzate con evidenti canali intrecciati, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie (Figura 3).

Per determinare con precisione la composizione del terreno è stato osservato un report di un'analisi geologica effettuata nel comune di Trevignano (racchiuso all'interno della zona di interesse) che mediante la realizzazione di diversi sondaggi effettuati a diverse profondità ed all'utilizzo di piezometri, ha riscontrato che si tratta di un terreno a medio impasto con scheletro tra il 45 ed il 61%, il terreno fine è costituito in prevalenza da sabbia (47-53%), limo (39-44%) ed argilla (8-17%) (Postumia cave s.r.l., 2010).

Tutti questi parametri possono successivamente essere inseriti nel modello Aquacrop per generare un database sulla tipologia di suolo che verrà utilizzata nelle simulazioni.

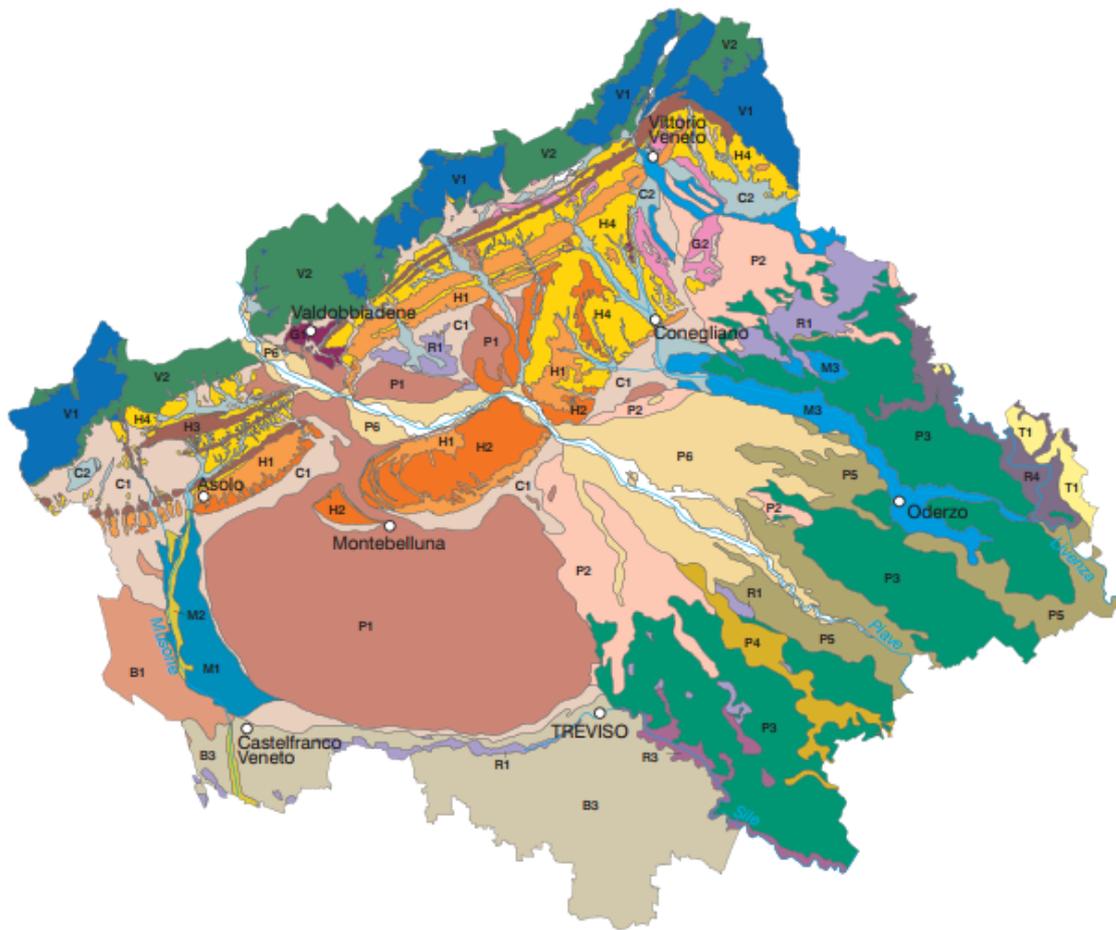


Figura 3: mappa dei suoli fornita da Arpav suddivisa in varie sovranità di paesaggio. La zona di interesse dell'elaborato è circoscritta nell'area Treviso – Montebelluna – Castelfranco Veneto (zona P1).

3.2 Dati climatici

Aquacrop ha bisogno di molti parametri climatici e colturali per effettuare le simulazioni; alcuni di questi parametri non sono sempre di semplice reperimento. Un esempio è dato dall'Evapotraspirazione, ossia la quantità d'acqua (riferita all'unità di tempo) che dal terreno passa nell'aria per effetto congiunto della traspirazione, attraverso le piante, e dell'evaporazione, direttamente dal terreno. Il software Aquacrop è in grado di calcolare i valori di evapotraspirazione per una determinata coltura partendo dai dati climatici che, per una stima accurata, devono essere precisi e continui nel tempo (Toumi J. et al., 2016).

In questo elaborato uno degli obiettivi è verificare l'influenza dell'andamento climatico in relazione alle varie colture ed ai metodi di irrigazione durante il corso degli ultimi anni: per

questo motivo si è scelto di reperire i dati meteo a partire da gennaio 2017 fino a settembre 2022 dal portale Arpav. I dati relativi al 2022 si riferiscono ovviamente ai primi 9 mesi (da gennaio a settembre), in quanto l'elaborato è stato scritto durante questo periodo. Questo influenza solamente in parte gli esiti delle simulazioni in quanto la maggior parte delle colture ha raggiunto la maturità prima della fine di settembre.

I dati meteo sono stati ricavati dal sito internet di Arpav, il quale contiene uno storico di informazioni degli ultimi 12 anni (dal 2010 al 2022) scaricabili gratuitamente. I dati rilevati vengono utilizzati nell'ambito del monitoraggio ambientale per l'elaborazione di previsioni meteorologiche, di bilanci idrici per l'irrigazione, della climatologia e nello studio delle criticità ambientali presenti nel territorio regionale. Arpav, la cui sigla significa Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, è un'agenzia regionale dotata di autonomia amministrativa, organizzativa, tecnica e contabile i cui obiettivi sono la protezione, attraverso i controlli ambientali che tutelano la salute della popolazione e la sicurezza del territorio, e la prevenzione, attraverso la ricerca, la formazione, l'informazione e l'educazione ambientale. Tra le varie attività di Arpav, una di esse è quella di effettuare previsioni, informazioni ed elaborazioni meteo-climatiche e radar-meteorologiche. I dati delle principali grandezze meteorologiche tra cui temperatura, umidità e vento, vengono rilevati attraverso un sistema di monitoraggio costituito da una rete di circa 200 stazioni automatiche che coprono l'intero territorio regionale. Le stazioni sono collegate via radio, in tempo reale, al centro di calcolo. Nel portale Arpav le stazioni vengono suddivise nelle varie regioni del veneto ed in base alla loro posizione geografica sarà possibile raccogliere i dati misurati. Sono presenti molte tipologie di dati, e vengono suddivisi in diverse categorie (temperatura, umidità, vento, precipitazioni) per ogni annata (www.arpav.it).

In questo elaborato la stazione presa come riferimento è quella di Villorba, un comune situato poco più a nord di Treviso. Le altre stazioni (Montebelluna, Volpago del Montello, Castelfranco Veneto e Treviso) risiedono tutte ai confini dell'alta pianura trevigiana. È stato quindi scelto di utilizzare i dati meteo ricavati dalla stazione di Villorba poiché risulta avere le caratteristiche più rappresentative dell'area, in quanto si trova in pianura ad un'altitudine di 41 metri sul livello del mare (più simile alla media dell'intera zona rispetto alle altre) ed è situata in un punto relativamente vicino all'area di interesse in cui anche il terreno sottostante non dimostra particolari differenze.

I dati meteo sono stati raccolti con intervallo giornaliero e nel dettaglio sono: temperatura minima e massima, umidità relativa dell'aria (minima e massima), precipitazione, velocità del vento e radiazione solare. Temperatura e umidità sono misurati ad un'altezza di 2 metri dal suolo. Per la velocità del vento, misurata ad un'altezza di 10 metri, e la radiazione solare si sono utilizzati i dati della stazione di Castelfranco Veneto, molto simile in termini di altitudine e posizione relativa, in quanto Villorba non possiede gli strumenti necessari.

Tutti i dati meteorologici sono stati copiati ed ordinati in colonne su un file Excel che poi è stato convertito in un file di testo. Questo perché il modello Aquacrop è programmato per leggere i vari dati climatici raccolti solamente da un file di testo ordinato in colonne. Quindi, per semplicità operativa, il lavoro di raccolta dati è stato fatto prima su Excel e successivamente convertito. Un altro motivo importante per cui si è preferito Excel è il fatto che risulta più pratico per la formattazione del documento: Aquacrop ha dei valori standard di riferimento che devono essere inseriti nel database per consentirne la corretta lettura e la sostituzione di questi valori risulta più pratica su un foglio di lavoro piuttosto che un semplice file di testo.

3.3. Uso del suolo

Prima di effettuare le simulazioni con il modello Aquacrop, è stato necessario analizzare l'uso del suolo nell'alta pianura trevigiana per capire quali fossero le principali colture di interesse agronomico coltivate, oltre che osservare la struttura del territorio. Questo è stato possibile grazie alla banca dati di AVEPA (Agenzia Veneta per i Pagamenti). La banca dati dell'uso del suolo è uno strumento per la conoscenza, la gestione e il controllo del territorio regionale. L'AVEPA, in qualità di organismo pagatore della Regione del Veneto, gestisce e aggiorna le informazioni territoriali attraverso sistemi GIS al fine di verificare l'ammissibilità delle superfici agricole ai diversi regimi di aiuto comunitario. Le informazioni di uso del suolo sono state generate con l'ausilio di tecniche di fotointerpretazione di ortofoto AGEA 2018 a colori RGB con risoluzione nominale di 20 cm o immagini satellitari, oppure da poligoni GPS misurati a fini istruttori durante controlli/collaudi in loco o visite in campo (www.avepa.it)

Il database è strutturato in file vettoriali Shapefile ESRI per Comune e viene aggiornato periodicamente con cadenza semestrale al fine di seguire le dinamiche variazioni di copertura dell'uso del territorio veneto. La metodologia di fotointerpretazione adottata prevede l'identificazione di appezzamenti omogenei, delimitati da confini fisici e successiva attribuzione di codici agricoli e non agricoli, inteso come agricolo tutto ciò che è legato alla

produzione agricola compresi gli elementi del paesaggio che vengono considerati secondo la normativa di riferimento.

Per analizzare quindi l'uso del suolo dell'alta pianura trevigiana è stato necessario scaricare i database dal portale AVEPA sotto forma di shapefile: essi sono divisi per provincia ed è quindi stato necessario scaricare solamente quelli relativi alla provincia di Treviso. Una volta scaricati, possono essere aperti con un qualsiasi programma che permette di visualizzare, organizzare, analizzare e rappresentare dati spaziali. Per lo svolgimento di questo elaborato è stato utilizzato QGIS, un'applicazione GIS professionale che è costruita su software libero e Open Source e che permette la lettura di immagini vettoriali o raster e quindi l'analisi di mappe geografiche (Graser A., 2016).

Una volta aperti in QGIS i vari shapefile dei comuni di interesse, è stato possibile analizzare i dati inseriti nei vari layer, i quali contengono informazioni relative alla dimensione dell'appezzamento, il codice identificativo AVEPA, la tipologia di terreno (seminativo, arboreto, fabbricato, ecc.) ed in particolare il codice della coltura presente. Tramite una tabella scaricabile dal sito AVEPA contenente tutti i codici delle colture, è stato possibile analizzare la presenza e la percentuale di ogni determinata coltura all'interno dei terreni dell'alta pianura trevigiana. È stato riscontrato che la maggior parte degli appezzamenti seminativi sono costituiti da colture di mais e soia, mentre buona parte degli appezzamenti stabili sono costituiti da vigneti. Per questo motivo, nello svolgimento dell'elaborato, si è scelto di analizzare queste 3 colture principali (mais, soia e vite) con l'aggiunta di una quarta coltura orticola per avere un'analisi più ampia su diversi tipi di colture, ossia il radicchio.

3.4 Il modello Aquacrop

Aquacrop è un modello sviluppato dalla FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) relativo alla produttività dell'acqua in relazione alle varie colture di interesse agrario. È stato sviluppato con l'obiettivo di aumentare la produttività nei terreni irrigati in diversi metodi, artificiali o naturali. Aquacrop simula la risposta delle colture erbacee all'acqua che viene loro fornita ed è particolarmente adatto per analizzare condizioni in cui l'acqua è un fattore limitante alla crescita ed allo sviluppo delle colture (Steduto P. et al., 2012).

È stato sviluppato nel 2009 e da allora è stato utilizzato in tutto il mondo per simulare ed analizzare diversi scenari agro-ecologici. È un modello indirizzato ad utenti che lavorano in aziende pubbliche e private, associazioni di coltivatori, servizi analitici ed altre attività simili

per essere utilizzato come strumento di decisione per gli interventi relativi all'irrigazione; può inoltre essere usato anche come uno strumento per analizzare il ruolo dell'acqua nella produzione di una determinata coltura (www.fao.org). I risultati delle simulazioni in Aquacrop possono essere facilmente tradotti in raccomandazioni pratiche nella gestione degli appezzamenti con lo scopo di aumentare la produttività delle colture e l'efficienza dell'acqua. Il modello stima la biomassa e la resa che possono essere prodotte dalle varie colture in un ambiente definito caratterizzato da un clima specifico. Fornisce inoltre degli indicatori che permettono di valutare le performance del sistema coltura-gestione irrigua attraverso la stima della produttività dell'acqua o, in altri termini, della resa per unità di acqua che viene evapotraspirata. Per riuscire ad effettuare le simulazioni in maniera realistica Aquacrop deve essere fornito di una serie di dati relativamente semplici da reperire che riguardano gli aspetti principali del sistema di interesse: ha bisogno infatti di dati riguardanti il clima, il profilo del suolo, la gestione dell'appezzamento, il sistema di irrigazione e delle principali informazioni caratteristiche della coltura in esame. Tramite queste semplici serie di dati, Aquacrop riuscirà a calcolare mediante formule matematiche più complesse intrinseche al programma la risposta della coltura al sistema pianta-suolo-clima (Mejias P. e Piraux M., 2017).

Il modello Aquacrop è in grado di fornire risultati accurati, semplici e affidabili in quanto lo sviluppo e la realizzazione di questo progetto hanno richiesto una grande ricerca e collaborazione negli anni da parte di scienziati, specialisti delle colture e coltivatori sparsi per tutto il mondo, e grazie alla loro consultazione e collaborazione la FAO è riuscita a raccogliere una vasta mole di informazioni e calibrarle all'interno del modello stesso. Il concetto di base su cui si fonda Aquacrop e da cui è partito il suo sviluppo è l'equazione di Doorenbos e Kassam (1979), la quale viene utilizzata per calcolare la biomassa della coltura relativamente all'acqua che viene traspirata da quest'ultima. Questo rende quindi possibile calcolare anche la resa di una coltura identificandola come la porzione di biomassa che viene raccolta dal totale (Doorenbos J., 1979).

Aquacrop riesce a separare il consumo non produttivo dell'acqua (tramite evaporazione dal suolo) da quello produttivo (traspirazione della coltura), per ottenere un risultato ancora più preciso. L'equazione originale ha una scala temporale stagionale, mentre in Aquacrop i risultati sono giornalieri: questo permette di rappresentare al meglio le dinamiche e la risposta all'acqua della coltura di interesse. Infine, il modello consente di adattare la risposta delle colture alle varie differenze climatiche ed ai diversi scenari che vengono utilizzati permettendo di avere dei

risultati influenzati giorno per giorno dal clima e dalla gestione dell'irrigazione (Steduto P. et al., 2012).

3.4.1 Importazione dati

Per quanto riguarda l'elaborato, il modello Aquacrop è stato calibrato per simulare 4 diverse colture (mais, soia, vite e radicchio) nella zona dell'alta pianura trevigiana con i dati climatici relativi al territorio raccolti dalla stazione Arpav di Villorba. Per poter effettuare le simulazioni è stato quindi necessario caricare i database raccolti in Aquacrop.

Per poter calcolare l'evapotraspirazione è stato necessario trascrivere tutti questi dati in un documento di testo ordinato in colonne, il quale è successivamente stato caricato su Aquacrop indicando le misurazioni presenti sulle colonne di riferimento. Una volta terminato questo processo, Aquacrop ha generato una serie di file contenenti tutte le informazioni relative al clima e con le rispettive stime dei valori di evapotraspirazione e del contenuto di CO₂ nell'aria. L'insieme di questi file è stato utilizzato per indicare il clima di riferimento per tutte le simulazioni effettuate nell'elaborato.

Per quanto riguarda l'aspetto pedologico, Aquacrop necessita di un terreno di riferimento sul quale effettuare le simulazioni. Utilizzando i dati raccolti in precedenza sull'area dell'alta pianura trevigiana si è riusciti a generare il file relativo al terreno. Il modello ha bisogno di diverse informazioni per poter effettuare simulazioni precise e realistiche, come ad esempio la tessitura, la capacità di ritenzione idrica, la percentuale di scheletro, il contenuto di sostanza organica, il punto di saturazione del terreno ed il punto in cui viene raggiunta la capacità di campo. Siccome non è stato possibile trovare dei dati reali di tutti questi valori, è stato utilizzato il software "Soil Water Characteristics" sviluppato dall'USDA (United States Department of Agriculture). Il software è in grado di fornire stime accurate dei valori necessari ad Aquacrop inserendo le percentuali di sabbia, argilla, sostanza organica e scheletro del terreno (www.usda.gov).

Inserendo come input i valori della composizione ricavati dalle analisi geologiche (sabbia al 50%, argilla al 15% e scheletro al 40%) si è riscontrato che nell'alta pianura trevigiana è presente un terreno franco (loam) le cui caratteristiche sono indicate a lato della schermata di output (figura 4).

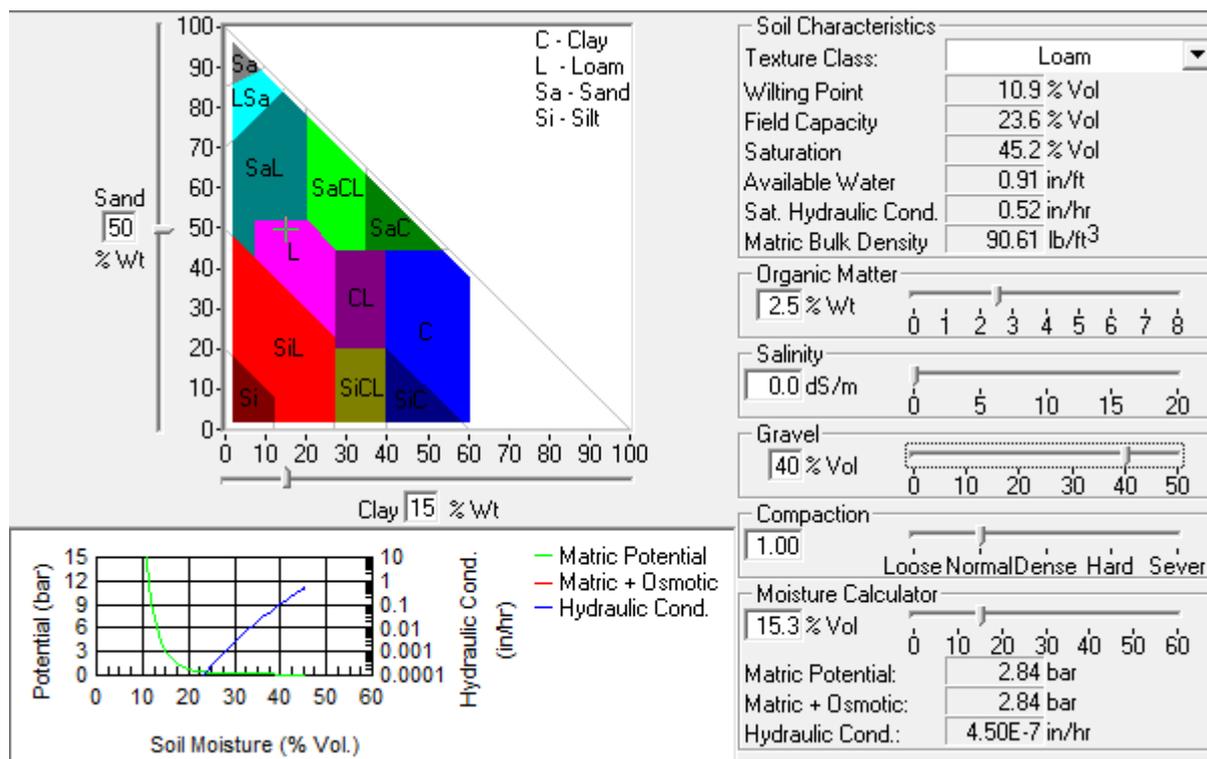


Figura 4: schermata di output del software *Soil Water Characteristics*. In base all'input fornito (in alto a sinistra la composizione del terreno) è possibile ottenere delle stime per i valori di tessitura, capacità di campo, saturazione, conduttività idraulica, ecc. (in alto a destra).

In Aquacrop inoltre è possibile identificare più strati del terreno, in quanto la composizione e la percentuale di scheletro possono variare in profondità. Si è scelto di definire una profondità massima di 2 metri (nei quali la maggior parte delle radici delle colture in analisi si sviluppano) dividendo il terreno in 2 strati: il primo, profondo 70 centimetri, possiede le caratteristiche sopra citate; lo strato sottostante invece, profondo 130 cm, è caratterizzato da percentuali più alte di sabbia, argilla e scheletro. Questo perché i caratteri granulometrici del materiale e la successione stratigrafica variano con la profondità e con l'approfondirsi del terreno sono state rilevate una maggiore presenza di sabbia e ghiaia (Postumia cave s.r.l., 2010).

Aquacrop fornisce anche la possibilità di inserire informazioni riguardanti le eventuali falde sotterranee dalle quali il terreno può assorbire acqua per azione capillare. Nel caso di questo elaborato, è stato indicato che non sono presenti falde sotterranee in quanto nell'area dell'alta pianura trevigiana le falde sono molto profonde e i terreni non riescono ad influenzare i terreni coltivati.

Un altro aspetto importante da considerare durante le simulazioni in Aquacrop sono gli interventi irrigui: il software mette a disposizione la possibilità di scegliere tra diversi metodi irrigui in base al tipo di gestione che si vuole effettuare sugli appezzamenti. Il primo passo è quello di indicare al programma se la coltura sarà sottoposta ad interventi artificiali (irrigazioni) oppure se non verrà sottoposta a nessuna irrigazione (rainfed cropping). Nel caso in cui l'appezzamento venga irrigato artificialmente, il software mette a disposizione diverse tipologie di gestione irrigua tra i quali scorrimento, sommersione, irrigazione a pioggia oppure a goccia (Stricevic R. et al., 2011).

È importante definire la tipologia degli interventi irrigui in quanto le formule intrinseche al programma tengono in considerazione le differenze tra i vari metodi quando si tratta di calcolare i mm effettivi di acqua che sono disponibili alla coltura. Questo dipende dalle varie efficienze dei metodi irrigui, ed ovviamente dalla quantità di acqua che viene fornita con ogni intervento. Aquacrop inoltre offre la possibilità di indicare la percentuale dell'appezzamento che viene effettivamente bagnata durante gli interventi irrigui: in questo modo è possibile indicare ad esempio la percentuale di terra che viene bagnata tramite un'irrigazione a scorrimento con solchi. Per semplificare la gestione delle simulazioni è inoltre possibile definire un piano di irrigazione, ossia una tabella che permette di indicare il giorno esatto di ogni singolo intervento irriguo che viene effettuato durante il ciclo vegetativo della coltura, con il relativo apporto in mm (Geerts S. et al., 2010).

Nello svolgimento di questo elaborato sono stati considerati 3 metodi irrigui: lo scorrimento, l'irrigazione a pioggia e l'irrigazione a goccia. Di conseguenza sono stati creati 3 piani irrigui, ognuno relativo ad uno specifico metodo. Per quanto riguarda l'intervallo tra gli interventi, sono stati utilizzati i turni consortili rispettivi di ogni metodologia, considerando inoltre la durata della stagione irrigua che generalmente inizia a metà maggio e termina a metà settembre.

- Irrigazione a scorrimento è stato necessario indicare il metodo “irrigazione superficiale a solchi”, definendo una percentuale di terreno effettivamente bagnato pari all'80%. Il piano irriguo prevede un intervento ogni 8 giorni con un apporto di 65 mm d'acqua.
- Irrigazione ad aspersione (rotolone): Aquacrop sfortunatamente non offre la possibilità di differenziare i diversi metodi utilizzabili per l'irrigazione a pioggia, offrendo una sola tipologia denominata “sprinkler irrigation”. In questo caso per semplicità gestionale è stato indicato che il 100% della superficie viene bagnata durante gli interventi. Il piano

irriguo in questo caso prevede un intervento ogni 10 giorni con un apporto di 42 mm d'acqua.

- Irrigazione a goccia: anche in questo caso Aquacrop non fornisce la possibilità di differenziare i vari tipi di erogatori o gocciolatori utilizzabili nell'irrigazione a goccia ed offre una unica voce selezionabile con il nome di "drip irrigation". Si è scelto di indicare come area totale bagnata dell'appezzamento il 30% del totale. Il piano irriguo prevede un intervento ogni 8 giorni con un apporto di 30 mm d'acqua.

3.4.2 Simulazioni

Una volta che tutti i database riguardanti clima, terreno, modalità di irrigazione e colture sono stati inseriti nel modello Aquacrop, è stato possibile eseguire le varie simulazioni colturali. Sono stati eseguiti diversi tipi di simulazioni, divise in base all'annata ed ai diversi metodi irrigui, ottenendo così un insieme di risultati derivanti dall'associazione annata-coltura-metodo irriguo.

Sono stati eseguiti due set di simulazioni: il primo, riguardante le irrigazioni effettuate secondo la disponibilità consortile, prevede l'analisi di tutti i 6 anni d'interesse (2017-18-19-20-21-22) con l'utilizzo di piani irrigui ben definiti secondo la disponibilità del consorzio e che non hanno tenuto conto dell'apporto idrico naturale. Questo set di simulazioni serve per generare uno storico di dati relativi alla coltura ed alla sua risposta alle irrigazioni, considerando il massimo apporto idrico fornito dal consorzio senza limitazioni e quindi limitando al minimo l'impatto gestionale.

Il secondo set di simulazioni invece è relativo all'utilizzo reale dei sistemi irrigui da parte degli agricoltori: è stato infatti necessario reperire da alcuni coltivatori locali informazioni riguardanti i metodi di irrigazione utilizzati, la distanza temporale fra gli interventi e la quantità d'acqua che è stata apportata per ogni coltura in esame. Sono stati raccolti dati relativi solamente all'annata 2022 in quanto a causa della forte siccità che l'ha caratterizzata ha rappresentato il momento di interesse in cui confrontare la gestione teorica consortile con quella aziendale per osservare se ci siano effettivamente delle differenze.

Per ogni simulazione effettuata (sia consortile che aziendale) Aquacrop fornisce la possibilità di generare dei file di testo contenenti tutte le informazioni relative alla coltura (resa, traspirazione, stato di stress, ecc.) ed alla gestione idrica del suolo (contenuto di acqua, evaporazione relativa, ecc). Sono quindi stati creati dei database contenenti l'insieme dei

risultati delle simulazioni di ogni associazione coltura-metodo irriguo che sono successivamente stati utilizzati durante la fase di analisi dei risultati per confrontare i vari metodi/turni irrigui.

Nello specifico, per quanto riguarda le simulazioni consortili, sono state svolte simulazioni per tutti i 6 anni oggetto d'esame (dal 2017 al 2022 compresi) in modo da avere uno storico riguardante la produzione della coltura ed il rapporto con i vari metodi irrigui. Per ogni annata si è scelto di effettuare una simulazione per ogni associazione coltura-metodo irriguo, in base ai metodi più frequentemente utilizzati per ogni coltura.

- Mais: sono stati eseguiti tre set di simulazioni per ogni annata, ognuno dei quali riguardante un metodo irriguo tra scorrimento, irrigazione a pioggia e a goccia. Per i metodi a scorrimento ed a goccia le turnazioni degli apporti idrici sono state definite a 8 giorni di distanza, mentre per il metodo ad aspersione la distanza fra gli interventi è di 10 giorni.
- Soia: sono stati eseguiti due set di simulazioni per ogni annata, relativi all'irrigazione a scorrimento ed aspersione. Anche in questo caso i turni relativi all'irrigazione a scorrimento sono stati distanziati di 8 giorni mentre per l'irrigazione ad aspersione 10.
- Vite: è stato analizzato solamente il metodo dell'irrigazione a goccia con interventi effettuati a distanza di 8 giorni.
- Radicchio: è stato analizzato solamente il metodo dell'irrigazione ad aspersione con interventi effettuati a distanza di 10 giorni.

Per quanto riguarda le simulazioni aziendali, sono state svolte solamente per l'annata 2022. È stato necessario reperire dagli agricoltori locali diverse informazioni sulla tipologia di metodo irriguo e sulla distanza fra gli interventi. I dati raccolti sono stati divisi per coltura e sono raccolti nella Tabella 1.

Gli esiti delle simulazioni sono stati raccolti in diversi file di testo che successivamente sono stati raggruppati in file Excel contenenti le informazioni relative ad ogni associazione coltura-metodo irriguo per più annate. Questo ha permesso di analizzare i risultati ottenuti mediante la produzione di grafici che collegano diversi parametri di interesse.

Tabella 1: sintesi dei dati aziendali raccolti da alcune aziende locali. I dati relativi agli interventi irrigui ed agli apporti in mm sono stati utilizzati durante le simulazioni per confrontare la gestione teorica consortile con quella reale aziendale.

MAIS					
	Data di semina	Metodo irriguo	N° interventi	Distanza interventi	Apporto (mm)
Azienda 1	27/03/2022	Scorrimento	7	10 giorni	72
Azienda 2	27/03/2022	aspersione (rotolone)	5	10 giorni	50
Azienda 3	30/05/2022	Scorrimento	6	10 giorni	72
Azienda 4	30/05/2022	aspersione (rotolone)	6	10 giorni	50
SOIA					
	Data di semina	Metodo irriguo	N° interventi	Distanza interventi	Apporto (mm)
Azienda 1	20/04/2022	Scorrimento	4	2 settimane	72
Azienda 2	27/04/2022	Scorrimento	4	2 settimane	72
Azienda 3	1/07/2022	aspersione (pivot)	6	7 giorni	25
VITE					
	Data di semina	Metodo irriguo	N° interventi	Distanza interventi	Apporto (mm)
Azienda 1	/	Goccia	2	1 mese	40
Azienda 2	/	Goccia	4	2 settimane	40
RADICCHIO					
	Data di semina	Metodo irriguo	N° interventi	Data interventi	Apporto (mm)
Azienda 1	01/08/2022	aspersione (rotolone)	2	03/08 – 10/08	50

3.5 Elaborazione dati

Una volta che le simulazioni sono state portate a termine e i risultati sono stati raccolti nelle cartelle Excel, è stato possibile sviluppare una serie di grafici e analizzare i dati ricavati per poterli confrontare tra loro, in modo da avere un resoconto sulle varie differenze tra i metodi

irrigui e le varie turnazioni in esame.

Il primo test analitico che è stato svolto è un'analisi della correlazione tra le differenze climatiche e di evapotraspirazione durante le diverse annate simulate in modo da avere un riferimento sulla similarità climatica nel corso degli anni. La correlazione è una misura statistica che esprime la relazione lineare tra due variabili e serve per esprimere le relazioni semplici tra di esse. La correlazione viene descritta mediante un valore che non è dotato di un'unità di misura specifica, chiamato coefficiente di correlazione, che indica appunto la percentuale di correlazione tra due variabili ossia quanto tendono a variare in modo simile tra loro (Bramanti M., 1997). La correlazione riporta un coefficiente di determinazione R^2 , valori prossimi a 1 hanno elevata correlazione, mentre valori prossimi a zero corrispondono a serie di dati diverse tra loro.

Sono stati quindi raggruppati in colonne i valori di temperatura media giornaliera (T_{avg}) e di evapotraspirazione (ET_0) suddivisi per ogni annata in esame e ne è stata effettuata la correlazione, associando ogni anno con tutti gli altri uno per volta.

Tabella 2: sintesi delle correlazioni tra i valori di Evapotraspirazione di riferimento (ET_0) e Temperatura media (T_{avg}) nelle varie annate prese in esame. I valori nelle celle rappresentano il coefficiente di correlazione tra i due set di variabili (matrici) analizzati.

ET₀	2017	2018	2019	2020	2021	2022
2017						
2018	0,36					
2019	0,36	0,32				
2020	0,41	0,29	0,24			
2021	0,44	0,34	0,47	0,40		
2022	0,42	0,31	0,39	0,27	0,31	
T_{avg}	2017	2018	2019	2020	2021	2022
2017						
2018	0,60					
2019	0,69	0,63				
2020	0,71	0,61	0,75			
2021	0,75	0,64	0,81	0,77		
2022	0,82	0,58	0,77	0,76	0,78	

Una volta eseguite le varie correlazioni per ogni associazione coltura-metodo irriguo, sono stati elaborati anche una serie di grafici che ritraggono e confrontano diversi aspetti delle annate irrigue. In particolare sono stati sviluppate 4 serie di grafici:

- Grafici climatici: mettono a confronto gli apporti idrici naturali con l'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) ed altri parametri climatici come la temperatura media (T_{avg}), l'evaporazione del terreno e la traspirazione della coltura. In particolare, l'evapotraspirazione di riferimento (chiamata in breve "ET₀"), è relativa a valori di evapotraspirazione di una coltura di riferimento, ossia la Festuca, in un terreno di riferimento senza scarsità d'acqua. L' ET_0 serve per studiare l'evaporazione richiesta dall'atmosfera indipendentemente dalla coltura presente e dalla gestione dell'appezzamento. Siccome l'acqua è abbondante, i fattori del suolo non la influenzano. (Allen G.R. et al., 1998).
- Grafici relativi all'efficienza d'uso dell'acqua: mettono in relazione la resa prodotta dalle colture con la produttività dell'acqua in relazione all'evapotraspirazione (WP_{ET}). La produttività dell'acqua è espressa come il rapporto tra la resa espressa in kg (Yield) e la somma dell'acqua dispersa tramite evaporazione e traspirazione espresse in metri cubi d'acqua ($E + TR$). In sostanza rappresenta quindi il rapporto tra la resa e l'acqua utilizzata per produrla (Raes D. et al., 2018).

$$WP_{ET} = \frac{Y}{(E + TR)} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

- Grafici relativi alla sintesi della serie storica: rappresentano per ogni associazione coltura-metodo irriguo la serie storica dei valori climatici e relativi all'irrigazione. Sono istogrammi che confrontano per ogni ciclo vegetativo delle varie colture i valori di pioggia, acqua fornita tramite irrigazione, evaporazione, traspirazione ed evapotraspirazione e risultano utili per avere un riferimento sintetico dei vari indici climatici.
- Grafici relativi alla serie storica del bilancio idrico: rappresentano in un unico insieme tutte le varie annate in ordine progressivo analizzando il bilancio idrico delle varie colture e mettendo in rapporto i consumi e gli apporti idrici. Prendono in considerazione le precipitazioni naturali, l'apporto irriguo degli interventi artificiali e l'evapotraspirazione della coltura.

4. Risultati

4.1 Analisi climatiche

Prima di analizzare i risultati delle simulazioni è stato effettuato uno studio sull'andamento climatico delle annate prese in considerazione, in modo da avere un quadro generale della situazione. I fattori che sono stati presi in considerazione sono stati le precipitazioni cumulate, la temperatura media e l'evapotraspirazione di riferimento. Tutti questi parametri sono stati analizzati in un intervallo di tempo che parte dal primo giorno di aprile e finisce con l'ultimo giorno di settembre, questo per focalizzare maggiormente l'attenzione nei mesi che riguardano il periodo vegetativo delle colture prese in esame. Studiare l'andamento climatico è servito inoltre per spiegare alcuni fenomeni che sono stati riscontrati negli studi specifici delle colture, come ad esempio le ridotte produzioni in una determinata annata rispetto ad un'altra. Un riassunto degli studi climatici è osservabile nel grafico sottostante (Figura 5).

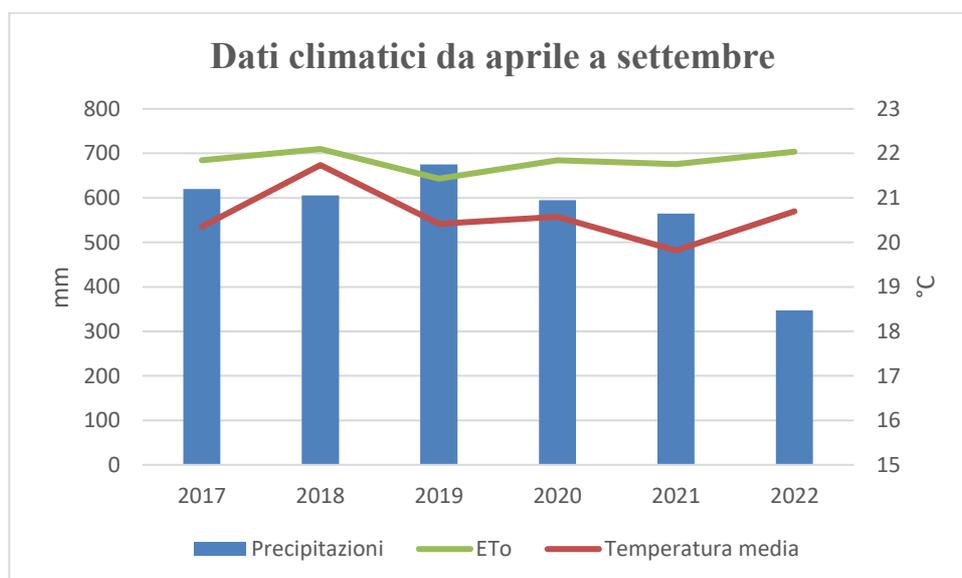


Figura 5: Andamento climatico negli ultimi 6 anni nel periodo aprile-settembre.

Analizzando il grafico si possono fare delle osservazioni riguardanti i vari parametri:

- **Precipitazioni:** in genere le varie annate hanno dimostrato dei valori di pioggia intorno ai 600 mm/stagione, ad eccezione delle annate 2019 e 2022, rispettivamente le più piovose o siccitose dell'insieme. Nel complesso, il valore medio di precipitazione è stato di 568 mm stagionali, ma il range risulta molto variabile. L'annata 2019 ha dimostrato un aumento del 18% rispetto alla media, con un totale di 675 mm nell'arco della

stagione. L'annata 2022 invece è risultata la più siccitosa del gruppo, in quanto caratterizzata dal 39% in meno delle precipitazioni rispetto alla media per un totale di 347 mm, la maggior parte delle quali sono state rilevate dalla metà di agosto in poi, risultando in un inizio di stagione particolarmente siccitoso. La pluviometria è uno dei parametri principali che va ad influire sulla produttività della coltura e sull'efficienza d'uso dell'acqua e dei valori anomali come quelli misurati nel 2022 sono utili per spiegare le differenze di produzione delle varie colture rispetto agli anni precedenti, soprattutto per quanto riguarda le colture particolarmente sensibili agli stress idrici.

- Temperature: sono state raccolte le temperature minime e massime giornaliere durante l'intervallo di tempo in esame (dal 1° aprile al 30 settembre), dalle quali è stata ricavata la temperatura media giornaliera e successivamente è stata raccolta nelle varie annate presenti nel grafico. La media generale è di 20,5°C ma è possibile osservare come sia variata nel corso degli anni, attestandosi con valori che vanno da un minimo di 19,8°C nel 2021 (-3,5% rispetto alla media) ad un massimo di 21,7°C nel 2018 (+6% rispetto alla media). È importante correlare la temperatura con le precipitazioni in quanto anch'essa risulta un parametro rilevante per le produzioni delle colture e dell'efficienza d'uso dell'acqua. In particolare, sebbene l'annata 2018 sia risultata la più calda del gruppo, le precipitazioni sono state nella media e quindi non c'è stata un'interazione negativa elevata tra questi due parametri, mentre nel 2022 le temperature sono risultate leggermente sopra la media (circa +1%) ma in combinazione con le scarsissime precipitazioni hanno causato uno stress cumulato alle varie colture.
- Evapotraspirazione di riferimento: l'evapotraspirazione è data dall'insieme dell'acqua evaporata dal suolo e da quella traspirata dalle colture. Questi processi avvengono simultaneamente ed entrambi sono influenzati dalle condizioni climatiche, principalmente dalla temperatura ma anche da parametri come radiazione solare, umidità relativa e velocità del vento. Per questo motivo sono stati raccolti i dati relativi a questi parametri climatici dal sito di Arpav e successivamente sono stati presi in considerazione durante il calcolo dell'evapotraspirazione da parte di Aquacrop. Nel grafico è possibile osservare l'andamento concavo della linea verde relativa all'evapotraspirazione, con valori maggiori nelle annate 2017, 2018 e 2022. Questo perché, a parità di altre condizioni, durante le annate siccitose che causano elevati stress alla pianta, l'evapotraspirazione aumenta a causa della maggior suzione da parte della

coltura, causata dalle maggiori temperature, considerando comunque un ottimale rifornimento idrico. La media risulta attestarsi sui 626 mm/stagione, con i picchi più alti nel 2018 e nel 2022, probabilmente a causa dell'insieme di fattori riguardanti le scarse precipitazioni e le alte temperature.

4.2 Analisi delle simulazioni per coltura e sistema irriguo

Le simulazioni effettuate valutano i vari sistemi coltura-metodo irriguo, analizzando singolarmente ogni associazione per valutare l'efficacia in base a vari parametri. Per ogni associazione sono stati sviluppati 3 grafici: uno relativo all'efficienza d'uso dell'acqua, uno relativo alla sintesi della serie storica di vari parametri (pioggia, acqua di irrigazione, evapotraspirazione, traspirazione ed evaporazione), ed infine un grafico relativo alla serie storica del bilancio idrico.

4.2.1 Mais - irrigato con il metodo a scorrimento

Il primo metodo irriguo con cui è stato simulato il mais è stato lo scorrimento. Le varie simulazioni sono state fatte a partire dal 15 aprile ed il ciclo vegetativo è stato impostato a 130 giorni, terminando quindi le simulazioni verso fine agosto, periodo in cui la coltura ha raggiunto la maturità. Per quanto riguarda il piano irriguo, sono stati effettuati 13 interventi a distanza di 8 giorni ciascuno, partendo dal 15 maggio ossia la data di inizio del periodo irriguo imposto dal consorzio di bonifica. La quantità d'acqua apportata da ciascun intervento è stata 65 mm.

Il primo parametro analizzato è stata l'efficienza d'uso dell'acqua: in linea di massima si è osservato che aumentando la produttività dell'acqua aumenta anche la resa. La produttività dell'acqua indica la quantità di acqua che viene utilizzata per produrre una determinata resa nella coltura, quindi generalmente con produttività maggiori si avranno anche rese maggiori (Figura 6).

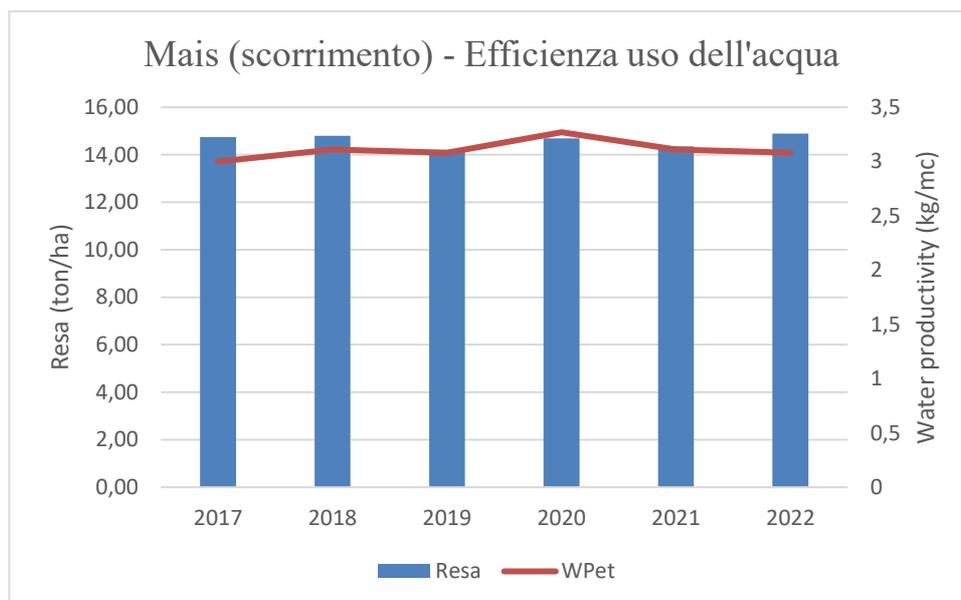


Figura 6. Efficienza d'uso dell'acqua nell'associazione mais – irrigazione a scorrimento.

La media produttiva generale risulta di circa 14,6 tonnellate ha⁻¹, mentre la produttività media dell'acqua è di 3,1 kg m⁻³. Un caso particolare che ha attirato l'attenzione è il confronto tra le annate 2021-2022, in quanto nel 2022 a parità di produttività dell'acqua è risultato più produttivo e quindi l'uso dell'acqua è stato più efficiente, probabilmente perché l'acqua fornita in quantità minore a causa dell'annata particolarmente seccata è bastata comunque per superare i periodi di stress ottimizzando la produzione di sostanza secca. In sintesi, a parità di WPet, la resa è stata superiore del +3,7% nel 2022.

Un altro caso da analizzare è il confronto 2020 – 2018, in quanto a parità di resa nel 2020 la produttività dell'acqua è stata superiore. Questo probabilmente è dovuto all'effetto dei vari parametri climatici come temperatura e disponibilità d'acqua, in quanto l'apporto idrico artificiale risulta sempre uguale negli anni. In generale, spesso è la pluviometria ad influenzare la variabilità annuale.

Infine, l'elevata siccità caratteristica del 2022 non sembra aver influenzato le rese della coltura, probabilmente dovuto al fatto che il piano irriguo è riuscito ad apportare abbastanza acqua da soddisfare i bisogni della pianta e non farla andare in stress anche durante questa annata particolarmente difficile. Un'altra ipotesi deriva dal fatto che il mais, essendo seminato in un periodo relativamente precoce rispetto alle altre colture, è riuscito a germinare e svilupparsi nei mesi di aprile e maggio (durante i quali le temperature sono state più basse e le precipitazioni più frequenti) senza particolari problemi, arrivando nella fase di levata in condizioni più

favorevoli allo sviluppo. Inoltre, la capacità del mais di mettere in atto modalità di resistenza agli stress idrici potrebbe aver influenzato la coltura nel mantenimento delle produzioni nonostante la siccità. D'altra parte, precedenti studi hanno evidenziato come il mais possa raggiungere alte rese anche riducendo i volumi irrigui rispetto a quelli comunemente distribuiti (Martello et al., 2013)

Il secondo parametro analizzato è la serie storica dei parametri climatici. È stata effettuata una sintesi delle piogge, dell'acqua irrigua apportata alla coltura, dell'evapotraspirazione di riferimento (ET_0), dell'evaporazione e della traspirazione (figura 7).

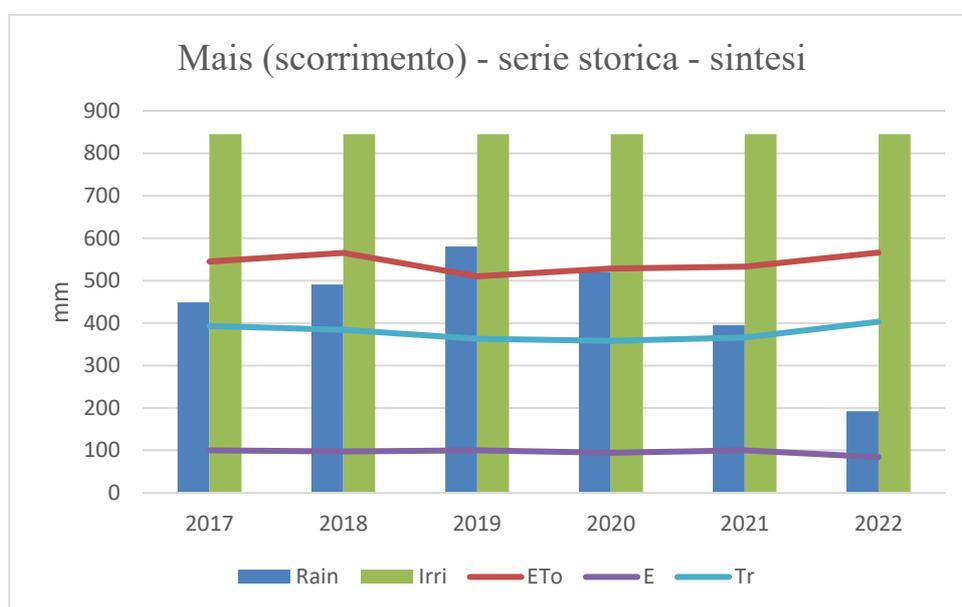


Figura 7. Sintesi della serie storica dei vari parametri climatici.

Analizzando dettagliatamente l'andamento climatico durante il periodo vegetativo del mais è stato possibile osservare che le precipitazioni sono state molto basse nel 2022 rispetto alla media, in particolare nel periodo che va dal 15 aprile al 30 settembre 2022 l'apporto idrico naturale è stato il 57% in meno degli altri anni. È inoltre possibile osservare l'andamento della curva di traspirazione, ossia la vera quantità di acqua utilizzata dalla coltura per il proprio sviluppo, che risulta concava, con i picchi rispettivamente nel 2017 e nel 2022.

Il piano irriguo ha apportato tutti gli anni un totale di 845 mm, ampiamente sufficiente a soddisfare le richieste della coltura. In particolare, lo scarto tra l'evapotraspirazione di riferimento (linea rossa) e la pioggia (colonna blu) rappresenta il bilancio climatico e indica il fabbisogno irriguo da fornire alla coltura per evitare che vada in stress. In genere, l'apporto

idrico è sempre superiore dello scarto, ossia l'irrigazione fornisce un surplus al necessario. Il metodo di irrigazione a scorrimento, dati i grandi apporti idrici, è in grado di fornire acqua a sufficienza alla coltura anche in annate particolarmente siccitose come il 2022, in cui lo scarto tra la pioggia e l' ET_0 risulta più ampio del normale.

L'ultimo parametro analizzato è il bilancio idrico, dove viene confrontata l'evapotraspirazione effettiva della coltura di interesse con gli apporti idrici forniti da pioggia e irrigazione. È stato sviluppato un grafico biennale incentrato su due annate di riferimento, ossia 2017 e 2018, per analizzare l'andamento dell'evapotraspirazione in base ai dati climatici (Figura 8).

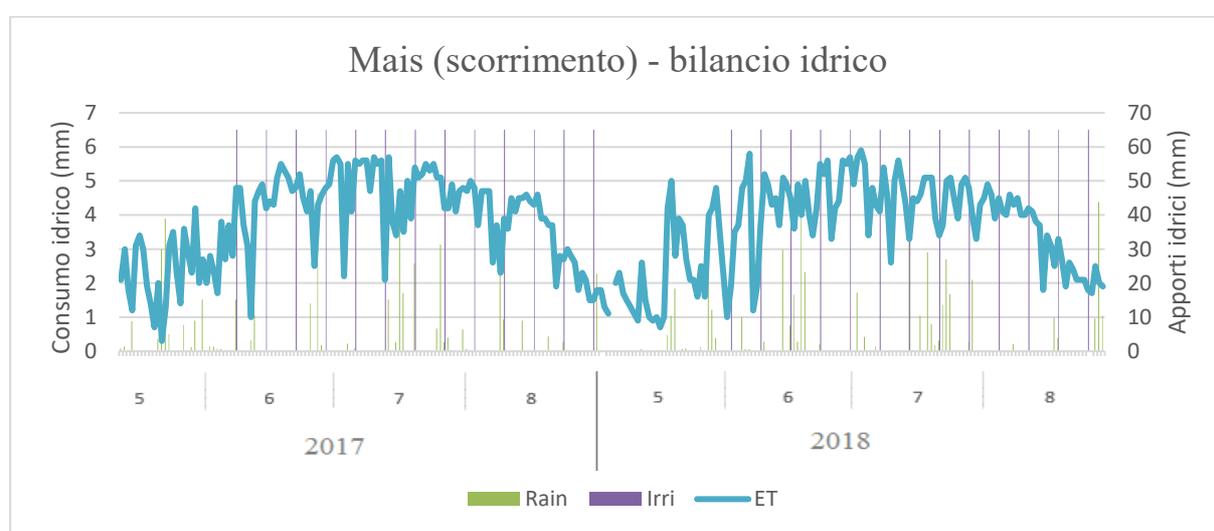


Figura 8. Bilancio idrico del mais irrigato a scorrimento.

Il grafico in questione raffigura le annate del 2017 e del 2018, in quanto la prima è stata anch'essa particolarmente siccitosa e quindi è stata considerata per ottenere un confronto con un'annata normale. È possibile notare come a parità di apporti idrici tramite irrigazione, gli apporti pluviometrici siano stati inferiori nella stagione 2017 di circa 50 mm rispetto al 2018. L'andamento della linea dell'evapotraspirazione è determinato dai fenomeni di traspirazione della coltura e di evaporazione dal suolo. In particolare, la differenza di Et tra le due annate è di circa 20 mm, ma nel 2017 l'andamento è stato molto più altalenante, con picchi e minimi più frequenti rispetto al 2018. La presenza di questi picchi è probabilmente dovuta all'andamento climatico, in particolare dei fattori che influenzano l'evapotraspirazione come la temperatura, la radiazione solare, la velocità del vento e l'umidità del terreno. Ad esempio, i frequenti picchi presenti nella prima parte del grafico relativi all'annata 2017 sono probabilmente dovuti a delle giornate particolarmente calde nei mesi di aprile – maggio, che nel 2017 risultano più frequenti

rispetto al 2018. Con l'avanzare della stagione e l'introduzione dell'irrigazione i picchi sono stati probabilmente causati dalla presenza o meno degli interventi irrigui, in quanto l'acqua fornita dalle irrigazioni influenza i fenomeni di traspirazione ed evaporazione.

4.2.2 Mais - irrigato con il metodo ad aspersione

Il secondo metodo irriguo con cui è stato simulato il mais è stata l'irrigazione ad aspersione. Anche in questo caso le simulazioni sono state fatte a partire dal 15 aprile con un ciclo vegetativo di 130 giorni. Il piano irriguo in questo caso ha previsto 11 interventi a distanza di 10 giorni ciascuno, a partire dalla metà di maggio. La quantità d'acqua apportata da ciascun intervento è stata di 42 mm per un totale di 462 mm distribuiti nella stagione irrigua.

Per quanto riguarda l'efficienza d'uso dell'acqua, il grafico risultante è molto simile a quello generato con il metodo a scorrimento. Avendo fornito anche in questo caso acqua in abbondanza, la coltura non ha sofferto particolarmente gli stress idrici ed è riuscita a sviluppare delle rese elevate, con una media tra gli anni di 14,6 tonn ha⁻¹. Anche in questo caso l'aumento della produttività dell'acqua è direttamente proporzionale all'aumento di resa.

In figura 9 si può notare l'andamento della precipitazione, degli apporti irrigui e della ET con le sue componenti E e T.

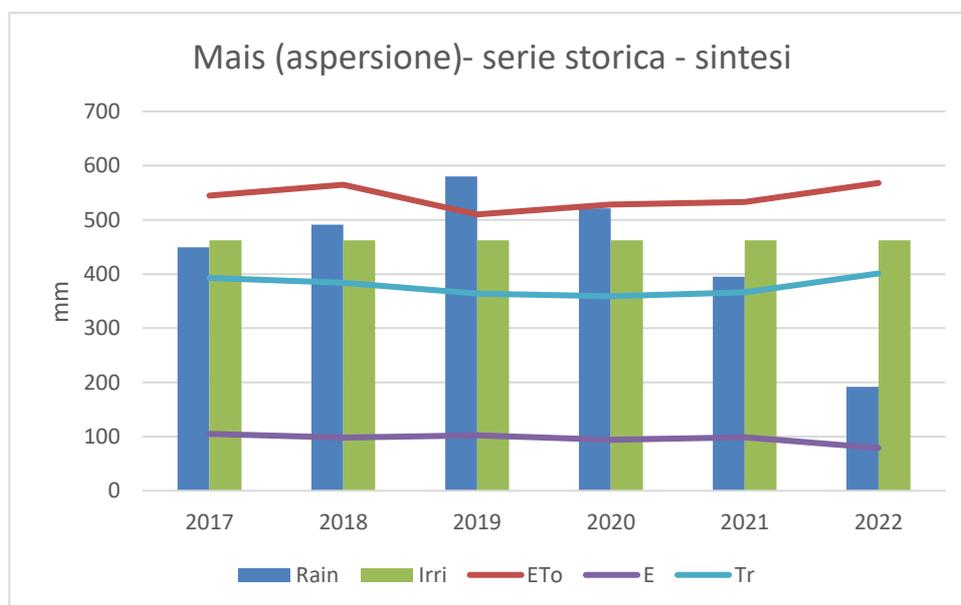


Figura 9. Analisi della serie storica dei fattori climatici relativi alle simulazioni del mais irrigato per aspersione.

L'anno 2019 risulta il più piovoso della serie mentre il 2022 risulta il più siccitoso. Anche in questo caso l'andamento della linea di traspirazione risulta concavo, con i punti più alti nelle annate più siccitose del 2017 e del 2022. L'evapotraspirazione di riferimento, determinata dalla somma di evaporazione e traspirazione, ha avuto una media di 540 mm/annui ed anche in questo caso lo scarto tra evapotraspirazione e pluviometria è stato ampiamente coperto dalle irrigazioni effettuate, apportando un surplus.

Anche l'analisi del bilancio idrico effettuata per il mais irrigato ad aspersione è simile a quella dell'irrigazione a scorrimento. È evidente la variazione del parametro riguardante l'apporto irriguo, nettamente minore del metodo a scorrimento, ma nonostante ciò l'evapotraspirazione del mais ha rilevato dei valori molto simili, con un andamento iniziale più basso, in media 2,5 mm/giorno, che successivamente si è alzato durante la stagione irrigua fino ad arrivare a valori di 5 mm/giorno.

4.2.3 Mais - irrigato con il metodo a goccia

Il terzo e ultimo metodo irriguo con cui è stato simulato il mais è stato il metodo a goccia. Anche in questo caso la semina è stata effettuata a metà aprile ed il ciclo vegetativo è lungo 130 giorni. Il piano irriguo in questo caso ha previsto 13 interventi, partendo dalla metà di maggio, ciascuno dei quali ha apportato 30 mm alla coltura, per un totale di 390 mm. La resa media anche in questo caso è risultata di 14,5 tonnellate/ettaro, tra i quali il 2022 e il 2018 sono risultati gli anni più produttivi, rispettivamente con 14,9 e 14,8 tonnellate/ettaro.

Riguardo all'andamento dei dati climatici, i valori di evaporazione, traspirazione ed evapotraspirazione di riferimento sono simili agli altri metodi. L'apporto idrico totale delle irrigazioni risulta più basso, in quanto il metodo a goccia consente di limitare gli apporti irrigui per la migliore efficienza d'adacquamento (Figura 10).

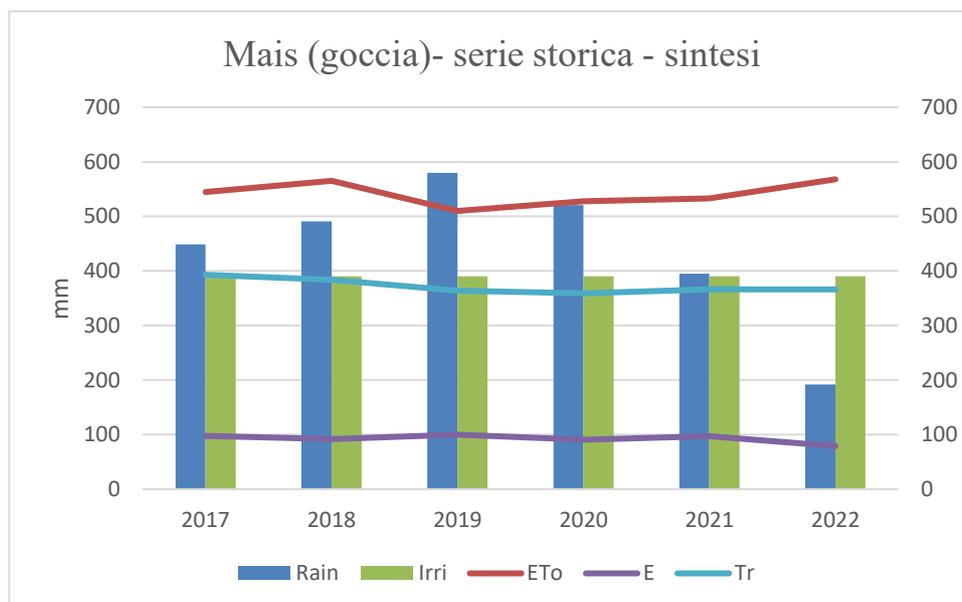


Figura 10. Analisi dei parametri climatici del mais irrigato a goccia.

Anche in questo caso lo scarto tra evapotraspirazione di riferimento e pluviometria è stato coperto a pieno dagli apporti irrigui apportando un surplus. Nel 2022 il quantitativo apportato tramite irrigazione è risultato appena sufficiente a soddisfare il fabbisogno, in quanto l'evapotraspirazione di riferimento risulta pari a 568 mm mentre la somma di pluviometria e apporti irrigui raggiunge i 582 mm.

Per quanto riguarda il bilancio idrico, anche in questo caso i grafici sono abbastanza simili per i valori di evapotraspirazione, portando alla formazione di picchi e minimi dovuti probabilmente alla presenza di temperature anomale o altri parametri climatici come radiazione solare o velocità del vento al di fuori del normale.

4.2.4 Soia – irrigata con il metodo a scorrimento

Riguardo alla soia, il primo metodo irriguo con cui è stata simulata è lo scorrimento. La data di inizio delle simulazioni è stata posta al primo giorno di maggio ed il ciclo vegetativo è stato impostato a 130 giorni, relativo ad una semina di primo raccolto, il che ha portato al termine le simulazioni intorno ai primi giorni di settembre, nel periodo in cui la coltura ha raggiunto la maturità. Il piano irriguo per lo scorrimento è analogo a quello utilizzato nel mais, quindi con turni distanti 8 giorni l'uno dall'altro, portando alla distribuzione di 13 interventi irrigui a partire dalla fine di maggio, a circa un mese dalla semina. Ogni intervento ha apportato 65 mm d'acqua.

Anche in merito alla soia il primo parametro analizzato è stato l'uso dell'acqua in relazione alla resa prodotta, in modo da osservare la produttività dell'acqua (figura 11).

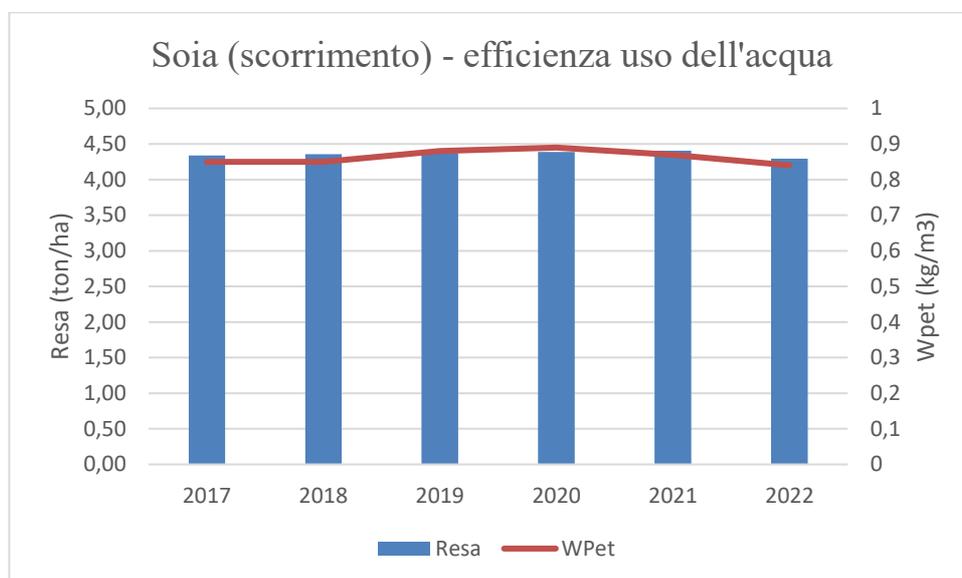


Figura 11: efficienza d'uso dell'acqua della soia – irrigazione a scorrimento.

L'andamento medio delle rese è stato molto simile negli anni, ottenendo una media di 4,36 tonnellate/ettaro. L'annata meno produttiva è stata il 2022, con una produzione di 4,29 ton/ha, inferiore del 1,6% rispetto alla media. In contrario, l'annata più produttiva è risultata il 2021, con una produzione di 4,41 ton/ha che sono risultate l'1,14% superiori alla media. Per quanto riguarda la produttività dell'acqua, la media nei 6 anni è stata di 0,86 kg/m³, con un valore massimo nel 2020 di 0,9 kg m⁻³ ed un minimo nel 2022 con un valore di 0,84 kg m⁻³.

È possibile osservare che, a parità di produzioni, la produttività dell'acqua varia negli anni con un andamento convesso, risultando maggiore nelle annate più piovose (2019 e 2020) e minore in quelle più siccitose. Come nel mais, si suppone che la differenza di produttività sia dovuta alle varie condizioni climatiche, in particolare dalla pluviometria, la quale nel caso della soia sembra influenzare più pesantemente la produttività.

Per quanto riguarda la serie storica dei dati climatici, nel periodo relativo al ciclo vegetativo della soia in esame (dall'inizio di maggio all'inizio di settembre), sono stati osservati l'andamento della traspirazione, evaporazione ed evapotraspirazione di riferimento (figura 12).

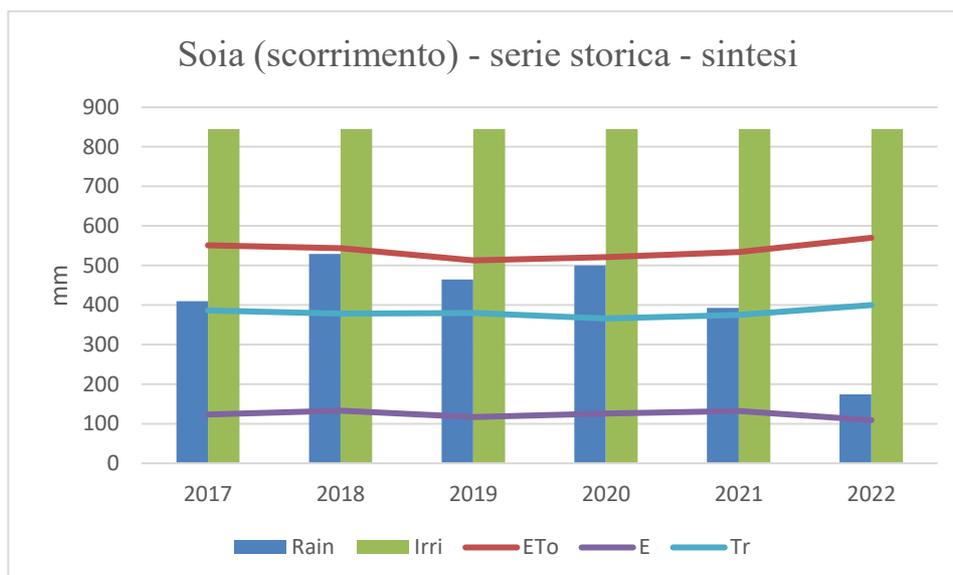


Figura 12: serie storica dei parametri climatici relativi al ciclo vegetativo della soia.

Analizzando il grafico è possibile osservare l'andamento pluviometrico nel periodo vegetativo della soia, in particolare dall'inizio di maggio fino ai primi giorni di settembre. Focalizzando i dati su questo intervallo, è risultato che la media della pluviometria negli anni è stata di 411 mm/anno, il più piovoso dei quali è stato il 2018, con precipitazioni superiori alla media del 28%. L'anno meno piovoso risulta anche in questo caso il 2022, con soli 174 mm totali nel corso dell'annata e una diminuzione di circa il 57% rispetto alla media, ancora meno rispetto al periodo analizzato con il mais. L'acqua di irrigazione è stata fornita sempre allo stesso modo, apportando 845mm totali ogni anno. È interessante analizzare l'andamento della curva di evapotraspirazione di riferimento, la quale dimostra un massimo nel 2022, ossia l'anno più siccitoso tra quelli considerati. Essendo l'irrigazione a scorrimento un metodo che apporta grandi quantitativi d'acqua alla coltura, il fabbisogno dovuto dallo scarto tra ET_0 e l'apporto pluviometrico è stato ampiamente soddisfatto.

Infine, è stato analizzato il bilancio idrico in due annate di riferimento, nel quale l'evapotraspirazione della coltura viene confrontata con gli apporti idrici naturali e artificiali (Figura 13).

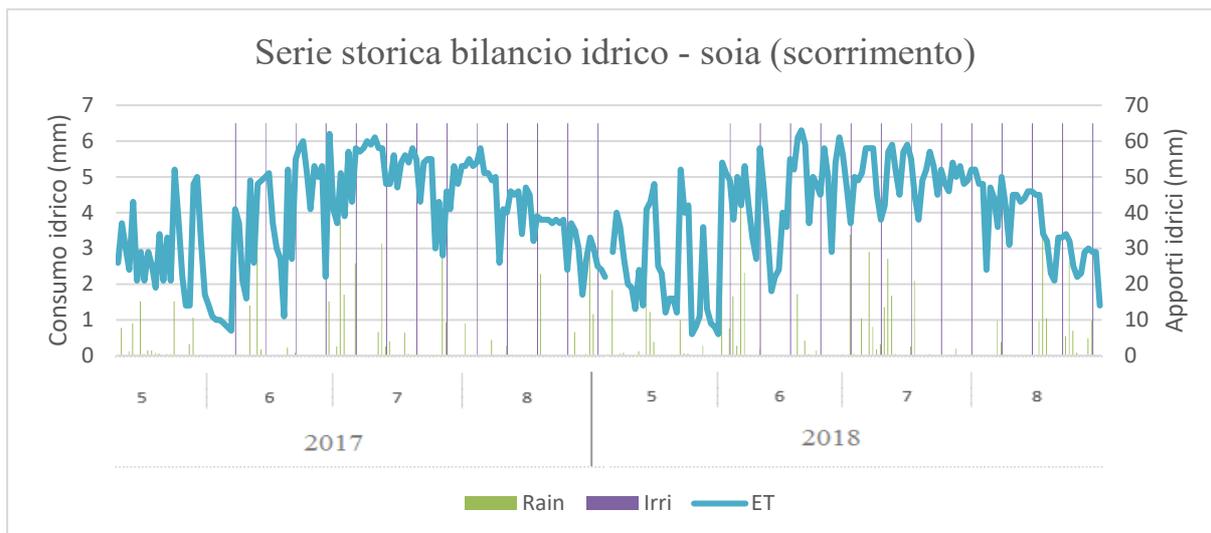


Figura 13: andamento del bilancio idrico relativo alla soia irrigata a scorrimento.

È possibile osservare come anche nel caso della soia la curva dell'evapotraspirazione segua un andamento dapprima decrescente, mentre quando iniziano gli interventi irrigui (definiti dalle linee viola) la curva ricomincia a salire per poi terminare nuovamente con un andamento decrescente.

La prima parte delle annate, durante il mese di maggio, vede un andamento decrescente della curva in quanto in mancanza di apporti idrici la coltura diminuisce l'evapotraspirazione. Le condizioni iniziali definite da Aquacrop indicano un terreno che ha raggiunto la capacità di campo, il che significa che contiene l'apporto ottimale di acqua in relazione alle variabili climatiche ed all'umidità dell'aria. Col passare del tempo e le scarse precipitazioni, la concentrazione di acqua nel terreno tende a diminuire e di conseguenza diminuisce anche l'evapotraspirazione. Una volta che l'acqua torna ad essere apportata in quantità adeguate al terreno mediante irrigazioni, l'evapotraspirazione ricomincia ad aumentare fino ad arrivare a valori di 5/6 mm al giorno. Inoltre, le condizioni iniziali prevedono il terreno nudo, il quale sarà sottoposto ad una forte evaporazione che continuerà fino a quanto la coltura non avrà coperto il terreno. I vari picchi sono probabilmente dovuti a dei fenomeni climatici come innalzamenti di temperatura o cambiamenti nella radiazione solare o velocità del vento.

4.2.5 Soia – irrigata con il metodo ad aspersione

Il secondo metodo irriguo con cui è stata simulata la soia è stato l'irrigazione ad aspersione.

Anche in questo caso l'inizio delle simulazioni è stato posto al primo giorno di maggio ed il ciclo vegetativo a 130 giorni, con una data finale intorno all'inizio di settembre. Il piano irriguo per l'irrigazione ad aspersione prevede 11 interventi a distanza di 10 giorni ciascuno. L'apporto idrico di ogni intervento è pari a 42 mm, mentre quello totale risulta di 462 mm.

Anche in merito alla soia il primo parametro analizzato è stato l'uso dell'acqua in relazione alla resa prodotta, in modo da osservare la produttività dell'acqua (Figura 11).

Per quanto riguarda l'efficienza d'uso dell'acqua, il grafico risultante è molto simile a quello generato con il metodo a scorrimento. Avendo fornito anche in questo caso acqua in abbondanza, la coltura non ha sofferto particolarmente gli stress idrici ed è riuscita a sviluppare delle rese elevate, con una media tra gli anni di 4,36 ton ha⁻¹. Anche in questo caso l'aumento della produttività dell'acqua è direttamente proporzionale all'aumento di resa.

Per quanto riguarda l'analisi dei parametri climatici negli anni, il grafico dimostra che gli apporti totali di acqua d'irrigazione sono nettamente inferiori rispetto al metodo a scorrimento, per un totale di 462 mm/anno. Le curve di evaporazione, traspirazione ed evapotraspirazione di riferimento sono molto simili, in questo caso è importante osservare che lo scarto tra evapotraspirazione e pluviometria viene coperto dagli apporti irrigui, anche nel caso del 2022 nel quale le precipitazioni sono state particolarmente scarse (Figura 14).

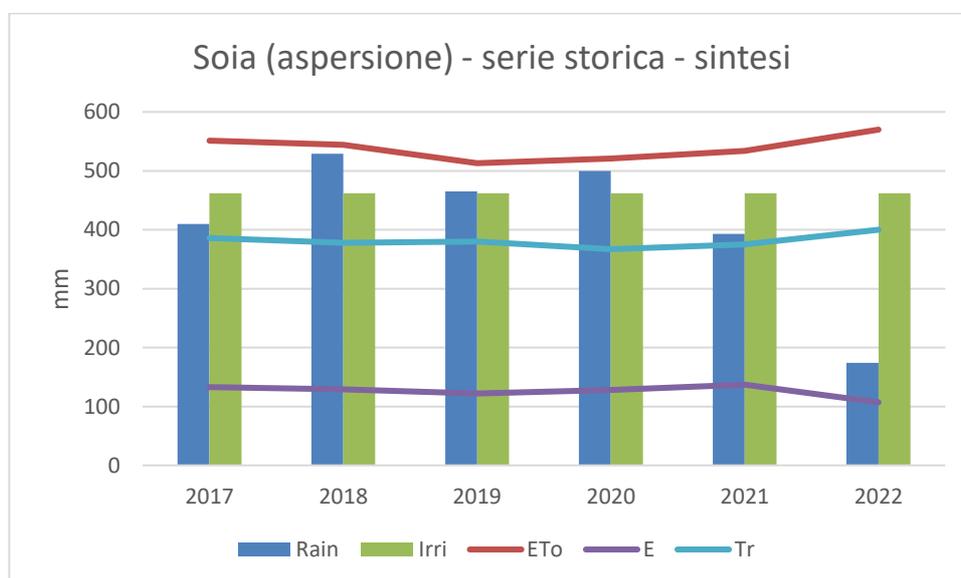


Figura 14: analisi dei parametri climatici nel corso degli anni riguardanti la soia irrigata con metodo ad aspersione.

4.2.6 Vite – irrigata con il metodo a goccia

La terza coltura su cui sono state effettuate simulazioni è stata la vite, analizzata solamente con il metodo di irrigazione a goccia, in quanto risulta il più utilizzato nell'area di interesse. Le simulazioni sono state fatte iniziare alla metà di aprile e sono terminate intorno alla fine di settembre – inizio ottobre, la data finale non è ben determinata come nelle altre colture in quanto la vite è stata simulata con il metodo dei “growing degree days”, ossia un metodo che prevede il calcolo dei gradi giornalieri accumulati dalla coltura per prevedere il raggiungimento della maturità. Il piano irriguo prevede 14 interventi irrigui a distanza di 8 giorni l'uno dall'altro. Ogni intervento ha apportato 30 mm d'acqua, per un totale a fine stagione pari a 450 mm. Anche in questo caso il primo parametro analizzato è stato l'uso dell'acqua nelle varie annate, in modo da mettere a confronto la produttività dell'acqua con la resa della coltura (Figura 15).

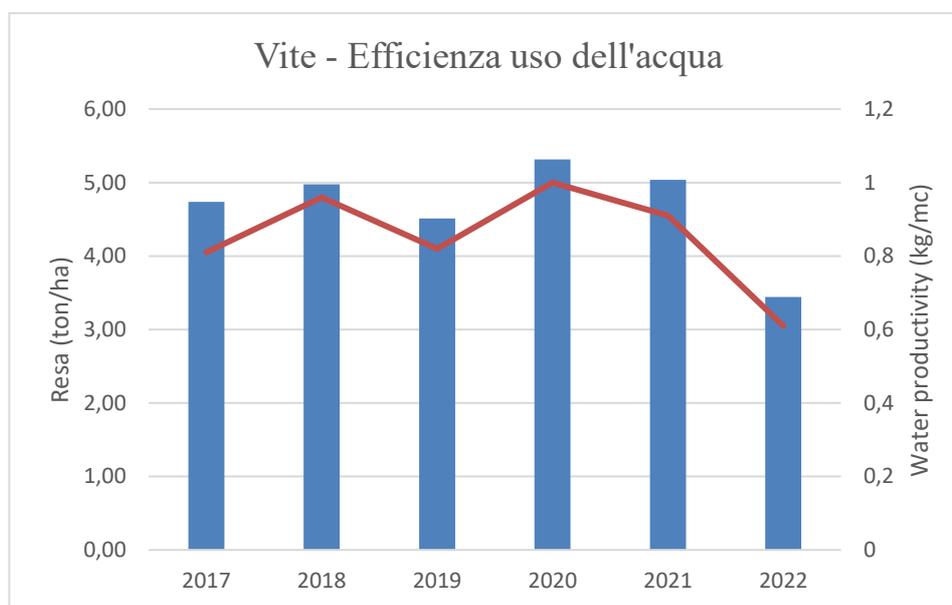


Figura 15: efficienza d'uso dell'acqua della vite.

È possibile osservare come l'andamento delle rese sia più altalenante rispetto alle altre colture: la media complessiva delle annate è pari a $4,67 \text{ ton ha}^{-1}$, ma l'intervallo è molto variabile: si passa da annate molto produttive come il 2020, in cui la produzione è pari a $5,32 \text{ tonnellate/ettaro}$ con un aumento del 14% rispetto alla media, ad annate molto meno produttive

come il 2022, il quale ha prodotto $3,44 \text{ ton ha}^{-1}$ che corrispondono al 26,4% in meno rispetto alla media. Anche l'andamento della curva di produttività dell'acqua è molto altalenante: la media complessiva risulta pari a $0,85 \text{ kg m}^{-3}$, con il massimo anch'esso nel 2020 pari ad 1 kg/m^3 , ed il minimo nel 2022 con un valore di $0,61 \text{ kg m}^{-3}$. Rispetto alle altre colture la vite sembra risentire più pesantemente delle annate sfavorevoli come il 2022 o il 2017, le quali sono caratterizzate da una siccità molto più marcata rispetto alle altre. Questo probabilmente è dovuto alla capacità intrinseca della vite di resistere allo stress idrico.

Per quanto riguarda il bilancio storico dell'andamento climatico, è stato analizzato anche per la vite l'andamento dei vari parametri quali precipitazioni, acqua apportata tramite irrigazione, evaporazione, traspirazione ed evapotraspirazione di riferimento (Figura 16).

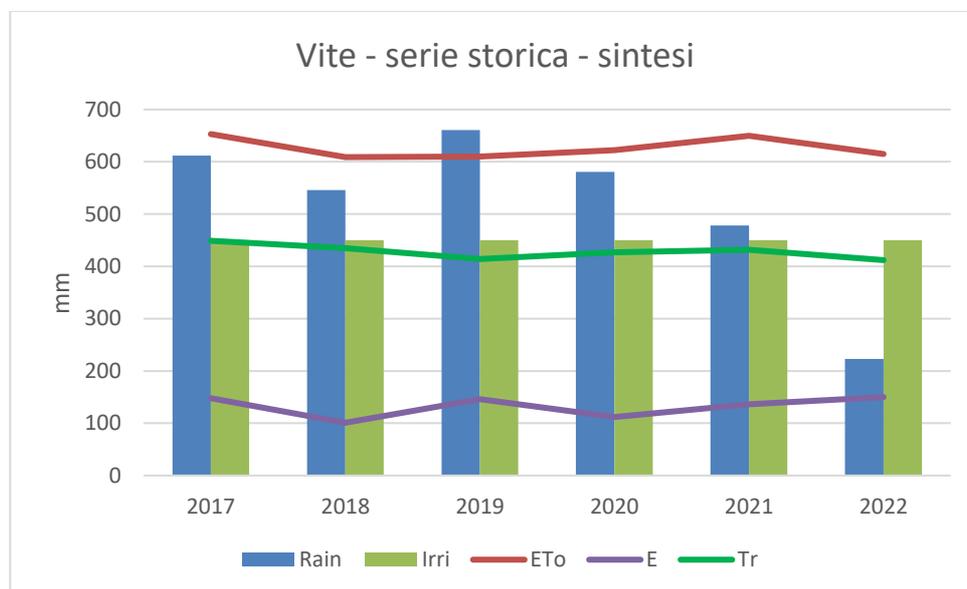


Figura 16. Sintesi della serie storica dei vari parametri climatici riguardanti il ciclo vegetativo della vite.

È possibile osservare che l'anno più piovoso del gruppo è stato il 2019: ha misurato un totale di 661 mm nell'intervallo aprile-ottobre, il che risulta in un aumento del 28% rispetto alla media totale, la quale misura 516 mm/anno. L'apporto idrico è costante anche in questo caso e risulta pari a 450mm/anno. Per quanto riguarda l'evapotraspirazione di riferimento, è interessante osservare il confronto fra le annate 2017 e 2021, nei quali il valore di ET_0 risulta simile (653 mm nel 2017 e 650 nel 2021) nonostante la ridotta presenza di precipitazioni nel 2021. Questo effetto probabilmente è dovuto ad altri fattori climatici come la temperatura media rilevata durante le singole annate, la velocità del vento e la radiazione solare, entrambi i quali

influenzano la traspirazione del terreno e quindi l'evapotraspirazione. È da sottolineare che il fabbisogno irriguo è stato soddisfatto anche in questo caso, determinato dallo scarto tra la linea dell'evapotraspirazione e le colonne relative alla pluviometria.

Per quanto riguarda l'analisi del bilancio idrico si è scelto di focalizzarsi sulle annate 2017 – 2018 per osservare in dettaglio la differenza di evapotraspirazione. In particolare, la prima parte del grafico relativo al 2017 indica una media di evapotraspirazione superiore allo stesso periodo del 2018, il che probabilmente è dovuto alla maggiore presenza di piogge che ha caratterizzato i primi mesi di simulazione nel 2017 (Figura 17).

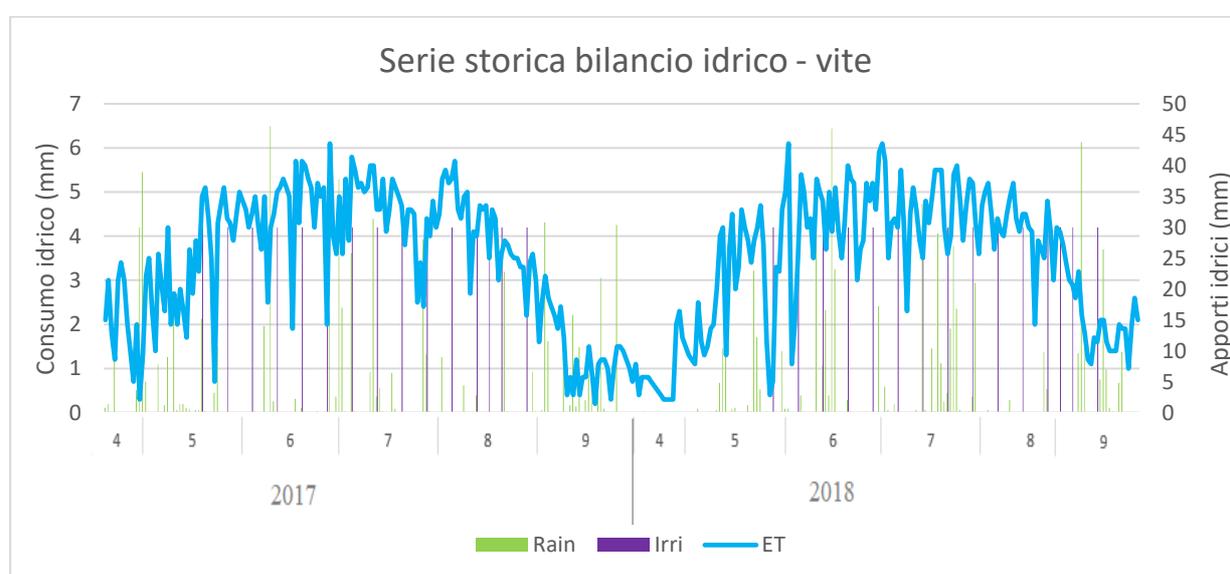


Figura 17. Bilancio idrico della vite irrigata col metodo a goccia.

La parte restante del grafico risulta in comune con le altre colture, caratterizzate da una crescita costante nella prima parte del ciclo vegetativo che viene seguita da una decrescita nella seconda parte. Nell'annata 2018 sono presenti picchi maggiori, probabilmente dovuti a condizioni climatiche anomale misurate giornalmente come temperatura e umidità relativa.

4.2.7 Radicchio – irrigato con il metodo ad aspersione

L'ultima coltura che è stata analizzata è il radicchio, il quale è stato associato al metodo di irrigazione ad aspersione. Per quanto riguarda il ciclo delle simulazioni, la data di inizio è stata impostata verso la metà di agosto. Il ciclo colturale è stato impostato a 70 giorni, ottenendo così l'ultimo giorno di simulazione attorno alla metà di ottobre. Di conseguenza i vari grafici sono

stati sviluppati prendendo in considerazione questo intervallo temporale, riguardante gli ultimi mesi estivi. Il piano irriguo prevede un ciclo di irrigazioni a distanza di 10 giorni ciascuna, apportando ogni volta un quantitativo di 42 mm d'acqua. Le irrigazioni in questo caso sono state effettuate dalla settimana del trapianto fino alla fine della stagione irrigua, in quanto la data di trapianto risiede all'interno della stagione.

Nel primo grafico è stato analizzato l'uso dell'acqua in relazione alla resa in modo da determinare l'efficienza dell'acqua (Figura 18).

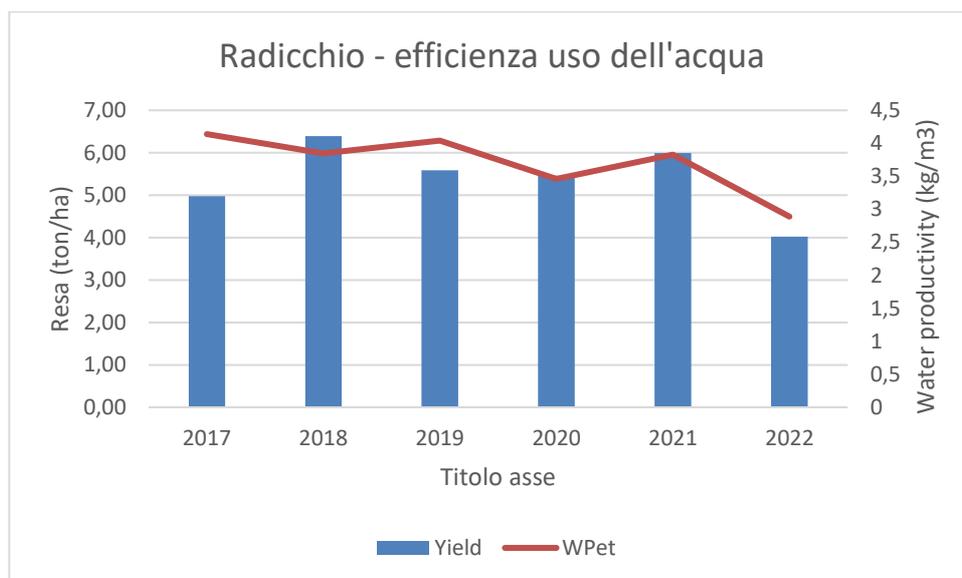


Figura 18: efficienza d'uso dell'acqua del radicchio irrigato ad aspersione.

Anche in questo caso è possibile notare come gli andamenti delle rese e della produttività dell'acqua sono molto altalenanti. Per quanto riguarda la resa, la media delle varie annate è risultata pari a 5,41 tonnellate per ettaro, con andamento molto variabile tra gli anni, presentando due massimi ben distinti nel 2018 e nel 2021 (rispettivamente con 6,3 e 6 ton ha⁻¹) e dei minimi negli anni 2017 e 2022, con rese inferiori rispetto alla media (5 ton ha⁻¹ nel 2017 e 4 ton ha⁻¹ nel 2022). L'andamento della produttività dell'acqua è caratterizzato da una linea decrescente nel tempo, il che sta a significare che per ogni unità di resa sono state necessarie più unità d'acqua. Il massimo si è ottenuto nel 2017 con 4,14 kg m⁻³, mentre il minimo nel 2022 con soli 2,89 kg m⁻³.

Per quanto riguarda l'analisi della serie storica climatica, racchiudendo l'intervallo nel breve periodo vegetativo del radicchio è stato possibile osservare delle differenze sostanziali nei parametri in esame (Figura 19).

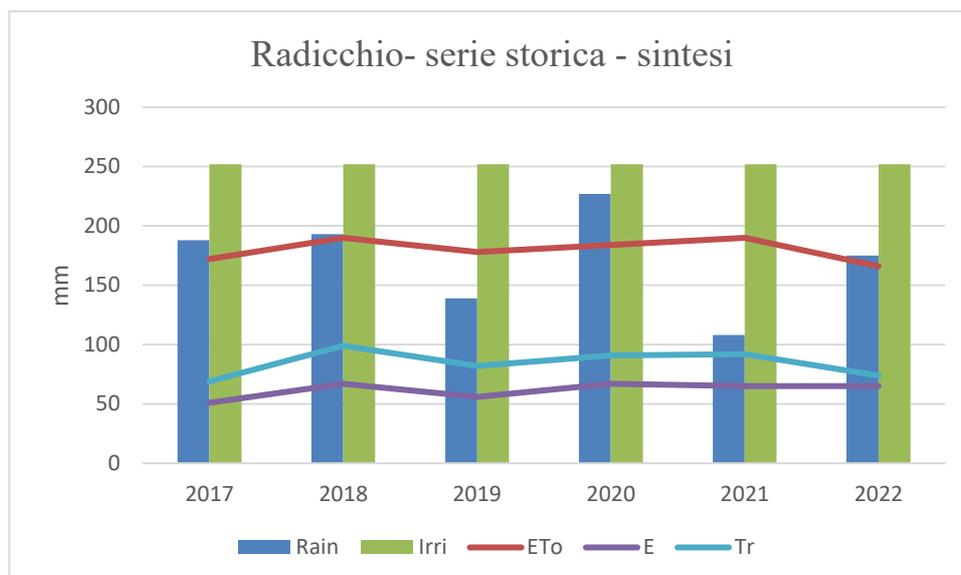


Figura 19. Sintesi della serie storica dei vari parametri climatici riguardanti il ciclo vegetativo del radicchio.

Riguardo alla pluviometria, nell'intervallo di tempo che va dal 10 agosto al 18 ottobre è stato osservato che l'anno più siccitoso del gruppo è stato il 2021, con un apporto idrico di 108 mm totali rispetto alla media di 171 mm/anno. Nel complesso quindi il 2021 ha dimostrato una diminuzione della pluviometria pari al 37% in meno della media. L'annata più piovosa è stata il 2020, con un totale di 227 mm che corrispondono ad un incremento del 32,7% rispetto alla media. I valori di irrigazione sono costanti anche in questo caso e corrispondono a 250 mm/anno. Contrariamente alle altre colture, i parametri di evaporazione, traspirazione ed evapotraspirazione di riferimento sono risultati inferiori, questo è probabilmente dovuto al fatto che il ciclo vegetativo del radicchio si svolge in un periodo relativamente più freddo e piovoso rispetto alle altre colture, inoltre il fatto che le piantine vengano trapiantate e non seminate influisce sulla percentuale di copertura iniziale del terreno, andando a diminuire la traspirazione. Tutti e 3 i parametri in questione sono rimasti abbastanza costanti negli anni, questo può dipendere da fattori climatici come differenze di temperatura o umidità relativa del suolo che possono andare ad influenzare l'evapotraspirazione.

Infine, è stato analizzato il bilancio idrico nelle annate di riferimento 2017-2018 (Figura 20).

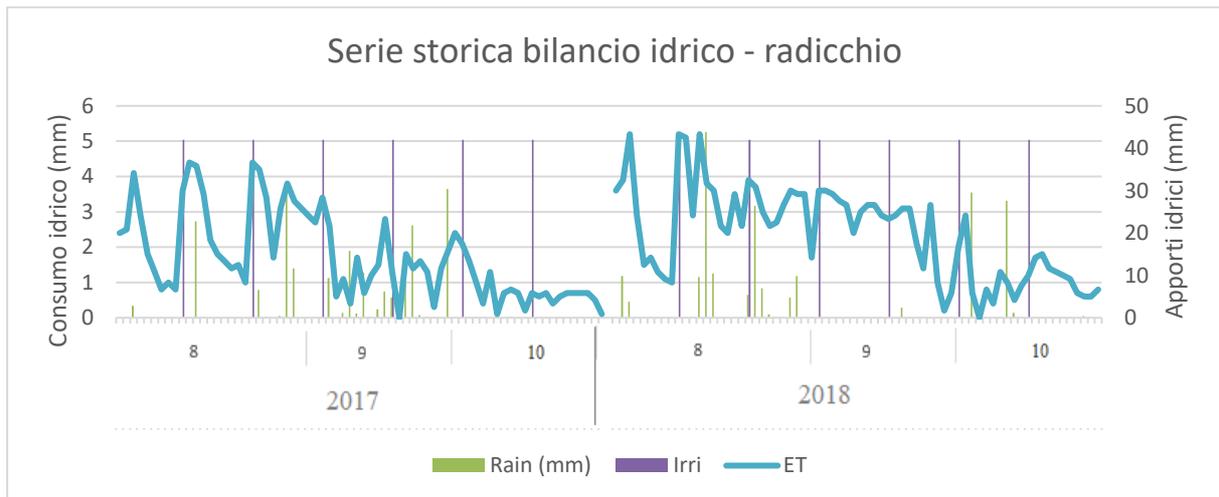


Figura 20. Bilancio idrico del radicchio irrigato col metodo ad aspersione.

È stato possibile osservare che, iniziando le simulazioni in un periodo relativo all'estate inoltrata, il parametro dell'evapotraspirazione risulta costantemente decrescente durante il ciclo vegetativo, questo è probabilmente dovuto al fatto della diminuzione delle temperature e della radiazione solare dei mesi tardivi di settembre e ottobre. Anche in questo caso sono presenti diversi picchi e minimi nella curva dell'evapotraspirazione, probabilmente attribuibili ad altri dati climatici o agli apporti idrici forniti tramite pioggia o irrigazioni.

4.3 Confronto tra sistemi irrigui

Una volta analizzati i vari parametri relativi alle associazioni colture – metodi irrigui, si è deciso di fare un confronto fra i metodi irrigui stessi in modo da osservare le varie differenze in termini di apporti idrici e impatto sulle colture e sul terreno. Ovviamente, questo processo è stato possibile solamente per le colture che sono state simulate in associazione con più metodi irrigui, cioè il mais e la soia. Per ciascuna sono stati sviluppati una serie di grafici riguardanti diversi parametri.

4.3.1 Mais – confronto fra irrigazione a scorrimento, aspersione e goccia

Il mais è la prima coltura presa in esame per quanto riguarda l'analisi dei metodi irrigui. Sono stati confrontati i 3 metodi utilizzati nelle simulazioni in merito a diversi parametri, primo tra tutti l'apporto idrico totale fornito alla coltura (Figura 21). In particolare, il grafico si riferisce

alla quantità totale d'acqua apportata al terreno, determinata dalla somma di pluviometria naturale e apporti irrigui.

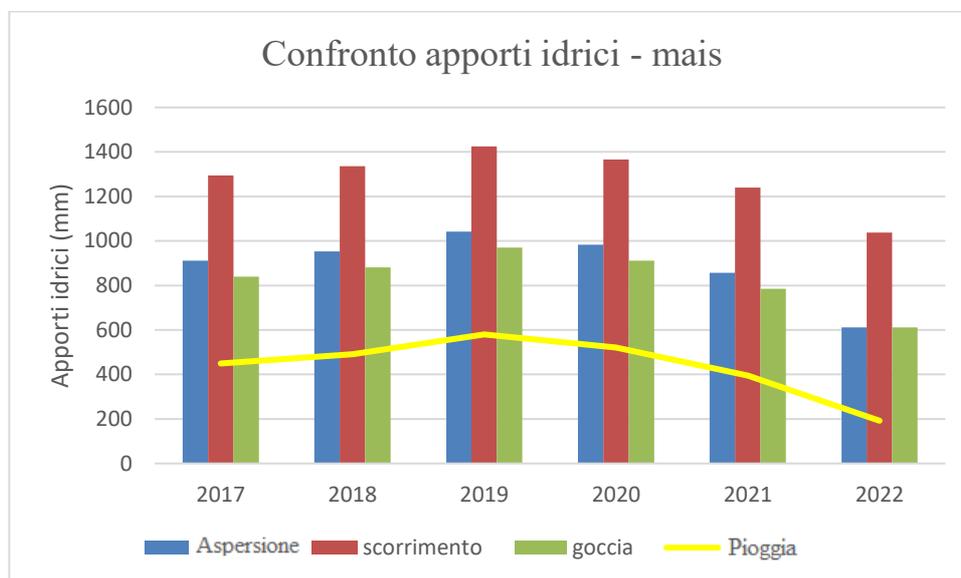


Figura 21. Confronto degli apporti idrici nel mais con i tre metodi irrigui analizzati

Ogni metodo irriguo ha fornito dei quantitativi fissi di acqua irrigua durante le annate. Con il metodo ad aspersione sono stati forniti annualmente 462 mm, con il metodo a scorrimento 845 mm e con quello a goccia 390 mm. Sommando questi valori con gli apporti pluviometrici naturali, è stato possibile capire quanta acqua sia effettivamente arrivata alla coltura:

- Con il metodo ad aspersione, gli apporti medi totali sono risultati pari a 893 mm/anno. Generalmente tutte le annate ad eccezione del 2022 hanno apportato un quantitativo compreso tra gli 800 e i 900 mm d'acqua, con un massimo nel 2019 di 1042 mm totali. Nel 2022, il quale risulta l'annata più siccitosa della serie analizzata, sono stati apportati solamente 612 mm totali, ossia il 31,5% in meno della media totale.
- Il metodo a scorrimento ha apportato in media 1280 mm totali all'anno. Anche in questo caso la maggior parte delle annate ha dei valori abbastanza simili alla media, fatta eccezione per il 2022 con 1037 mm, ossia il 19,8% in meno rispetto alla media.
- Per quanto riguarda il metodo a goccia, la media annuale totale risulta pari a 833 mm. Il 2022 in questo caso ha apportato 612 mm, che corrispondono al 26,6% in meno della media.

Ovviamente le varie differenze di apporti idrici sono dovute all'uso dell'acqua dei singoli metodi irrigui, in quanto il metodo a scorrimento risulta il più dispendioso in termini quantitativi utilizzando 65 mm per ogni intervento, mentre il metodo a goccia risulta il meno impegnativo con un apporto di soli 30 mm per intervento.

Un fattore interessante da analizzare riguarda la resa della coltura nelle varie annate, la quale rimane pressoché invariata nel corso del tempo. Questo probabilmente è dovuto al fatto che gli apporti idrici sono stati molto spesso nettamente superiori ai fabbisogni della coltura (come si è potuto analizzare nel capitolo precedente) ed essa non ha mai sofferto particolarmente le condizioni di stress nemmeno nelle annate più siccitose come il 2022. Questo a dimostrare che la disponibilità irrigua fornita dal consorzio del Piave è nettamente capace di soddisfare le richieste idriche del mais durante la stagione irrigua.

Un altro aspetto da considerare è l'efficienza d'uso dell'acqua tra i vari metodi. Si è infatti potuto osservare che, a parità di resa, il metodo a goccia consente di utilizzare quantità molto ridotte di acqua: in confronto al metodo per aspersione, consente un risparmio del 15,6% che aumenta fino al 54% se confrontato col metodo a scorrimento.

Oltre ai parametri colturali, è stato preso in considerazione anche l'uso dell'acqua all'interno del suolo. Sono stati rapportati i parametri relativi all'acqua infiltrata nel terreno, determinata dalla differenza tra gli apporti idrici totali e le perdite superficiali (es. runoff), e di acqua drenata negli strati sottostanti (Figura 22).

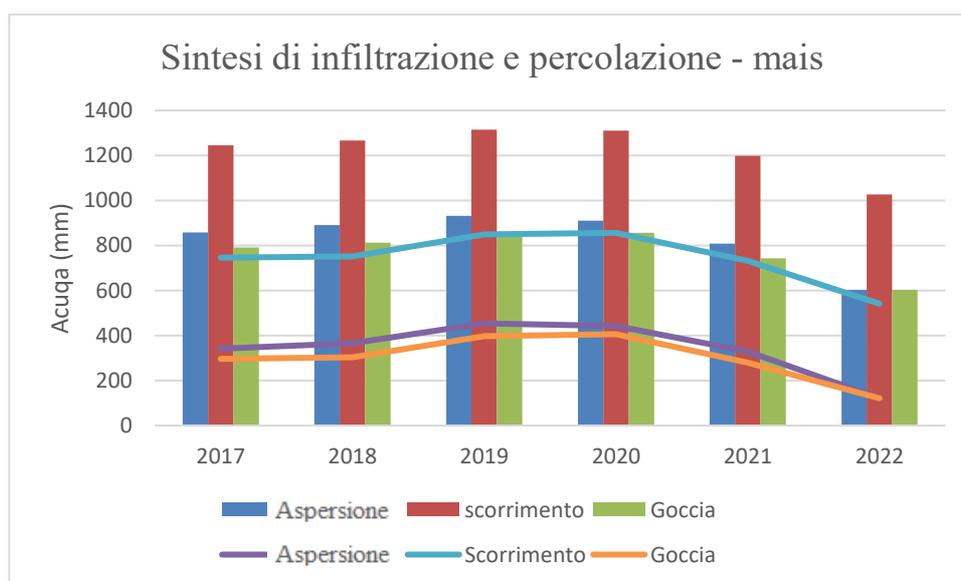


Figura 22. Confronto dell'uso dell'acqua nel suolo tra i vari metodi irrigui del mais. Le colonne rappresentano i livelli di acqua infiltrata nel terreno mentre le linee rappresentano i quantitativi di acqua drenata.

È stato interessante osservare il comportamento dell'acqua nel terreno relativo all'alta pianura trevigiana in base ai vari apporti idrici ottenuti con diversi metodi irrigui. Il quantitativo di acqua infiltrata nel terreno ne indica la quantità effettivamente assorbita nel suolo, e deriva dalla differenza tra gli apporti totali e le perdite superficiali. Aquacrop considera solamente le perdite per runoff, che sono risultate simili in tutti e 3 i metodi considerati con un quantitativo medio di circa 50 mm/anno, leggermente superiori per il metodo ad aspersione (55 mm/anno).

Per quanto riguarda i vari metodi irrigui, il quantitativo di acqua infiltrata è direttamente proporzionale agli apporti idrici. Con il metodo ad aspersione si sono infiltrati mediamente 833 mm/anno, con quello a goccia 777 mm/anno e con quello a scorrimento 1226 mm/anno.

I quantitativi di acqua drenata si riferiscono alla quantità d'acqua che viene percolata dal terreno negli strati più profondi e quindi non è più utilizzabile dalla coltura. Anche in questo caso il quantitativo di acqua drenata sarà proporzionale alla quantità fornita, per cui il metodo a scorrimento avrà valori maggiori rispetto agli altri. In particolare, con il metodo ad aspersione sono stati drenati mediamente 342 mm/anno, con quello a goccia 300 mm/anno e con quello a scorrimento 746 mm/anno.

Confrontando i vari parametri tra i metodi irrigui, anche in questo caso il metodo a goccia risulta il più efficiente nell'uso dell'acqua con una quantità di acqua drenata inferiore del 12,3% rispetto al metodo ad aspersione e che arriva fino al 60% se paragonato col metodo a scorrimento.

È possibile osservare che in base alla quantità di acqua fornita dai turni consortili, anche per quanto riguarda i parametri del terreno il metodo a goccia risulta il più efficiente del gruppo, portando a produzioni simili in termini di resa ma consentendo il risparmio di grandi quantitativi d'acqua.

4.3.2 Soia – confronto fra irrigazione ad aspersione e scorrimento

La soia è la seconda e ultima coltura ad essere stata simulata con più metodi irrigui ed anche in questo caso sono stati osservati gli apporti idrici e le caratteristiche idriche del suolo.

Il primo grafico sviluppato è quello relativo agli apporti idrici totali determinati dalla somma di acqua piovana e acqua irrigua (Figura 23).

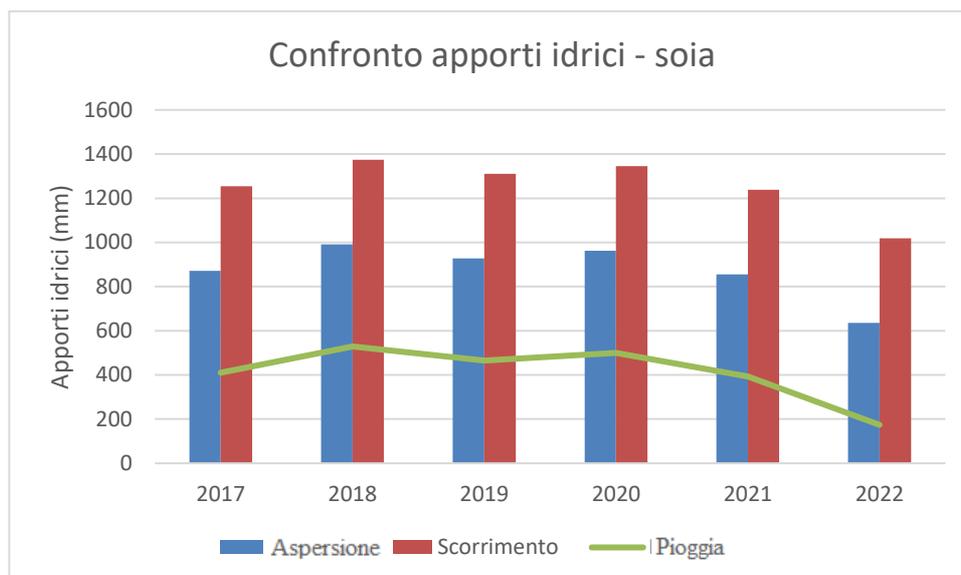


Figura 23. Confronto degli apporti idrici in base ai 2 metodi irrigui analizzati.

Anche in questo caso, i metodi irrigui hanno fornito dei quantitativi fissi d'acqua durante le annate. Con il metodo ad aspersione sono stati forniti annualmente 462 mm e con il metodo a scorrimento 845 mm. Sommando questi valori con gli apporti pluviometrici naturali, è stato possibile capire quanta acqua sia effettivamente arrivata alla coltura:

- Con il metodo ad aspersione, gli apporti medi totali sono risultati pari a 873 mm/anno. Generalmente tutte le annate ad eccezione del 2022 hanno apportato un quantitativo compreso tra gli 800 e i 900 mm d'acqua, con 3 annate molto simili (2018, 2019, 2020). Il 2022, risulta anche in questo caso l'annata più seccata del gruppo, nella quale sono stati apportati solamente 636 mm totali, ossia il 27,2% in meno del totale.
- Il metodo a scorrimento ha apportato in media 1256 mm totali all'anno. Anche in questo caso la maggior parte delle annate ha dei valori abbastanza simili alla media, fatta eccezione per il 2022 che misura 1019 mm, ossia il 18,9% in meno rispetto alla media.

Confrontando gli apporti idrici forniti alla soia con quelli visti precedentemente per il mais, è possibile osservare che nel 2022 le percentuali di acqua fornita sono state leggermente più vicine alla media, questo dovuto al fatto che le ultime settimane di agosto e settembre sono state generalmente più piovose del resto dell'estate.

La resa rilevata è simile tra i due metodi irrigui, probabilmente dovuto al fatto che gli apporti idrici sono stati anche in questo caso nettamente superiori ai fabbisogni della coltura ed essa non ha mai sofferto particolarmente le condizioni di stress. Si dimostra che la disponibilità

irrigua fornita dal consorzio del Piave è nettamente capace di soddisfare le richieste della soia durante la stagione irrigua. Per quanto riguarda l'efficienza d'uso dell'acqua, il metodo a scorrimento risulta ancora il più dispendioso, apportando il 30% di acqua in più rispetto al metodo ad aspersione.

L'uso dell'acqua nel suolo è risultato proporzionale alle quantità apportate. Analizzando i parametri di infiltrazione e drenaggio del suolo, si è osservato che l'andamento è molto simile al caso del mais, ossia il metodo a scorrimento causa una maggiore infiltrazione di acqua nel terreno legata però anche ad una maggiore perdita per percolazione (Figura 24).

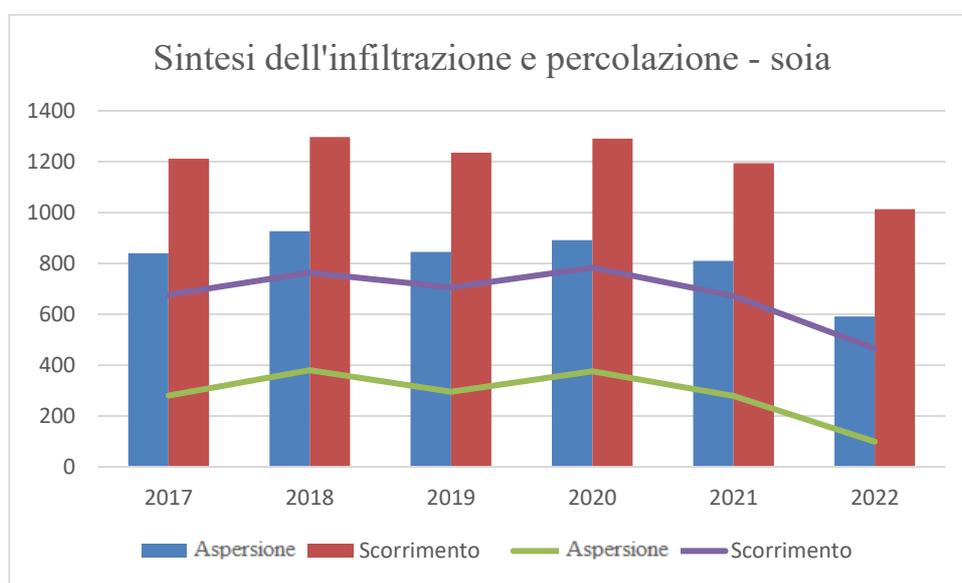


Figura 24. Confronto dell'uso dell'acqua nel suolo tra i vari metodi irrigui della soia. Le colonne rappresentano i livelli di acqua infiltrata nel terreno mentre le linee rappresentano i quantitativi di acqua drenata.

Il quantitativo di acqua infiltrata è direttamente proporzionale agli apporti idrici. Con l'aspersione si sono infiltrati mediamente 817 mm/anno e con quello a scorrimento 1207 mm/anno.

I quantitativi di acqua drenata si riferiscono alla quantità d'acqua che viene percolata dal terreno negli strati più profondi e quindi non è più utilizzabile dalla coltura, in quanto non è in grado di permanere per azione della gravità. In particolare, con il metodo ad aspersione sono stati drenati mediamente 284 mm/anno, e con quello a scorrimento 677 mm/anno.

Confrontando i vari parametri tra i metodi irrigui, anche in questo caso il metodo per aspersione risulta il più efficiente nell'uso dell'acqua con una quantità di acqua drenata inferiore del 58% rispetto al metodo a scorrimento.

4.4 Confronti aziendali

L'ultima parte di questo elaborato si basa sul confronto delle simulazioni effettuate mediante il modello Aquacrop con i dati reali raccolti da varie aziende locali per ciascuna coltura. In particolare ci si è soffermati sui vari parametri colturali come resa e stress idrico subito dalle colture per quel che riguarda l'anno 2022, con l'obiettivo di confrontare una gestione prettamente teorica in cui l'acqua è sempre apportata regolarmente con una situazione reale che viene influenzata da molte più variabili, in modo da osservare l'efficienza di simulazione del modello e capire quali siano le abitudini irrigue degli utilizzatori. Le varie analisi verranno divise in base al metodo irriguo utilizzato dalle varie aziende.

4.4.1 Mais irrigato per aspersione (rotolone)

Il primo metodo che è stato confrontato è stata l'irrigazione per aspersione. Sono stati raccolti dati di due aziende, le quali possiedono diversi appezzamenti che nell'annata 2022 hanno seminato a mais.

- La prima azienda ha effettuato una semina verso la fine di marzo, in modo da ottenere un mais di primo raccolto. Sono stati effettuati 5 interventi irrigui nel corso della stagione, ciascuno dei quali ha apportato circa 50 mm d'acqua. Gli interventi irrigui sono stati effettuati a partire da metà maggio e sono proseguiti con intervalli regolari di 10 giorni, apportando a fine stagione un totale di 250 mm irrigui.
- La seconda azienda ha effettuato una semina di secondo raccolto alla fine di maggio, in quanto il terreno era precedentemente occupato da foraggi invernali quali la loiessa. Sono stati effettuati 6 interventi irrigui a distanza costante di 10 giorni, ciascuno dei quali ha apportato anche in questo caso circa 50 mm d'acqua per un totale di 300 mm a fine stagione.

La quantità d'acqua apportata dai singoli interventi è stata stimata a partire dai dati tecnici degli impianti irrigui utilizzati. Entrambe le aziende hanno utilizzato dei rotoloni che lavoravano alla pressione di 5 bar con tubo da 100 mm e un boccaglio da 18 mm.

Sono state effettuate delle simulazioni inserendo i dati raccolti dalle aziende. I risultati sono riportati in tabella 3.

È possibile osservare come entrambe le aziende abbiano apportato quantitativi molto minori rispetto alla gestione consortile, con produzioni del tutto confrontabili. La prima azienda il 40,8% in meno di acqua rispetto alla gestione consortile, ma la resa è stata inferiore solamente del 5%, con quindi una efficienza d'uso dell'acqua superiore. La seconda azienda invece ha apportato il 28,6% in meno rispetto alla gestione consortile, con le rese pari a 13,9 ton ha⁻¹ ossia una differenza del 6,1%, con una efficienza d'uso dell'acqua di poco inferiore.

Se si considera l'efficienza d'uso dell'acqua irrigua IWUE, data dal rapporto tra la resa e la quantità d'acqua irrigua distribuita, sono evidenti le differenze tra gestione aziendale e consortile.

Tabella 3. Valori di resa, efficienza d'uso dell'acqua (WPet) ed irrigation water use efficiency (IWUE) del mais irrigato per aspersione nelle due aziende e confronto con la media consortile.

Fonte dati	Apporti irrigui (mm)	Resa (ton/ha)	WPet (kg/m³)	IWUE (kg/m³)
Consortile	420	14,8	3,11	3,52
Azienda 1	250	14,1	3,29	5,64
Azienda 2	300	13,9	3,06	4,63

Risulta dunque che, anche apportando quantitativi molto più elevati d'acqua al mais, la produzione non ne risente pesantemente e la produttività dell'acqua rimane abbastanza simile nei tre casi.

4.4.2 Mais irrigato a scorrimento

Il secondo metodo irriguo confrontato è stato lo scorrimento. Anche in questo caso sono stati raccolti i dati da due aziende diverse.

- La prima azienda ha effettuato una semina verso la fine di marzo, in modo da ottenere un mais di primo raccolto. Sono stati effettuati 7 interventi irrigui nel corso della stagione, ciascuno dei quali ha apportato circa 72 mm d'acqua. Gli interventi irrigui

sono stati effettuati a partire da metà maggio e sono proseguiti con intervalli regolari di 10 giorni, apportando a fine stagione un totale di 504 mm irrigui.

- La seconda azienda ha effettuato una semina di secondo raccolto alla fine di maggio. Sono stati effettuati 6 interventi irrigui a distanza costante di 10 giorni, ciascuno dei quali ha apportato anche in questo caso circa 72 mm d'acqua per un totale di 432 mm a fine stagione.

I risultati delle simulazioni sono riportati in tabella 4. Anche in questo caso le aziende, sebbene abbiano apportato quantitativi minori rispetto alla gestione consortile, mantengono simili le produzioni, mentre viene migliorata l'efficienza d'uso dell'acqua. Nella prima azienda, pur apportando il 40,4% in meno di acqua rispetto alla gestione consortile, presenta una resa inferiore solamente del 5,5%, mentre nella seconda, apportando il 48,9% in meno ottiene una resa pari a 14,2 ton ha⁻¹, ossia meno 4,1%.

Tabella 4. Valori di resa, efficienza d'uso dell'acqua (WPet) ed irrigation water use efficiency (IWUE) del mais irrigato per aspersione nelle due aziende e confronto con la media consortile.

Fonte dati	Apporti irrigui (mm)	Resa (ton/ha)	WPet (kg/m³)	IWUE (kg/m³)
Consortile	845	14,8	3,08	1,75
Azienda 1	504	14,0	3,20	2,78
Azienda 2	432	14,2	3,12	3,29

4.4.3 Soia irrigata per aspersione

La seconda coltura sulla quale sono stati fatti dei confronti con l'irrigazione consortile è la soia irrigata per aspersione. I dati raccolti provengono da una sola azienda che ha effettuato la semina agli inizi di luglio in successione al frumento. Sono stati effettuati 6 interventi irrigui durante la stagione, a partire dalla settimana di semina fino a metà agosto. Successivamente non sono proseguite le irrigazioni in quanto la pioggia ha fornito gli apporti necessari. Gli interventi irrigui sono stati effettuati mediante l'uso di un pivot dotato di corner system, il quale ha apportato 25 mm per ogni ciclo irriguo, con un totale a fine stagione di 150 mm.

I dati delle simulazioni sono riportati in tabella 5.

Tabella 5. Valori di resa, efficienza d'uso dell'acqua (WPet) ed irrigation water use efficiency (IWUE) della soia irrigata per aspersione nell'azienda e confronto con la media consortile.

Fonte dati	Apporti irrigui (mm)	Resa (ton/ha)	WPet (kg/m³)	IWUE (kg/m³)
Consortile	420	4,3	0,85	1,02
Azienda 1	150	4,0	1,19	2,67

È possibile osservare come i 6 interventi irrigui effettuati con pivot abbiano apportato molta meno acqua. Questo principalmente perché il metodo consente di apportare minori quantità d'acqua rispetto i classici rotoloni, per una più alta efficienza del metodo e quindi meno sprechi (es. a causa del vento). La più elevata frequenza irrigua ha permesso di evitare stress idrici alla coltura, consentendo di ottenere una resa elevata. Infatti, sebbene gli apporti idrici siano circa un terzo rispetto a quelli consortili, la resa è risultata abbastanza simile (- 7%). È importante notare il fattore relativo alla produttività dell'acqua, che risulta nettamente più alto nel caso aziendale: questo perché l'aumento di resa ottenuto con le maggiori irrigazioni consortili non giustifica il maggiore uso d'acqua e quindi la produttività generata da ogni unità d'acqua viene ridotta.

4.4.4 Soia irrigata a scorrimento

L'altro metodo irriguo per il quale è stata condotta una simulazione per la soia è lo scorrimento. I dati raccolti provengono da due aziende, che hanno effettuato la semina intorno alla fine di aprile e hanno adottato un piano irriguo con 4 irrigazioni a distanza di due settimane ciascuno. Ogni intervento ha apportato all'incirca 72 mm; anche in questo caso gli interventi sono terminati nella prima metà di agosto in quanto successivamente le precipitazioni hanno garantito sufficienti apporti idrici. I dati relativi alla produzione sono stati confrontati con quelli consortili (tabella 6).

Tabella 6 Valori di resa, efficienza d'uso dell'acqua (WPet) ed irrigation water use efficiency (IWUE) della soia irrigata a scorrimento nelle due aziende e confronto con la media consortile.

Fonte dati	Apporti irrigui (mm)	Resa (ton/ha)	WPet (kg/m³)	IWUE (kg/m³)
Consortile	845	4,30	0,84	0,51
Azienda 1	288	4,40	0,89	1,53
Azienda 2	288	4,41	0,91	1,53

È possibile osservare come anche nel caso dell'irrigazione a scorrimento gli apporti irrigui siano stati nettamente inferiori rispetto a quelli consortili. È stato infatti possibile pareggiare le rese applicando quasi il 70% di acqua in meno, dimostrato anche dai valori più elevati di WPet, in quanto il lieve aumento di resa nelle gestioni aziendali è stato generato da un uso minore dell'acqua irrigua, andando ad aumentare la sua produttività per metro cubo.

4.4.5 Vite irrigata a goccia

Per quanto riguarda la vite, i dati aziendali sono stati raccolti in due aziende, ciascuna delle quali ha irrigato con il metodo microirriguo a goccia. In particolare, la prima azienda ha effettuato solamente due interventi irrigui a distanza di un mese durante la stagione, mentre la seconda ne ha effettuati 4 a distanza di due settimane. Entrambe le aziende hanno apportato circa 40 mm d'acqua per ogni intervento. Anche in questo caso le irrigazioni si sono fermate a metà agosto (tabella 7).

Tabella 7. Valori di resa, efficienza d'uso dell'acqua (WPet) ed irrigation water use efficiency (IWUE) della vite irrigata a goccia nelle due aziende e confronto con la media consortile.

Fonte dati	Apporti irrigui (mm)	Resa (ton/ha)	WPet (kg/m³)	IWUE (kg/m³)
Consortile	420	7,70	1,28	1,83
Azienda 1	80	4,23	1,02	5,29
Azienda 2	160	5,90	1,26	3,69

In questo caso si possono notare delle differenze nelle rese rispetto a quelle consortili. La coltura è andata particolarmente in stress a causa degli scarsi apporti idrici, in particolare nei mesi di giugno e luglio, motivo per cui le rese risultano significativamente inferiori rispetto al confronto consortile. La prima azienda che ha apportato solamente 80 mm irrigui nel corso della stagione, ha ottenuto rese inferiori del 45% rispetto alla gestione consortile, con anche un basso valore di efficienza d'uso. L'altra azienda, invece, con apporti pari al 38% dei volumi consortili, ha ottenuto rese inferiori del 23,4%, con una efficienza d'uso dell'acqua del tutto simile a quella della gestione consortile.

4.4.6 Radicchio irrigato ad aspersione

Infine, per quanto riguarda il radicchio, le simulazioni hanno riguardato una sola azienda che ha effettuato il trapianto il 1° agosto e effettuato solamente due interventi irrigui nel corso della stagione, uno nella stessa settimana del trapianto e uno nella settimana successiva. Questo perché da metà agosto in poi gli apporti idrici naturali hanno consentito alla coltura di svilupparsi senza interventi artificiali. In particolare, le irrigazioni sono state effettuate per aspersione con rotolone, apportando 40 mm d'acqua ciascuno (tabella 8).

Tabella 8. Valori di resa, efficienza d'uso dell'acqua (WPet) ed irrigation water use efficiency (IWUE) del radicchio irrigato per aspersione (rotolone) nell'azienda e confronto con la media consortile.

Fonte dati	Apporti irrigui (mm)	Resa (ton/ha)	WPet (kg/m³)	IWUE (kg/m³)
Consortile	168	5,5	3,11	3,27
Azienda 1	80	5,3	3,08	6,63

Gli apporti idrici totali forniti dall'azienda sono anche in questo caso nettamente inferiori rispetto alla gestione consortile. In particolare, con meno della metà d'acqua irrigua si è ottenuta una resa molto simile a quella consortile inferiore solo del 4%.

5. Conclusioni

L'analisi dell'andamento climatico e delle produzioni delle colture prese in esame conferma che il 2022 ha sicuramente rappresentato una annata particolarmente ostica per le colture. Questo perché è risultata un'annata con piogge scarse e alte temperature, sempre più frequenti negli ultimi 20 anni e che rappresenta una sfida per la maggior parte degli agricoltori, costringendoli ad effettuare irrigazioni d'emergenza e in modo più frequentemente rispetto al passato.

Per quanto riguarda la gestione irrigua fornita dal Consorzio di bonifica, è stato dimostrato che gli apporti irrigui in relazione alle varie turnazioni sono più che sufficienti a soddisfare i fabbisogni idrici, anche in un'annata così siccitosa come il 2022. Questo vale per tutta la gamma di metodi irrigui gestiti dal consorzio, tra cui i metodi a scorrimento e, ove presenti le reti a pressione, l'aspersione e la microirrigazione. Tra questi, il metodo a goccia risulta il più efficiente, consentendo di utilizzare minori quantità d'acqua in virtù del facile dosaggio e del controllo degli sprechi, assicurando nel contempo elevate produzioni.

In riferimento alle diverse realtà aziendali, si è osservato che con una gestione irrigua attenta agli effettivi consumi della coltura è possibile ridurre al minimo i cali di resa causati dalla siccità e dallo stress in generale.

È comunque da tenere in considerazione il fatto che, le simulazioni effettuate con il modello Aquacrop non consentono di entrare nel dettaglio delle condizioni reali delle colture, non potendo considerare altri aspetti che possono influenzare ulteriormente le produzioni, come ad esempio l'attacco di parassiti, la mancata disponibilità di particolari dispositivi irrigui o la presenza di tare all'interno degli appezzamenti. Il modello si dimostra comunque un ottimo strumento di supporto alle decisioni in grado di aiutare gli amministratori nelle scelte finali che consentano di garantire loro una gestione attenta ai problemi ambientali e a quelli degli agricoltori.

6. Bibliografia

Allen G.R., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Roma, 1998.

Armiraaglio S., Cerabolini B., Gandellini F., Gandini P., e Andreis C., (2003). Calcolo informatizzato del bilancio idrico del suolo. *Natura Bresciana Annali Museo Civico di Scienze Naturali di Brescia*, 33, 209-216.

Barbi A., Checchetto F., Delillo I., Padoan M., 2017. Andamento agrometeorologico – annata 2017. A.R.P.A.V. Dipartimento regionale per la sicurezza del territorio.

Barbi A., Checchetto F., Delillo I., Padoan M., 2019. Andamento agrometeorologico – annata 2019. A.R.P.A.V. dipartimento regionale per la sicurezza del territorio.

Bortolini L., 2011. Ali articolate: l'irrigazione ideale per aziende medio-grandi. *L'Informatore Agrario*, 18: 49-52.

Bramanti M.. Calcolo delle probabilità e statistica. Società Editrice Esculapio, 1 aprile 2020.

Catoni, A. 1977. Guida pratica dell'irrigazione a pioggia. Edagricole.

Cassani G., Franchini M., Galeati G., e Mazzoli P., 2009. Il bilancio idrico. Sezione 1/memorie, idrologia/ingegneria ambientale. *L'acqua*, 2/2009.

Coldiretti, 2022. Caldo: Po in secca come ad agosto (-2,7 metri), SOS campi. 18 maggio 2022.

Cop26, 2021. Rapporto di sintesi NDC aggiornato: così +16% emissioni e +2,7°C entro la fine del secolo. 26 ottobre 2021, Glasgow.

Corradi, C., 2008. Irrigazione a goccia sì, ma quanto mi costi? *VVQ, Vigne vini & qualità*, 35(5), 36-40.

CREA., 2022. rassegna stampa 25 luglio 2022

D'Antonio P., Fiorentino C., Massari M., Modugno F., 2021. DSS, sistemi fondamentali per l'agricoltura di precision. *L'Informatore Agrario* 31.

Doorenbos J., e Kassam A. H. 1979. Yield response to water. *Irrigation and drainage paper*, 33, 257.

Facchinetti D., 2020. Gli irrigatori a naspo, una tecnologia evoluta per la risorsa acqua. *Mondo macchina*, aprile – Maggio 2020.

Felici M.L., 2018. Lo stato dell'irrigazione in Italia. *Rivista geologia ambientale* 1/2018.

Geerts S., Raes D., e Garcia M. 2010. Using AquaCrop to derive deficit irrigation schedules. *Agricultural water management*, 98(1), 213-216.

Graser A. 2016. Learning Qgis. Packt Publishing Ltd. *Frontiers in Earth Science*, volume 10, 2022.

Lamaddalena, N., Palmieri, F., Apollonio, C., Natale, V., Romano, G., Morfino, C., & Casciolo, A., 2010. Indagine sperimentale sui sistemi automatizzati per uso irriguo. Rapporto irrigazione. INEA, Roma.

Incrocci, L. Riccò, E. 2004. 11. Impianti per l'irrigazione e per la fertirrigazione. (online)

ISPI., 2022. Siccità, di male in peggio. Istituto Nazionale di Politica Internazionale, 2022.

Martello M., Bovo M., Bortolini R. 2013. Alte rese dal mais microirrigato gestendo bene i volumi idrici. *L'Informatore Agrario*, 10: 67-70.

Martello M., Ferrigno M., Zucaro R. 2016. Ali articolate: soluzione ideale per l'irrigazione sostenibile. *L'Informatore Agrario*, 46: 30-32.

Mejias P., Piraux M., 2017. AquaCrop, the crop water productivity model. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italy.

Raes D., Steduto P., Hsiao T.C., Fereres E., 2018. Reference manual of Aquacrop, chapter 3 (calculations and procedures). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italy.

Postumia cave s.r.l., 2010. Relazione geologica relativa all'ampliamento della discarica per rifiuti inerti denominate "postumia 2". Comune di Trevignano (TV), marzo 2010.

Ruben D., Guidi A., 2021. Fact-checking: i cambiamenti climatici in 10 grafici. Speciale COP26, Istituto Nazionale di Politica Internazionale.

Steduto P., Hsiao T., Fereres E., Raes D., 2012. Crop yield response to water. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italy.

Steduto P., Raes D., Hsiao T. C., e Fereres E., 2012. Yield response to water of herbaceous crops: the AquaCrop simulation model. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, (66), 16-242.

Stricevic R., Cosic, M., Djurovic N., Pejic B., e Maksimovic L., 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural water management*, 98(10), 1615-1621.

Toumi J., Er-Raki S., Ezzahar J., Khabba S., Jarlan L., e Chehbouni A., 2016. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. *Agricultural Water Management*, 163, 219-235.

Ventrella D., Rinaldi M., Rizzo V., e Carlone G. 1996. Disponibilità idrica del suolo ed efficienza nell'uso dell'acqua. Edagricole, estratto della rivista di agronomia, gennaio-aprile 1996.

7. Sitografia

www.arpa.veneto.it

www.avepa.it

www.bonificavenetorientale.it

www.consorziopiave.it

www.fao.org

www.ispionline.it

www.usda.gov