



ADaptation in Agriculture

ACTION A1

ELABORATION OF CLIMATE SCENARIOS

Deliverable A1.2 - Report on the impact of climate change over the selected supply chains in the four participating regions

December 2021

I Partner. Insieme per aumentare la resilienza del settore agricolo | www.lifeada.eu |



INDICE

ABSTRACT	4
INTRODUZIONE.....	5
Gli impatti del cambiamento climatico sull'agricoltura in Europa.....	5
Agrofenologia e durata della stagione vegetativa.....	6
L'impatto del cambiamento climatico sulle risorse idriche e sull'irrigazione in Europa.....	7
Effetti di estremi termici e ondate di calore in Europa	7
Siccità e scarsità idrica	8
Il cambiamento climatico sulle aree ADA	9
METODOLOGIA.....	11
Lo schema operativo per le analisi di impatto del cambiamento climatico sui fabbisogni irrigui.....	11
La gestione dell'incertezza.....	12
Proiezioni di cambiamento climatico a scala locale	12
Il modello di bilancio agro-idrologico CRITERIA-1D.....	14
Weather generator	15
Definizione e descrizione di un Weather Generator stocastico.....	15
L'utilizzo dei WG nelle valutazioni di impatto	16
Formato dei dati climatici XML.....	18
RISULTATI.....	20
Filiera vitivinicola	20
Appennino romagnolo - Monteleone	22
Provincia di Treviso - Istrana	25
Colline del Chianti - San Miniato	28
Colli Albani - Falcognana.....	31
Considerazioni finali sulla filiera	33
Filiera del Parmigiano Reggiano	35
Province di Reggio Emilia e Parma – Bibbiano.....	36
Considerazioni finali sulla filiera	39
Filiera ortofrutticola.....	40
Provincia di Ravenna - Brisighella	42
Provincia di Verona - Villafranca	44
Provincia di Latina - Cisterna	47
Provincia di Piacenza - Podenzano	49
Provincia di Grosseto	52

Considerazioni finali sulla filiera	55
CONCLUSIONI	57
BIBLIOGRAFIA	60

ABSTRACT

The present report is aimed at providing a quantitative and detailed assessment of the impacts of climate change and, as a consequence, also indications on possible adaptation strategies.

The rationale of the document is to analyze case studies focusing on specific agricultural crops and specific geographical areas so that the analysis of the effects of climate change can comprise the local dimension and as far as possible the combined effects of variations in temperature and precipitation structure which, as well known, influence crop cycles and have different impacts in European regions.

In more detail, in this report 10 case studies for the 3 agri-food chains of the ADA project (wine, fruit and vegetable and Parmigiano Reggiano) in four Italian regions (Emilia-Romagna, Veneto, Tuscany and Lazio) are shown. For each case study, forecasts of irrigation water needs and other agro-environmental variables are therefore provided for the period 2021-2050 with respect to reference climate 1971-2000.

For the wine agrifood chain, 4 case studies have been developed, representative of different geographical areas, vines and denominations: Romagna Apennines (Emilia-Romagna), Treviso Province (Veneto), Chianti (Tuscany) and Colli Albani (Lazio). For the Parmigiano Reggiano chain, the analysis of alfalfa and permanent meadows in the area of Reggio Emilia was selected. For the fruit and vegetable supply chain, 5 case studies were examined, for 2 different crops in some of their main production areas, distributed in the various regions: kiwifruit in the province of Ravenna, in the province of Verona and in the Latina area in Lazio; the tomato in the province of Piacenza and Grosseto.

The analysis carried out shows that the magnitude of climate change and its impact are very different depending on the selected crops and geographical areas and, as a consequence, it is possible to foresee a reliable adaptation action plan only after an analysis of detailed impact on a local scale.

INTRODUZIONE

Gli impatti del cambiamento climatico sull'agricoltura in Europa

La produzione agricola dipende fortemente dalle condizioni climatiche. Variazioni della temperatura media e delle precipitazioni, nonché condizioni meteorologiche e climatiche estreme, stanno già influenzando la produttività agricola e zootecnica in molte regioni europee (EEA, 2019).

La valutazione degli impatti del cambiamento climatico futuro sul settore agricolo risulta piuttosto complicato poiché tali impatti possono essere positivi o negativi, a seconda delle specie considerate, delle regioni geografiche interessate e a seconda di numerosi fattori, come gli impatti fisici (determinati da variazioni di temperatura, struttura delle precipitazioni e concentrazione di CO₂ atmosferica), i cambiamenti degli agro-ecosistemi (perdita di impollinatori e aumento dell'incidenza di parassiti e malattie) e le risposte di adattamento dei sistemi.

In altre parole, l'analisi degli effetti del cambiamento climatico implica la valutazione degli effetti combinati di variazioni di temperatura, precipitazioni e concentrazione di CO₂ atmosferica che, come noto, influenzano le rese e hanno impatti differenti nelle regioni europee.

Potenziali effetti positivi legati all'aumento delle temperature sono attesi soprattutto nel nord Europa, mentre sono previsti in gran parte del sud Europa una riduzione della produttività delle colture e un aumento rischio per il settore zootecnico. Le proiezioni climatiche mostrano che la maggior parte dell'Europa sperimenterà livelli di riscaldamento più elevati della media globale; tuttavia, sono previste forti differenze territoriali in tutte le regioni europee (IPCC, 2018).

In generale, l'aumento della temperatura può causare un'accelerazione nello sviluppo fenologico, con una riduzione del tempo di assimilazione della biomassa e di conseguenza una resa inferiore. In alcune zone, temperature più alte permetteranno la coltivazione di nuove colture/varietà. I cambiamenti previsti nelle precipitazioni durante le più importanti fasi dello sviluppo colturale potrebbero contrastare gli effetti negativi dell'aumento delle temperature o, in altri casi, amplificarli.

Si riportano di seguito alcuni estratti del report dell'Agenzia ambientale europea 'Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe' del 2019 (doi:10.2800/537176) che raccoglie e descrive i principali impatti del cambiamento climatico sull'agricoltura europea, con l'intento fornire una visione generale e al contempo il più complessa possibile delle molteplici implicazioni di tale fenomeno sul settore.

Agrofenologia e durata della stagione vegetativa

Le serie osservative in Europa mostrano che l'aumento della temperatura ha influito in modo significativo sulla fenologia delle colture e sulla durata della stagione vegetativa nella maggior parte delle regioni europee. Sono stati osservati impatti differenti a seconda delle diverse latitudini, colture e varietà.

Le temperature più alte determinano un inizio anticipato della crescita colturale, uno sviluppo più rapido delle piante e una potenziale estensione della stagione vegetativa, soprattutto per le colture perenni. Recenti studi confermano che i cambiamenti climatici osservati hanno già modificato gli areali idonei soprattutto per la coltivazione di tipiche colture locali, come l'olivo e la vite nel Mediterraneo. Stagioni vegetative più lunghe sono state registrate in particolare nel nord e nell'est Europa, come conseguenza dell'aumento delle temperature e dell'estensione dei periodi con assenza di gelo.

I cambiamenti osservati nella fenologia delle colture annuali sono spesso il risultato di interazioni tra gli effetti dei cambiamenti climatici e del cambiamento nella gestione delle colture difficili da discriminare. L'aumento delle temperature determina una riduzione nel periodo di riempimento della cariosside, con effetti dannosi per la resa di cereali e colture da seme come legumi e colture di semi oleosi. Serie storiche di osservazioni per le aree europee mostrano per i cereali un anticipo generalizzato nelle fasi fenologiche.

Proiezioni future sul periodo di fioritura e sulla senescenza mostrano un anticipo di 1-3 settimane entro il 2050, con maggiori cambiamenti osservati per il mais e minori per il frumento invernale, soprattutto nell'Europa occidentale e settentrionale e in Portogallo. Paragonato a colture perenni, il verificarsi di fasi fenologiche delle colture erbacee è fortemente influenzato anche da disponibilità idrica e fotoperiodo. Specie perenni, come olivi e viti, situati in specifiche nicchie climatiche, saranno più vulnerabili all'aumento della temperatura dovuto ai cambiamenti climatici. Tra il 1961 e il 2015 è stato registrato un anticipo sulla data di fioritura di diverse colture perenni e annuali di circa 2 giorni per decennio.

Le osservazioni mostrano che da 20 anni un certo numero di cultivar di vite vengono coltivate in Danimarca, Finlandia e Svezia, e si prevede che in nord Europa molte aree saranno adatte alla crescita della vite.

L'impatto del cambiamento climatico sulle risorse idriche e sull'irrigazione in Europa

A livello europeo, in uno scenario di riscaldamento globale di 2°C, si prevede un aumento di crisi idriche nell'Europa meridionale, in particolare a Cipro, Grecia, Italia, Spagna e Turchia, mentre per l'Europa centro-settentrionale è probabile un aumento della disponibilità idrica annuale. Il cambiamento climatico è considerato responsabile di circa l'80-90% di questi cambiamenti previsti.

Di conseguenza, si attendono nei decenni futuri anche notevoli aumenti della domanda idrica per l'irrigazione in Europa, che vanno da piccoli aumenti - considerando scenari di emissione RCP 2.6 e RCP 4.5 (dove sono previsti decrementi anche per dell'Europa orientale) - ad aumenti sostanziali (maggiori del 20%) per RCP 6.5 e oltre il 25% sotto RCP 8.5 entro il 2100 nella maggior parte delle regioni irrigate in Europa.

Si consideri d'altra parte che secondo alcuni studi è prevista una diminuzione del fabbisogno netto di irrigazione nelle aree in cui si prevede un ciclo di coltivazione più breve, come per il frumento nell'Italia meridionale e il mais in Portogallo.

La connessione acqua-cibo-energia, che comprende sinergie e compromessi tra acqua, consumo di energia e la produzione alimentare, sarà fortemente influenzata dal previsto aumento della domanda di acqua da parte del settore agricolo ed energetico e l'aumento della popolazione. A questo proposito, la domanda idrica probabilmente supererà la disponibilità della risorsa entro il 2050, a meno che non vengano messe in atto strategie alternative di gestione dell'acqua e modifiche nei consumi alimentari (con implicazioni per i tipi di colture che vengono coltivate) e nella produzione energetica.

Si evidenzia inoltre che vi è una notevole incertezza di tali effetti associata all'impatto socio-economico, alla disponibilità di combustibili fossili, alle politiche climatiche e di gestione dell'acqua e la necessità di integrare tali aspetti nella pianificazione delle risorse idriche.

Effetti di estremi termici e ondate di calore in Europa

Temperature estreme possono verificarsi a diverse scale temporali (ad es. giornaliera, mensile, stagionale, annuale, decennale) e spaziali (es. locale, regionale, globale). Gli estremi nelle alte temperature possono prolungarsi per certo un periodo di tempo (ad esempio diversi giorni), provocando così le cosiddette ondate di calore. Il numero di ondate di calore estivo è aumentato dal 1950 (Vicente-Serrano et al., 2014), intensificandosi negli ultimi anni (2003, 2006, 2007, 2010, 2014, 2015), e le proiezioni future indicano una tendenza al riscaldamento nell'area del Mediterraneo alla fine del secolo. Si consideri che nel 2018, una primavera e un'estate eccezionalmente secche e calde hanno colpito l'Europa centrale e settentrionale.

Gli effetti fisiologici dello stress termico sulle piante sono principalmente la riduzione dell'efficienza fotosintetica e traspirativa delle piante ed effetti negativi sullo sviluppo delle radici, riducendo così la resa delle colture. Anche brevi periodi di alte temperature (1-3 giorni di temperatura >33°C) durante le fasi più sensibile dello sviluppo colturale (ad es. fioritura e riempimento della cariosside) possono drasticamente ridurre le rese e se tali periodi di temperature estremamente elevate si prolungano si possono verificare gravi danni o la totale perdita della produzione agricola.

Con particolare riferimento al frumento, gli effetti principali dello stress termico sulla resa di tale coltura sono legati a una riduzione nel numero delle cariossidi a causa della sterilità e dell'aborto delle cariossidi (quando lo stress si verifica appena prima dell'antesi ad almeno 10 giorni dopo l'antesi) e nella dimensione ridotta a causa dei danni a livello cellulare. Tutti questi effetti si traducono in una significativa riduzione della resa in granella.

Il previsto aumento delle temperature durante l'estate potrà causare uno spostamento nel periodo della raccolta in alcuni aree mediterranee, modificando i periodi di coltivazione per alcune colture dalla stagione estiva alla stagione invernale e determinare cambiamenti positivi nella gestione aziendale rispetto a quella agronomica tradizionale. Inoltre, l'effetto combinato di ondate di calore e di stagioni vegetative più brevi implicherà la perdita di terreno adatto all'agricoltura in alcune aree dell'Europa meridionale.

La viticoltura sarà fortemente colpita dagli effetti del cambiamento climatico anche in futuro, a causa dell'aumento delle temperature e dello stress termico. Le proiezioni che utilizzano entrambi gli scenari (RCP 4.5 e 8.5) indicano, entro la metà del secolo, effetti negativi sullo sviluppo dell'uva e sulla qualità del vino nell'Europa meridionale, rendendo necessaria l'adozione di misure di adattamento per sostenere in futuro di il settore vitivinicolo.

Siccità e scarsità idrica

La siccità è il decremento dell'acqua disponibile in un particolare periodo e per una particolare zona; secondo questa accezione si presenta, quindi, come un fenomeno sporadico che può colpire anche aree non aride. La siccità è, infatti, una normale e ricorrente caratteristica del ciclo idrologico e può verificarsi sia in regioni secche che umide.

Le serie storiche relative alla siccità in Europa riportano che la frequenza e la gravità della siccità sono aumentate nel corso del nell'area mediterranea e nell'Europa orientale oltre il periodo 1950-2015. Nel nord Europa si sono verificati periodi siccitosi caratterizzati da una minore frequenza e intensità, dove è stato osservato un aumento delle precipitazioni, principalmente per la stagione invernale. È stato osservato un pattern misto in centro Europa.

Le proiezioni future indicano un aumento della frequenza e intensità dei periodi siccitosi nell'area mediterranea, Europa occidentale e Scandinavia settentrionale alla fine del 21° secolo (RCP 4.5), nonché un maggiore aumento della durata dei periodi siccità meteorologica, principalmente

nell'Europa meridionale. Tuttavia, secondo lo scenario RCP 8.5, si prevedono siccità più intense in tutta Europa. Le siccità avranno durata prolungata, con 1-2 giorni all'anno anche nella regione nordica (tutta la Danimarca, la Norvegia e l'estremo sud della Svezia). Nell'area mediterranea in particolare in Portogallo, nella regione della Galizia in Spagna, nel nord della Scandinavia e nella Turchia mediterranea, l'aumento della gravità degli eventi siccitosi sarà più pronunciato (Spinoni et al., 2018). A scala stagionale, la frequenza aumenterà in tutto il continente europeo per la primavera e l'estate (soprattutto nell'Europa meridionale), mentre si prevede una diminuzione della frequenza della siccità in inverno sull'Europa settentrionale e occidentale, in entrambi gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.

La siccità sta colpendo la produzione di seminativi e l'alimentazione animale in Europa, e questo ha un impatto notevole sul reddito degli agricoltori. Nel 2018, gli agricoltori di tutte le regioni in Europa settentrionale e centrale hanno avuto ingenti perdite economiche determinate dalle rese azzerate, a causa del verificarsi di una delle più intense siccità mai registrata. Oltre alla riduzione della produttività, alcuni studi riportano che, nei prossimi decenni, eventi di siccità causeranno un aumento della domanda idrica destinata all'irrigazione in Europa, riducendo così l'areale adatto all'agricoltura in asciutto. Si prevede che la domanda di irrigazione nell'area del Mediterraneo aumenterà tra il 4% e il 18% entro la fine del secolo (per gli RCP 4.5 e 8.5), determinando così un aumento della competizione tra i diversi settori (es. agricoltura, industria, società civile) per gli usi idrici.

Il cambiamento climatico sulle aree ADA

La visione d'insieme fornita dai paragrafi precedenti mette in rilievo la complessità di analisi degli impatti del cambiamento climatico futuro sul settore agricolo poiché implica analisi che devono tenere in conto molteplici fattori e le loro interazioni.

Per dare quindi una valutazione quantitativa e di dettaglio degli impatti del cambiamento climatico, grazie alla quale possano essere anche fornite indicazioni su possibili strategie di adattamento e pianificazione, risulta essenziale produrre casi di studio che si focalizzino su specifiche colture agrarie e su specifiche aree geografiche affinché l'analisi degli effetti del cambiamento climatico consideri per quanto possibile effetti combinati di variazioni di temperatura e struttura delle precipitazioni che, come noto, influenzano i cicli colturali e hanno impatti differenti nelle regioni europee.

In particolare, nel presente deliverable vengono presentati 10 casi di studio che analizzano le 3 filiere agroalimentari del progetto ADA (vitivinicola, ortofrutticola e del Parmigiano Reggiano) in quattro regioni italiane (Emilia-Romagna, Veneto, Toscana e Lazio). Per ogni caso di studio vengono quindi fornite previsioni dei consumi irrigui e di altre grandezze di interesse agro-ambientale di colture legate a tali filiere per il trentennio futuro 2021-2050 in relazione al clima 1971-2000.

Per la filiera vitivinicola sono stati presi in esame 4 casi di studio, rappresentativi di diverse aree geografiche, vitigni e denominazioni: Appennino romagnolo (Emilia-Romagna), Provincia di Treviso (Veneto), Colline del Chianti (Toscana) e Colli Albani (Lazio). Per la filiera del Parmigiano Reggiano è stata selezionata come caso di studio l'analisi dell'erba medica e dei prati stabili nella zona della prima collina fra Reggio Emilia e Parma. Per la filiera ortofrutticola sono stati presi in esame 5 casi di studio, per 2 diverse colture in alcune delle loro principali aree di produzione, distribuite nelle varie regioni: il kiwi nella provincia di Ravenna, nella provincia di Verona e nella zona di Latina in Lazio; il pomodoro nella provincia di Piacenza e provincia di Grosseto.

METODOLOGIA

Lo schema operativo per le analisi di impatto del cambiamento climatico sui fabbisogni irrigui

Arpae ha sviluppato la catena operativa presentata in Figura 1 per la regionalizzazione di scenari climatici futuri e per proiezioni di impatto agronomico. Questo schema, sviluppato all'interno del progetto europeo Ensembles (Tomei et al., 2009), è stato applicato nel progetto ADA. Le proiezioni future di bilancio idrico e sviluppo colturale vengono simulate mediante il modello di bilancio idrico e di sviluppo colturale Criteria (Marletto et al., 2007), che richiede in input dati meteorologici giornalieri: temperature (minime e massime) e precipitazioni. Le serie sintetiche di queste grandezze meteorologiche giornaliere per lo scenario futuro sono prodotte mediante un generatore climatico (WG - weather generator) che utilizza in ingresso le anomalie stagionali previste e il clima locale di riferimento. Tali anomalie sono ottenute per mezzo di una tecnica di regionalizzazione statistica applicata alle simulazioni dei modelli globali di circolazione generale.

Di seguito vengono descritti i diversi componenti integrati nello schema operativo.

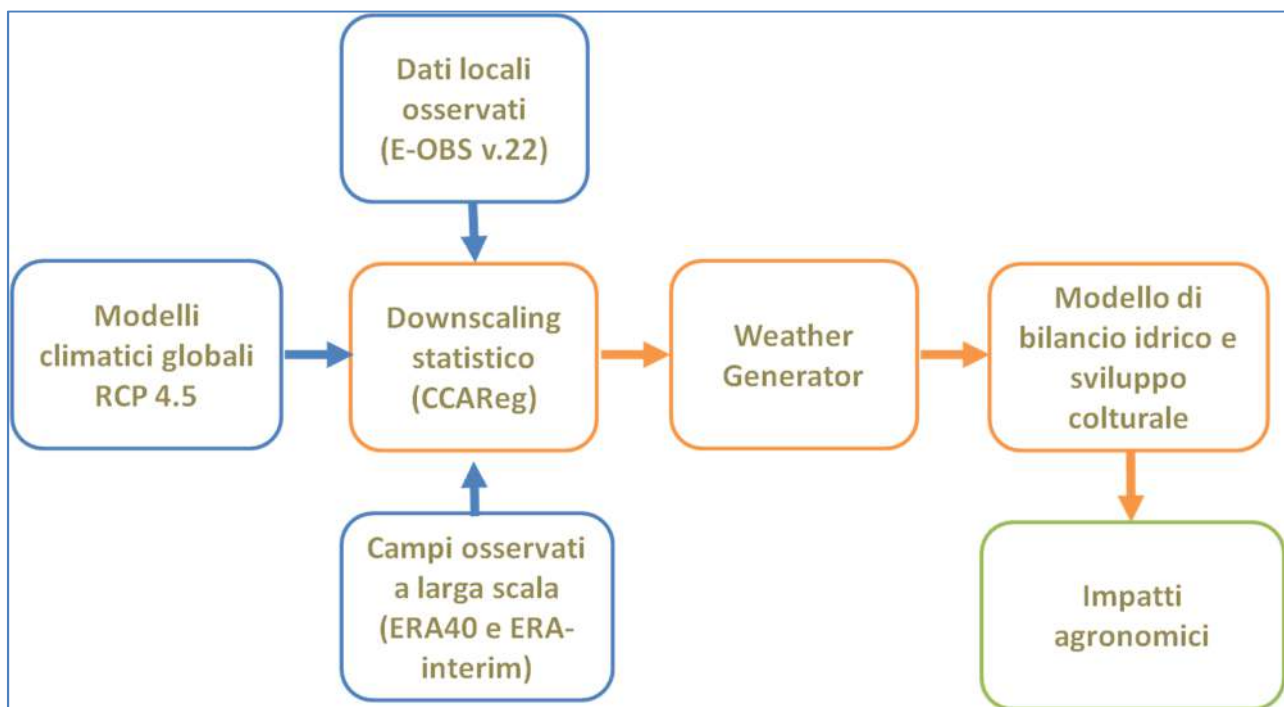


Figura 1 - Schema operativo delle proiezioni di impatto agronomico

La gestione dell'incertezza

L'intento di questo lavoro è quello di fornire previsioni dei consumi irrigui di colture agrarie e di altre grandezze di interesse agro ambientale per il trentennio futuro 2021-2050. Pertanto, i risultati di tale analisi vengono presentati come una distribuzione statistica di probabilità e non come un output deterministico.

Un risultato di tipo probabilistico viene raggiunto mediante la combinazione di diversi fattori. Si parte dal downscaling statistico che utilizza in ingresso più modelli GCMs (vedi Tabella 1) che a loro volta possono avere più repliche.

In uscita alla regionalizzazione vengono gestiti dunque più output dei modelli che alimentano il weather generator, che a sua volta produce serie meteorologiche giornaliere. Il numero di serie meteo generate deve essere congruo affinché l'insieme delle serie sintetiche possa rappresentare in modo coerente il clima locale dell'area di studio e sia il meno possibile soggetto alla aleatorietà del generatore numerico.

Il prodotto degli output dei modelli e dei run del WG produce molteplici serie meteo che vengono inserite nel modello Criteria-1D che dunque produrrà in uscita non un risultato deterministico ma una distribuzione statistica della grandezza considerata. Alla luce di queste considerazioni, i risultati vengono presentati mediante box plot, in tali rappresentazioni vengono indicati il 5°, 25°, 50°, 75° e 95° percentile.

Proiezioni di cambiamento climatico a scala locale

I modelli di circolazione generale dell'atmosfera e dell'oceano (AOGCMs) costituiscono i principali strumenti di valutazione dei cambiamenti climatici futuri per le varie scale spaziali e temporali. La risoluzione spaziale di questi modelli, cioè la distanza tra un punto di griglia e quelli vicini, è migliorata molto arrivando oggi a circa 100 km. Questo incremento della risoluzione è notevole, ma non è ancora sufficiente per rappresentare i fenomeni che avvengono su scala locale e, soprattutto, per valutare gli impatti del cambiamento climatico sul territorio. Per incrementare la risoluzione spaziale e tenere conto degli effetti locali sono state sviluppate tecniche di "regionalizzazione" (downscaling), di tipo dinamico e statistico. Le tecniche dinamiche consistono nell'utilizzo di modelli ad area limitata (RCM), mentre quelle statistiche si basano sull'uso di relazioni statistiche tra le variabili di grande scala e quelli locali e hanno il vantaggio che permettono di arrivare fino al punto di griglia/stazione d'interesse.

Tutti questi strumenti permettono di formulare scenari di cambiamento climatico sempre più dettagliati, ma che mantengono però un certo grado di incertezza. Per ridurre questa incertezza vari studi sviluppati nell'ambito di progetti, hanno dimostrato come soluzione migliore l'utilizzo di più modelli (approccio di "ensemble") e la costruzione di una media di "ensemble" (EM).

Nel presente studio le proiezioni di cambiamento climatico per le aree del progetto sono state costruite attraverso tecniche/modelli di regionalizzazione statistica sviluppati da Arpa SIMC. Il modello è una regressione statistica multivariata basata sulla tecnica delle correlazioni canoniche (CCAReg), applicata a scala stagionale. Questa tecnica permette di accoppiare grandezze fisiche/campi in quota “a grande scala” più probabilmente prevedibili dai modelli climatici globali (come ad esempio il campo di pressione a livello del mare–mslp; il geopotenziale a 500 mb–z500; la temperatura a 850 mb–t850) con grandezze a “scala locale” (temperature minime, massime, precipitazioni) tali per cui sia massima la correlazione fra le loro serie temporali (Tomozeiu et al., 2014, 2017).

Per impostare il modello statistico e per la costruzione di proiezioni future a scala nazionale/ casi di studio del progetto ADA (scala locale), sono stati utilizzati:

- dati giornalieri di temperatura minima, massima, e precipitazioni derivati dal dataset E-OBS versione 22 (<https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php>), del periodo 1958-2013. Gli indicatori stagionali di temperatura e precipitazione a scala nazionale/casi di studio sono stati calcolati partendo dai dati giornalieri del data set EOBS, disposti su una griglia regolare con una risoluzione di 0.1°x0.1° che copre l’area Europea (25N-71.5N x 25W-45E). Da questa finestra europea, sono stati selezionati e presi in considerazione solo i punti di griglia che coprono il territorio nazionale;
- campi in quota della rianalisi ERA40 e ERA-interim del centro meteorologico europeo (ECMWF), sul periodo 1958-2013 (<https://apps.ecmwf.int/archive-catalogue/>);
- proiezioni dei campi in quota sul periodo 2021-2050, simulazioni future dei modelli climatici globali (GCMs) afferenti al Coupled Model Intercomparison Project 5 (Cmip5) del World Climate Research Programme (<https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip5/>), ottenute nell’ambito dello scenario emissivo RCP4.5. Sono stati utilizzati campi in quota afferenti ai seguenti GCMs del Cmip5: CMCC-CM, MPI-ESM-MR, CNRM-CM5, Can-ESM2, INM-CM4, NOR-ESM1, per il periodo di controllo 1971-2000 e periodo futuro 2021-2050.

Per avere una maggiore robustezza statistica, i cambiamenti ottenuti con CCAReg per ciascuno dei modelli climatici del progetto Cmip5 sono stati combinati insieme con la tecnica dell’Ensemble Mean.

La tabella 1 elenca i modelli climatici globali (GCMs) utilizzati per alimentare il modello di regionalizzazione statistica e ne presenta la risoluzione spaziale. Stante la risoluzione diversa dei modelli globali, tutti i campi di larga scala sono portati alla stessa risoluzione del dataset ERA40-ERA interim, cioè 2.5°x 2.5°.

Modello Climatico Globale (GCM)	Centro Modellistico	Risoluzione spaziale
CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici	0.75°x0.75°
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology	1.87°x1.87°
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Météorologiques	1.40°x1.40°
CanESM2	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	2.79x2.81°
INM-CM4	Russian Institute for Numerical Climate Modelling	2°x1.5°
NorESM1	Norwegian Climate Center	1.9°x2.5°

Tabella 1 - Modelli Climatici Globali (GCMs) selezionati per alimentare il modello di regionalizzazione statistica CCAReg.

Arpae ha elaborato scenari di cambiamento climatico di temperature (minime e massime) e precipitazioni per il trentennio 2021-2050 rispetto al periodo climatico di riferimento 1971-2000, nell'ambito dello scenario emissivo RCP4.5, sulle 10 aree di studio rappresentative del territorio italiano oggetto di studio del progetto ADA (Emilia-Romagna, Toscana, Veneto e Lazio) indicate in Figura 5.

Le proiezioni climatiche sono prodotte a livello stagionale, dove le stagioni sono definite in questo modo: dicembre, gennaio, febbraio (inverno), marzo, aprile, maggio (primavera), giugno, luglio, agosto (estate), ottobre, novembre e dicembre (autunno).

Il modello di bilancio agro-idrologico CRITERIA-1D

Le proiezioni future di fabbisogno idrico delle colture sono prodotte dal modello agro-idrologico CRITERIA-1D liberamente scaricabile al seguente link: <https://github.com/ARPA-SIMC/CRITERIA1D>.

Il modello CRITERIA-1D (Marletto et al., 2007) calcola lo sviluppo delle colture e la dinamica dei flussi idrici del suolo nei suoli agricoli. Il modello è guidato da dati meteorologici giornalieri: temperatura minima e massima, precipitazioni e, se disponibili, dati di profondità della falda ipodermica.

CRITERIA-1D presuppone un suolo multistrato e calcola l'evaporazione e la traspirazione effettive giornaliere, i flussi idrici tra gli strati del suolo, il drenaggio profondo, i flussi superficiali e sotterranei.

La ritenzione idrica del suolo e la conducibilità idraulica sono descritte da una versione modificata del modello van Genuchten-Mualem (Bittelli et al., 2010).

Lo sviluppo della coltura e la dinamica dei processi correlati, come l'indice di area fogliare (LAI, m² m⁻²) e la profondità radicale (m), sono simulati in Criterias mediante equazioni empiriche basate su gradi giorno (°C).

L'evapotraspirazione potenziale viene calcolata utilizzando l'equazione di Hargreaves e Samani (1985). La ripartizione dell'evapotraspirazione in potenziale evaporazione e traspirazione è guidata dal LAI. La evaporazione potenziale è assegnata allo strato superficiale (se umido) e ai primi strati di terreno, mentre la traspirazione potenziale è assegnata all'apparato radicale, ripartito in base alla densità delle radici. L'evaporazione e la traspirazione effettiva possono essere inferiori al potenziale, a seconda del contenuto di acqua del suolo e dei parametri fisiologici della coltura.

Ogni coltura nel modello ha una propria sensibilità allo stress idrico, definita dalla frazione di acqua prontamente disponibile (fRAW) per l'apparato radicale. Il modello stima il volume e i tempi di irrigazione suggeriti in base a diversi fattori scatenanti: l'effettiva umidità del suolo nel sistema radicale, la frazione di acqua prontamente disponibile, il periodo minimo di turno irriguo e il volume massimo per una singola irrigazione. Inoltre, può essere definita una soglia di stress idrico tollerato (Villani et al., 2011).

Il modello CRITERIA-1D è stato utilizzato per simulare i casi di studio elencati nelle Tabelle 3, 4, 5 e 6. Ogni caso di studio è definito secondo la combinazione di dati meteo, pedologici e colturali. Per le analisi di impatto effettuate nell'ambito del progetto ADA, i dati di input sono:

- dati meteo: analisi EOBS v.22 su griglia europea con risoluzione 0.1°x0.1°;
- dati pedologici: la carta pedologica della regione Emilia-Romagna (scala 1:250000) per i casi di studio in regione, per gli altri casi al di fuori dell'Emilia-Romagna i dati sono stati invece ricavati dal portale Soilgrids.org sviluppato da ISRIC (International Soil Reference and Information Centre), contenente informazioni stimate sui profili di suolo per tutto il mondo, a partire dal progetto WoSIS (World Soil Information Service);
- dati colturali: sono state selezionate colture di rilievo per le filiere considerate, i cui parametri colturali sono presenti nel DB Crop di CRITERIA-1D.

Weather generator

Definizione e descrizione di un Weather Generator stocastico

Un Weather Generator (WG) stocastico produce serie temporali sintetiche di dati meteorologici di lunghezza illimitata per un punto basandosi sulle sue caratteristiche statistiche di dati climatici osservati per quella località. I modelli che vengono utilizzati per generare tali serie sono

generalmente sviluppati in due passaggi successivi. Il primo passo è la modellizzazione delle precipitazioni giornaliere, il secondo è la modellizzazione delle restanti variabili d'interesse, come temperature minime e massime, radiazione solare, umidità e velocità del vento. Per ogni mese, sono richiesti vari parametri da parte dei differenti modelli, affinché vengano rispettate sia le variazioni nei valori delle variabili sia le relazioni tra di esse.

Lo schema maggiormente noto per lo sviluppo di un WG è stato messo a punto da Richardson (1984) e i WG che si basano sul suo approccio sono spesso definiti "Richardson type". Come primo passaggio si discrimina se un giorno è piovoso o meno in base all'occorrenza dei giorni piovosi utilizzando una catena di Markov, poi viene modellizzata la quantità di precipitazione che cade durante i giorni piovosi in base a una funzione della distribuzione della intensità di precipitazione.

Le rimanenti variabili sono successivamente calcolate basandosi sulla loro correlazione le une con le altre e sulla occorrenza degli eventi piovosi. Il generatore di tipo Richardson è stato usato con successo in un'ampia gamma di applicazioni in idrologia, agronomia e gestione ambientale.

Un punto critico dei generatori di tipo Richardson è la loro scarsa capacità di descrivere in modo adeguato eventi persistenti come lunghe siccità, ondate di calore o piogge prolungate.

L'utilizzo dei WG nelle valutazioni di impatto

La decisione di applicare un WG in una valutazione di impatto potrebbe essere determinata da una o più delle seguenti motivazioni:

- lunghe serie temporali di dati meteorologici giornalieri, che non sono disponibili da dataset di dati osservati;
- dati meteorologici giornalieri in una regione con scarsità di dati;
- dati meteorologici giornalieri su griglia per analisi spaziali.

Il weather generator utilizzato in questo studio è basato sullo schema di Richardson et al. (1984), successivamente modificato da Stöckle e Campbell (1999), a cui sono state apportate ulteriori integrazioni. L'obiettivo del WG è quello di generare serie sintetiche di dati giornalieri di temperatura (minima e massima) e di precipitazione a partire dai valori climatici mensili di otto variabili in ingresso (Tabella 2) per un periodo di un certo numero di anni per una data località.

L'approccio usato è di generare la precipitazione per un dato giorno in modo indipendente rispetto alle altre variabili. Le temperature minime e massime vengono poi generate in relazione al giorno piovoso o non piovoso che è stato generato in precedenza. Il modello è strutturato in modo tale da preservare la dipendenza nel tempo, la correlazione tra le variabili e le caratteristiche stagionali per quella zona.

Codice variabili	Dati in ingresso al WG	Unità di misura
Tmax	Media della temperatura massima	°C
Tmin	Media della temperatura minima	°C
Txsd	Deviazione standard della temperatura massima	°C
Tnsd	Deviazione standard della temperatura minima	°C
Prpcp	Media della precipitazione totale	mm
Fwet	Frazione di giorni piovosi	
Pww	Probabilità di giorno piovoso dopo un giorno piovoso (wet-wet)	
DTdw	Scarto tra le Tmax dei giorni piovosi e asciutti	°C

Tabella 2 – Variabili in ingresso del weather generator

I principali miglioramenti del WG di Campbell allo schema di Richardson sono:

- una interpolazione spline quadratica per tutte le variabili, in modo che le medie mensili risultino corrette;
- l'uso della distribuzione di Weibull per generare la precipitazione, che richiede solamente i valori osservati medi di precipitazione nei giorni piovosi (Selker e Haith, 1990).

Lo scarto termico tra le massime dei giorni piovosi e asciutti (DTdw) è una variabile critica per accoppiare temperature e precipitazioni che altrimenti non sarebbero correlate. I giorni vengono considerati piovosi se la precipitazione risulta maggiore di 0.2 mm, al fine di eliminare l'errore sistematico dovuto alla deposizione di rugiada. Per una statistica climatica, i dati in ingresso devono essere mediati su un periodo di tempo significativo di almeno 30 anni. Alle variabili tipicamente utilizzate nei generatori che seguono lo schema di Richardson è stata poi aggiunta P(wet-wet), cioè la probabilità di occorrenza di un giorno piovoso dopo un giorno piovoso, che permette di migliorare la generazione di eventi persistenti sulle precipitazioni (siccità o piogge prolungate), uno dei punti critici dei WG di questo tipo.

Il WG così sviluppato, integrato nel software Praga e alimentato dalla climatologia locale e da previsioni ad alta risoluzione, produce serie sintetiche giornaliere che possono essere utilizzate per le simulazioni del modello agro-idrologico CRITERIA-1D (Figura 2).

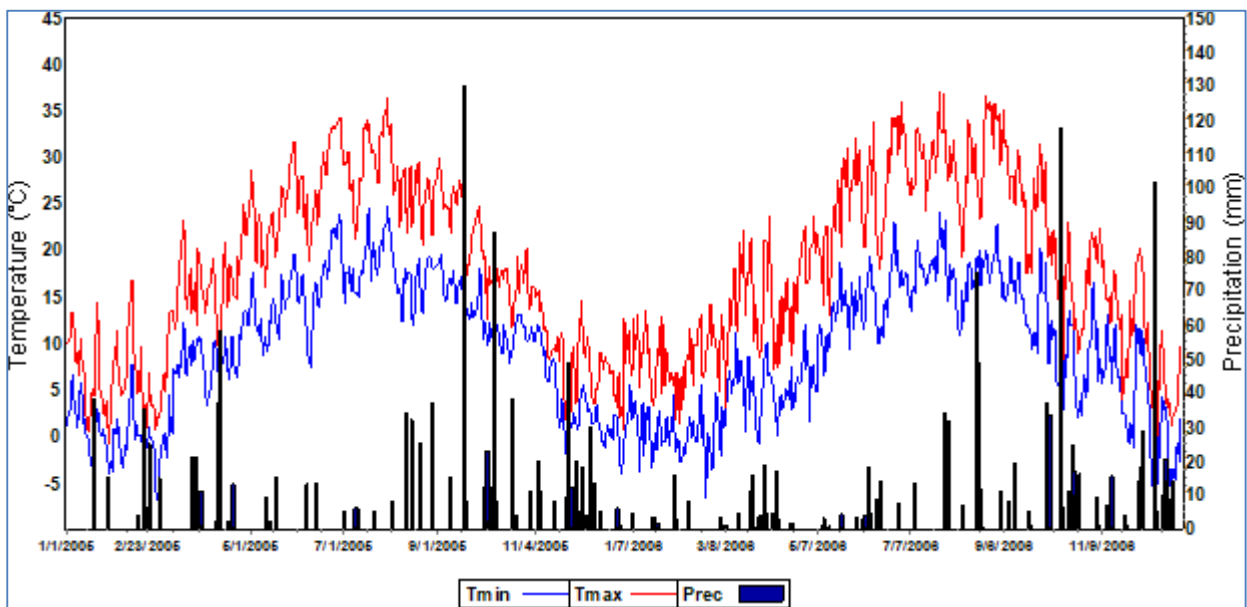


Figura 2 – Esempio di output giornaliero del WG: dati osservati (anno 2005) e dati sintetici (anno 2006) per la stazione meteorologica di Cadriano (Bologna)

Formato dei dati climatici XML

Per caricare le anomalie nel weather generator, è stato sviluppato da Arpae un apposito formato XML (eXtensible Markup Language) grazie al quale è possibile definire valori puntuali di anomalia downscalati dai modelli globali per le grandezze richieste dal WG in periodi definiti di riferimento e di scenario. In Figura 3 si riporta un esempio di file XML per la cella E-OBS riferita a Grosseto, per una serie di modelli globali nello scenario 2021-2050, rispetto al clima di riferimento 1971-2000. Tale schema permette pertanto non solo di caricare facilmente all'interno del software Praga (Antolini e Tomei, 2006), sviluppato da Arpae, i valori di riferimento per le zone di studio del progetto ADA ma può essere utilizzato per qualunque altro studio di tipo climatico che richieda la produzione di serie sintetiche di dati giornalieri.

```

3 <file>
4   <type>PragaClimate</type>
5   <attribute>singlePoint</attribute>
6   <delimiter>,</delimiter>
7   <decimalSeparator>.</decimalSeparator>
8 </file>
9
10 <point>
11   <name>Grosseto</name>
12   <code>4752</code>
13   <info></info>
14   <lat>42.75</lat>
15   <lon>11.05</lon>
16   <height>6</height>
17 </point>
18
19 <models>
20   <type>SD_GCMs</type>
21   <value>SD_can_esm2,SD_cmcc,SD_cnrm,SD_inmcm4,SD_mpi,SD_norv,SD_EM</value>
22 </models>
23
24 <climate>
25   <type></type>
26   <from>1971</from>
27   <to>2000</to>
28 </climate>
29 <scenario>
30   <type>RCP4.5</type>
31   <from>2021</from>
32   <to>2050</to>
33 </scenario>
34
35 <period>
36   <time>
37     <type>DJF</type>
38     <from></from>
39     <to></to>
40   </time>
41 <var>
42   <type>Tmin</type>
43   <attribute>anomaly</attribute>
44   <value>1.6,1.4,1.0,-9999.0,1.3,1.2,1.3</value>
45 </var>
46 <var>

```

posizione

modelli

clima di riferimento e periodi di riferimento degli scenari RCP

stagione

grandezze

Figura 3 – Esempio di file XML per alimentare il WG con le proiezioni climatiche

RISULTATI

Filiera vitivinicola

Per la filiera vitivinicola sono stati presi in esame 4 casi di studio (Fig. 4), rappresentativi di diverse aree geografiche, vitigni e denominazioni:

- Appennino romagnolo (Emilia-Romagna)
- Provincia di Treviso (Veneto)
- Colline del Chianti (Toscana)
- Colli Albani (Lazio)



Figura 4 - Localizzazione dei casi di studio per la filiera vitivinicola sulla griglia E-OBS.

Nella scelta della cella meteo di riferimento (Tabella 3) non si è necessariamente optato per le aree più note di produzione, preferendo piuttosto individuare le celle della griglia E-OBS che presentassero più stazioni per le temperature e per le precipitazioni all'interno della cella stessa o

nelle immediate vicinanze, per analizzare gli scenari di cambiamento climatico a partire da un clima di riferimento affidabile.

Riferimento geografico	ID cella E-OBS	nr. stazioni (Temp)	nr. stazioni (Prec)	Lat.	Long.	Coltura	Altitudine	Regione
Monteleone	4933	3	3	44.05	12.25	vite	206 m	Emilia-Romagna
Istrana	3075	2 limitrofe	2 limitrofe	45.75	12.15	vite	70 m	Veneto
San Miniato	5234	1	1 (1 limitrofa)	43.65	10.85	vite	102 m	Toscana
Falcognana	6212	1	1 (2 limitrofe)	41.75	12.55	vite	112 m	Lazio

Tabella 3 - Casi di studio per la filiera vitivinicola.

Per la caratterizzazione pedologica del caso di studio Monteleone si è utilizzato il suolo San Tommaso (STM) della carta dei suoli dell'Emilia-Romagna, tipico della bassa collina romagnola. Si tratta di suoli profondi, ben drenati, a tessitura media (franco e franco-argillosa).

Le caratteristiche pedologiche per gli altri casi di studio sono stati invece ricavati dal portale Soilgrids.org sviluppato da ISRIC (*International Soil Reference and Information Centre*), contenente informazioni stimate sui profili di suolo per tutto il mondo, a partire dal progetto WoSIS (*World Soil Information Service*).

Per quanto riguarda le proiezioni di cambiamento climatico nei vari casi di studio vengono analizzate le due stagioni più importanti per la fase di sviluppo della coltura: primavera (*MAM: March, April, May*) ed estate (*JJA: June, July, August*).

Per generare le serie sintetiche con il weather generator sono state utilizzate le proiezioni su tutte le stagioni ed in particolare è stato utilizzato l'ensemble mean dei modelli climatici, come descritto nella sezione sulle proiezioni climatiche a scala locale.

Per le simulazioni è stata presa in considerazione una produzione sottoposta a disciplinare, in cui sono ammesse solo irrigazioni di soccorso. Per i vitigni a bacca nera è stata definita nel modello una soglia di tolleranza allo stress idrico alta, tale per cui le irrigazioni vengono simulate solo quando si è vicini al rischio di disseccamento con possibilità di perdere produzione o la pianta stessa, se non si procede all'irrigazione. Per i vitigni a bacca bianca la soglia è stata abbassata per tenere conto del fatto che questi soffrono maggiormente le siccità prolungate.

Gli interventi irrigui di soccorso nel modello sono stati impostati a 30 mm, una quantità adeguata per le tipologie di suoli presenti nei casi di studio, e le radici sono state simulate con una profondità radicale di 1.5 metri.

Appennino romagnolo - Monteleone

Il vitigno prevalente nell'area è il Sangiovese, un vitigno a bacca nera presente in tutto il centro Italia, di cui si ritiene che il luogo d'origine sia proprio l'Appennino toscano-romagnolo. Nel periodo 2021-2050 per il caso di studio di Monteleone (FC) le proiezioni climatiche sulle temperature (figura 5) indicano un probabile aumento rispetto al periodo di riferimento 1971-2000, sia in primavera che in estate, con l'incremento più elevato in estate: 2°C per le temperature minime e 2.6°C per le massime. Una quota importante della variazione prevista si è già realizzata nell'ultimo trentennio (1991-2020), in particolare nelle temperature massime primaverili, cresciute di 1.5°C (mentre nelle proiezioni 2021-2050 è previsto un incremento di 1.7°C).

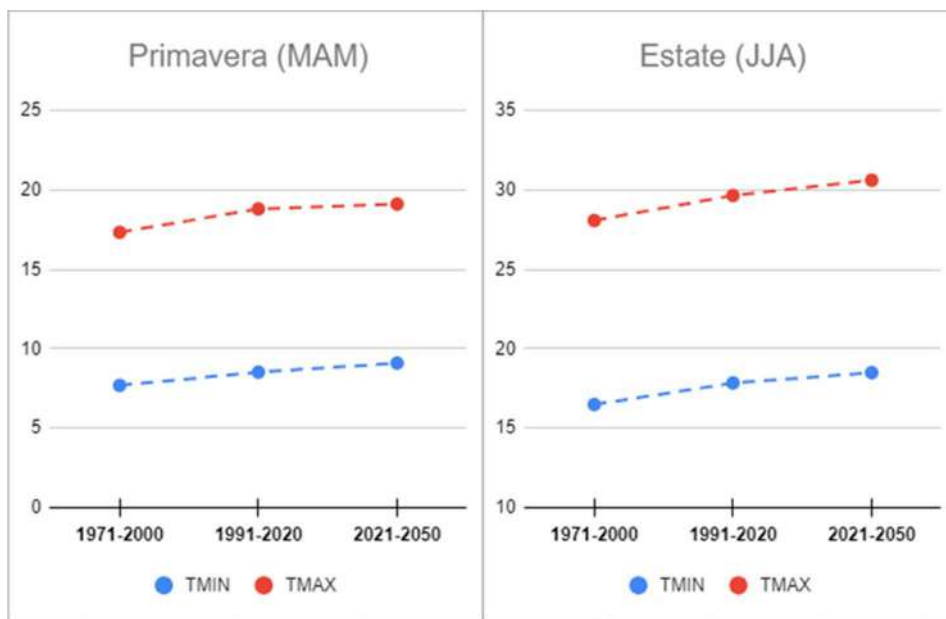


Figura 5 - Temperature minime e massime a Monteleone (FC): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

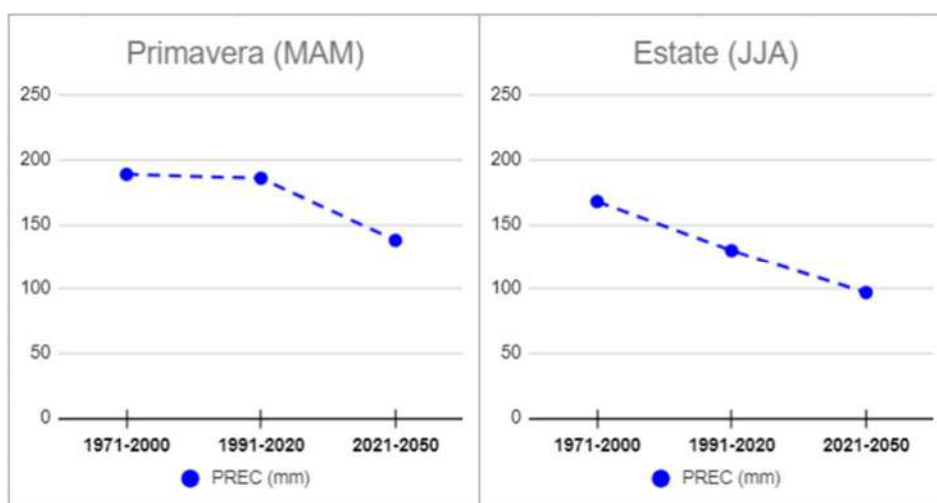


Figura 6 - Precipitazioni cumulate in primavera e in estate a Monteleone (FC): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Per quanto riguarda la quantità di precipitazione (Fig. 6), le proiezioni indicano per il medesimo periodo una probabile diminuzione delle precipitazioni, più marcata in estate (circa -44%) che in primavera (circa -27%). Nell'ultimo trentennio si è già registrato un calo significativo delle precipitazioni estive (-23%), al contrario non si è registrata una variazione significativa in primavera.

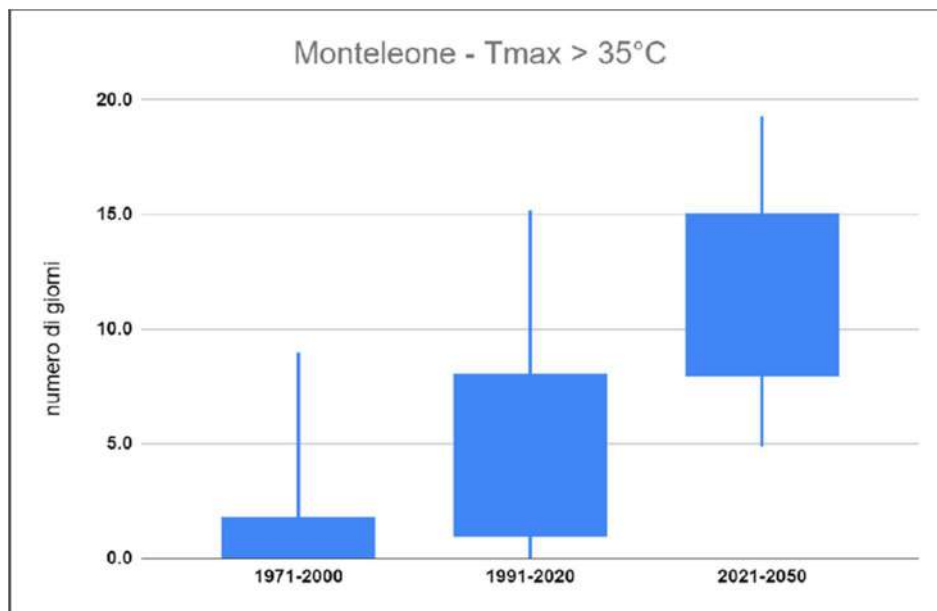


Figura 7 - Distribuzione del numero di giorni con $t_{max} > 35^{\circ}C$ a Monteleone (FC): il corpo centrale rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

Conseguenza del forte incremento delle temperature è la crescita delle ondate di calore, che vengono analizzate in figura 7 utilizzando come indicatore il numero di giorni con temperature massime superiori a $35^{\circ}C$: un evento molto raro nel trentennio 1971-2000, diventato più usuale nel periodo 1991-2020 (mediana di 4 giorni l'anno), e che si prevede divenga molto frequente nel trentennio 2021-2050 (mediana di 11 giorni l'anno).

Temperature molto elevate non rappresentano necessariamente un rischio per i vitigni a bacca nera e possono anzi aumentare la qualità del vino, ma il concomitante aumento delle temperature e diminuzione delle precipitazioni produce una maggiore frequenza dei periodi aridi, che possono portare al disseccamento dei grappoli, con necessità di incrementare le irrigazioni di soccorso per salvare il raccolto.



Figura 8 - Numero di irrigazioni di soccorso stimate per il Sangiovese a Monteleone (FC): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

La figura 8 mostra il numero di irrigazioni di soccorso stimate con il modello agro-idrologico CRITERIA-1D alimentato con le analisi E-OBS dal 1971 al 2020 e le proiezioni climatiche 2021-2050. Nel trentennio di riferimento 1971-2000 il modello stima che solo in cinque casi si sia dovuto procedere ad irrigazione di soccorso, mediamente una volta ogni sei anni. Nel periodo recente 1991-2020 le irrigazioni di soccorso raddoppiano e il 2012 in particolare è il primo anno della serie osservata in cui risultano necessarie due irrigazioni di soccorso nello stesso anno. Nello scenario futuro sono stimate 18 irrigazioni di soccorso sul trentennio, con incremento anche degli anni in cui potrebbero essere necessari due interventi e portando alla probabile necessità per i viticoltori di dotarsi di un impianto irriguo. Va sottolineato che in Romagna i vigneti non sono tipicamente dotati di impianto irriguo nella zona collinare, mentre in pianura, dove si predilige una produzione di maggiore quantità, molti viticoltori sono già dotati di impianto.

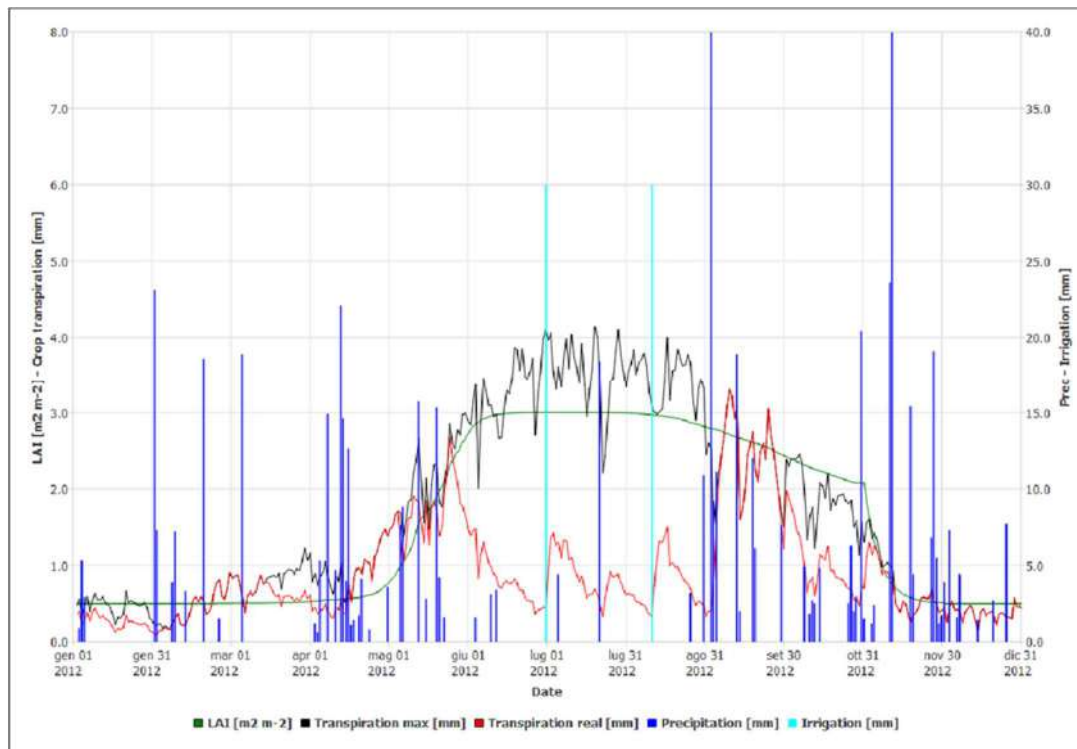


Figura 9 - Output del bilancio idrico della vite a Monteleone (FC) per il 2012: indice di area fogliare (LAI, linea verde) traspirazione potenziale (linea nera), traspirazione reale (linea rossa), precipitazioni osservate (barre blu) e irrigazioni di soccorso stimate (barre azzurre).

Gli output della simulazione con il modello CRITERIA-1D per l'anno 2012 a Monteleone sono mostrati in dettaglio in figura 9, dove si evidenzia il lungo periodo siccitoso in cui la traspirazione reale della vite (linea rossa) si riduce fortemente rispetto alla traspirazione potenziale (linea nera). Nel corso di tutta l'estate 2012 interviene una sola precipitazione significativa (barre blu), intorno a metà luglio. Il modello stima che siano necessarie due irrigazioni di soccorso (barre azzurre) quando lo stress idrico raggiunge livelli pericolosi per la tenuta fisiologica della pianta: la prima a fine giugno e la seconda intorno al 10 agosto.

Provincia di Treviso - Istrana

La Marca Trevigiana è rinomata in tutto il mondo per la sua produzione di vini bianchi, in particolare il Prosecco, il vino italiano più esportato all'estero. Il vitigno di base per la produzione è il Glera, un vitigno a bacca bianca con acini giallo-dorati, che ha origine in questa zona ed è conosciuto fin dai tempi dei Romani.

Per produrre il Conegliano Valdobbiadene Prosecco DOCG (il ministero dell'Agricoltura ha classificato così le produzioni dell'area storica attribuendo loro il massimo livello della qualità italiana riconosciuta dallo Stato) si possono usare solo le varietà di vite Glera (per un minimo dell'85%) e alcune varietà locali di uva (la Verdiso, la Bianchetta, la Perera e la Glera Lunga) o internazionali (Pinot e Chardonnay) per il restante 15%.

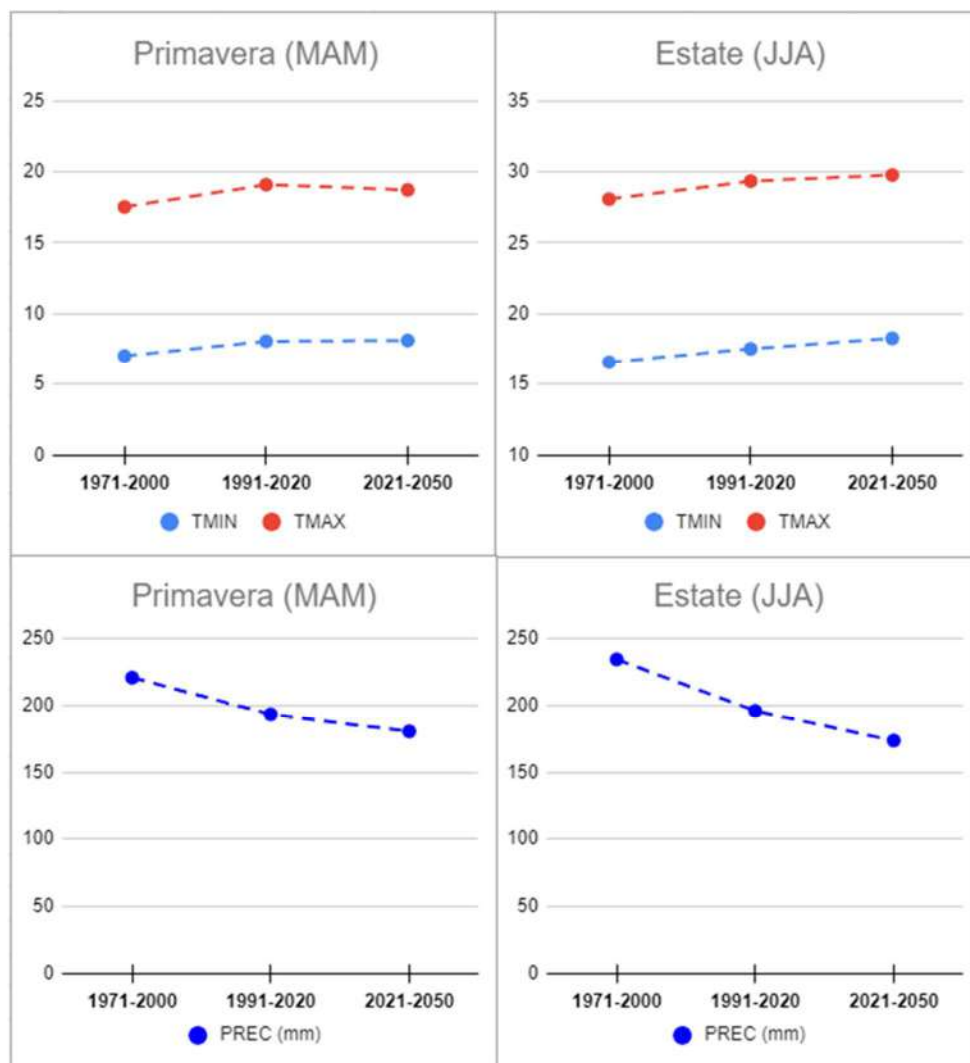


Figura 10 - Temperature (in alto) e precipitazioni (in basso) a Istrana (TR): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Le proiezioni climatiche per il periodo 2021-2050 nel caso di studio di Istrana presentano trend simili alla collina romagnola, ma con un segnale meno marcato, come si può vedere in figura 10: aumento delle temperature estive di 1.7°C, sia nelle minime che nelle massime, diminuzione delle precipitazioni di circa il 18% in primavera e 26% in estate. Va notato però che gran parte di queste variazioni si è già verificata nell'ultimo trentennio, sia sulle temperature che sulle precipitazioni, in particolare le temperature massime in primavera sono già cresciute di 1.5°C.

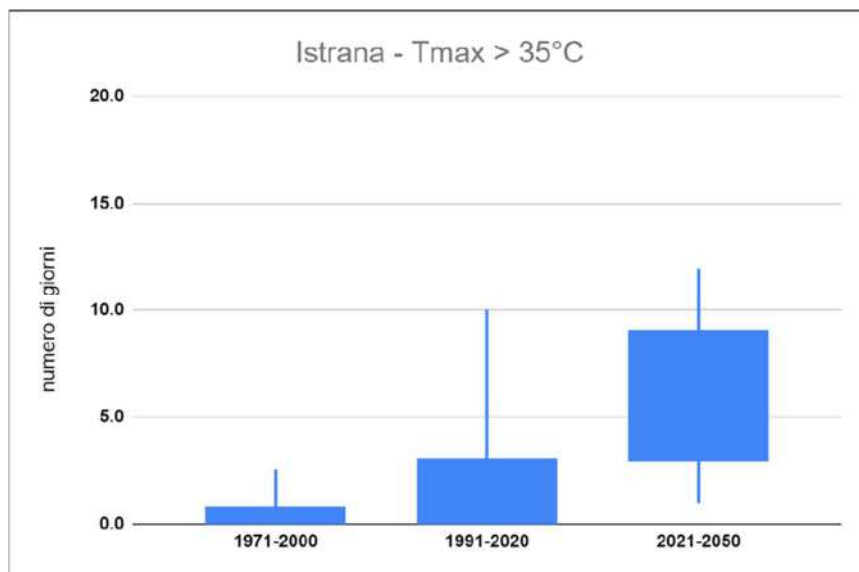


Figura 11 - Distribuzione del numero di giorni con $t_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ a Istrana (TR): il corpo centrale rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

Anche le proiezioni della frequenza dei giorni con temperature maggiori di 35°C (figura 11) sono inferiori a Istrana rispetto a Monteleone, ma sempre in significativo incremento rispetto al periodo di riferimento, con una mediana futura di 6 giorni l'anno, mentre nel clima di riferimento era un evento poco probabile. Va sottolineato che nei vitigni a bacca bianca, come il glera, gli eccessi termici (così come i deficit idrici) possono avere ripercussioni negative sul profilo aromatico, perché gli stress abiotici possono ridurre l'acidità ed incidere negativamente sullo sviluppo degli aromi primari dei mosti, con successive ripercussioni sul profilo aromatico dei vini.

Nella simulazione delle richieste irrigue (figura 12) si è tenuto conto del fatto che il vitigno glera, come in generale le uve a bacca bianca, soffre le siccità prolungate, per cui si è utilizzata una soglia di tolleranza allo stress idrico più bassa rispetto al Sangiovese.

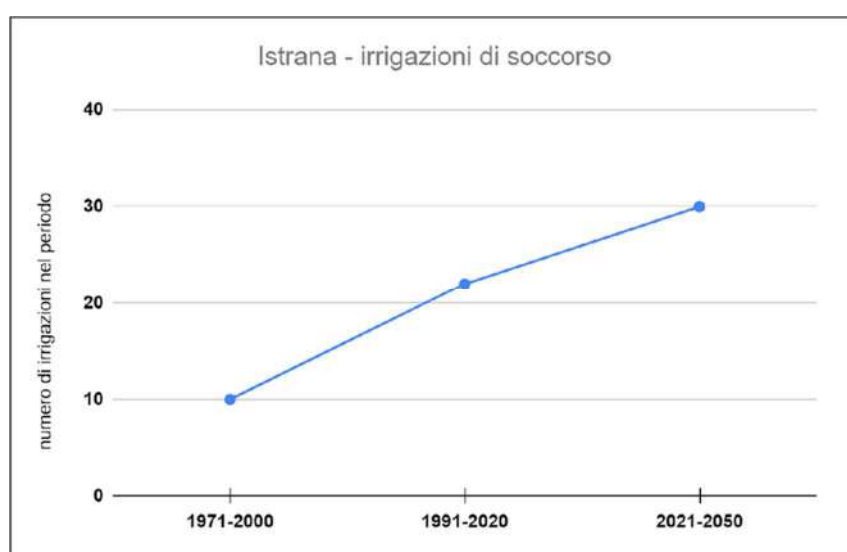


Figura 12 - Numero di irrigazioni di soccorso stimate per il Glera a Istrana (TR): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Il numero di irrigazioni di soccorso stimato nel clima di riferimento 1971-2000 risulta doppio rispetto alle richieste irrigue del sangiovese nella collina romagnola, come prevedibile visto le maggiori esigenze dei vitigni a bacca bianca e le esigenze intrinseche del vitigno. Nel trentennio recente 1991-2020 la necessità di irrigazioni di soccorso è fortemente aumentata (22 irrigazioni stimate nel periodo) con la presenza di anni in cui sono necessari due interventi di soccorso o anche tre (nel 2012) per un totale di 90 mm annui. Nelle proiezioni 2021-2050 la richiesta irrigua cresce ulteriormente, arrivando in media a una irrigazione di soccorso all'anno.

Colline del Chianti - San Miniato

Le colline del Chianti sono famose per i suoi vigneti dai quali si ottiene l'omonimo vino, prodotto a partire da uve sangiovese in una proporzione che può variare dal 70% al 100%. L'area comprende parte del territorio delle province di Siena, Arezzo, Firenze e Pisa, tra queste ultime due in particolare ricade la cella E-OBS del caso di studio, assegnata come riferimento geografico a San Miniato.

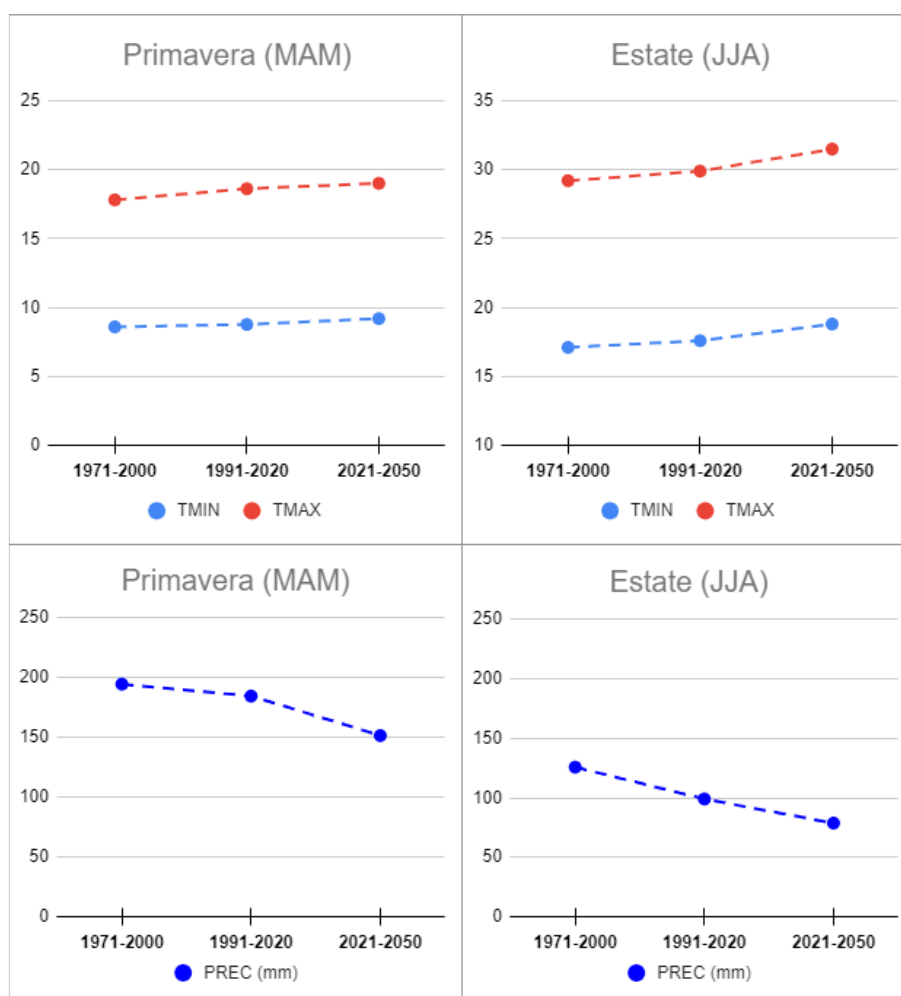


Figura 13 - Temperature (in alto) e precipitazioni (in basso) a San Miniato: clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Come illustrato dai grafici di figura 13, le proiezioni climatiche 2021-2050 per il caso di studio presentano un trend simile al caso di Monteleone, con un forte incremento delle temperature estive (le massime crescono di 2.3°C, le minime di 1.7°C) e un marcato decremento delle precipitazioni nella stessa stagione (circa -37%) rispetto al clima di riferimento 1971-2000. Anche in questo caso parte della variazione prevista si è già verificata nell'ultimo trentennio 1991-2020, ma in misura piuttosto contenuta su alcuni indicatori, in particolare per le temperature massime estive (cresciute di 0.7°C) e le precipitazioni primaverili (diminuite in modo modesto), analogamente a quanto si osserva nel caso di studio di Grosseto.

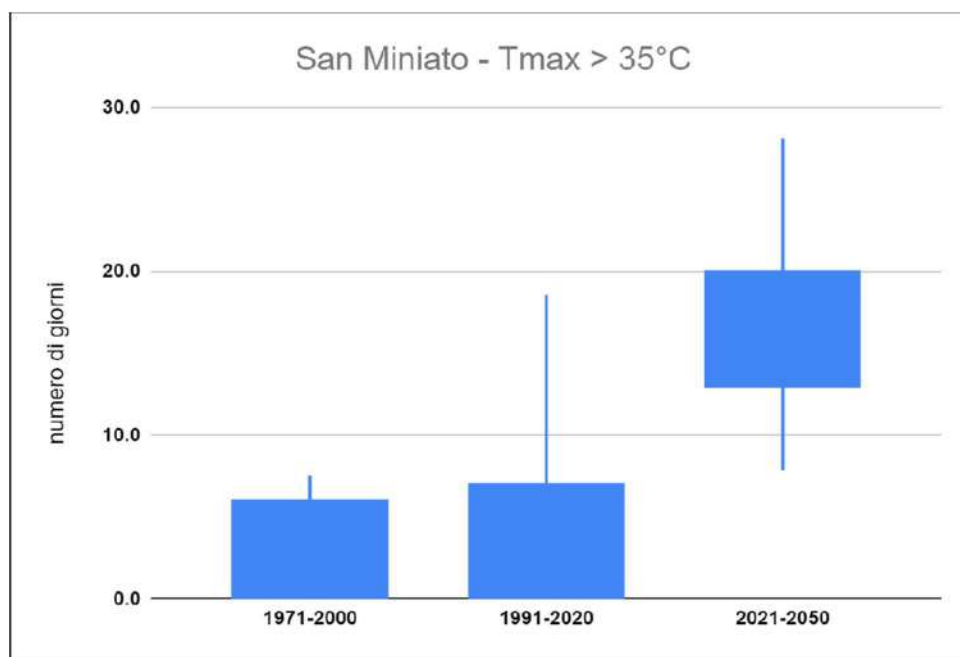


Figura 14 - distribuzione del numero di giorni con $t_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ a San Miniato: il corpo centrale rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

Per quanto riguarda le ondate di calore, riportate in figura 14, le proiezioni climatiche nelle colline del Chianti mostrano un incremento particolarmente marcato con la frequenza di giorni con temperatura massima maggiore di 35°C che si innalza fortemente portandosi su una mediana di 16 giorni l'anno. Va sottolineato che una situazione simile, con più di dieci giorni l'anno di temperature molto elevate, si è già verificata nelle annate più calde degli ultimi 20 anni, a partire dal 2003. A riprova che un caldo intenso non è necessariamente sfavorevole per i vitigni a bacca nera alcune di queste annate hanno registrato una produzione di ottima qualità per il Chianti. Ma la concomitanza di temperature elevate e prolungata siccità può portare a perdite di produzione, come nel 2017 che ha registrato una riduzione di circa il 27% rispetto all'anno precedente.

Nella simulazione delle richieste irrigue per le colline del Chianti è stata utilizzata la stessa soglia di tolleranza allo stress idrico del caso della collina romagnola, dove è prevalente lo stesso vitigno (sangiovese). Le irrigazioni di soccorso stimate dal modello CRITERIA-1D a San Miniato e illustrate in figura 15 rispecchiano quanto osservato nel caso del sangiovese a Monteleone, ma con un segnale ulteriormente incrementato nelle proiezioni climatiche.

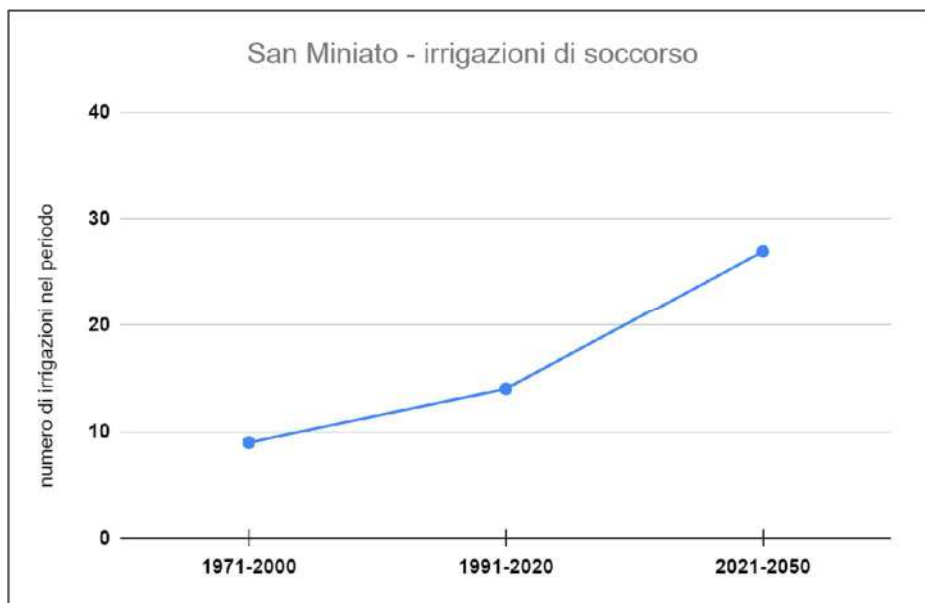


Figura 15 - Numero di irrigazioni di soccorso stimate per il Sangiovese a San Miniato: clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Il modello stima che le irrigazioni richieste si siano intensificate nel trentennio 1991-2020 rispetto al clima di riferimento 1971-2000 (passando da 9 a 14 per trentennio) e in particolare che il 2012 sia il primo anno della serie osservata con la necessità di due irrigazioni di soccorso nel corso della stessa annata, caratterizzata da una totale mancanza di precipitazioni nel trimestre estivo (figura 16). Il numero di irrigazioni stimate raddoppia nelle proiezioni climatiche per il periodo 2021-2050, arrivando alla media di quasi una irrigazione di soccorso all'anno, con un maggiore frequenza di annate in cui sono necessarie due interventi e rendendo fondamentale la presenza di un impianto irriguo.

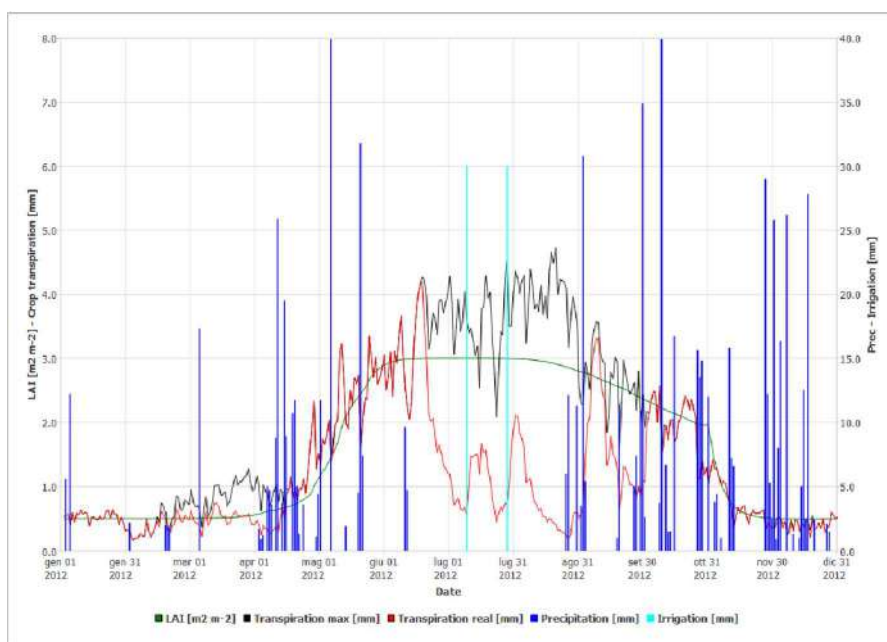


Figura 16 - Bilancio idrico della vite a San Miniato per il 2012: indice di area fogliare (LAI, linea verde) traspirazione potenziale (linea nera), traspirazione reale (linea rossa), precipitazioni osservate (barre blu) e irrigazioni di soccorso stimate (barre azzurre).

Colli Albani - Falcognana

La vitivinicoltura sui Colli Albani ha origine in epoca romana, quando la sua diffusione era talmente vasta da costringere Domiziano a limitare l'introduzione di nuovi impianti, per evitare che fosse troppo sacrificata la produzione del grano. La zona dei Castelli Romani è famosa per i suoi vini bianchi, i cui vitigni di origine sono la malvasia, il trebbiano e il greco. La Malvasia è il vitigno prevalente nella produzione del Marino DOC, prodotto nella zona del caso di studio di Falcognana.

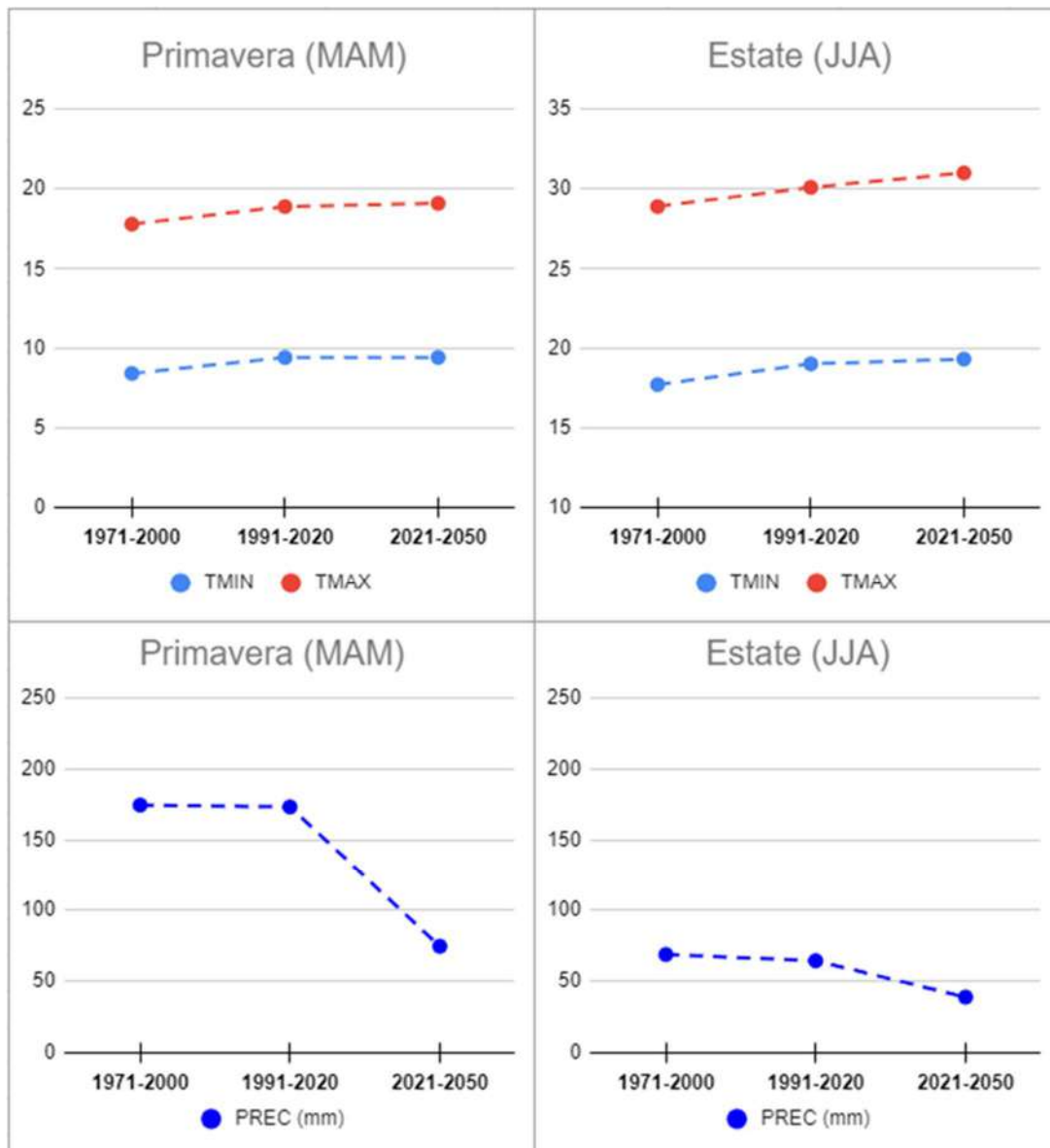


Figura 17 - Temperature (in alto) e precipitazioni (in basso) a Falcognana (Roma): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Le proiezioni climatiche 2021-2050 per il caso di studio dei Colli Albani (figura 17) mostrano una marcata riduzione delle precipitazioni primaverili (circa -57%), che però non trova riscontro nei dati osservati nell'ultimo trentennio, in cui si evidenzia una sostanziale stabilità rispetto al clima di riferimento 1971-2000. Le precipitazioni estive, già scarse, sono previste in ulteriore diminuzione.

Le temperature sono previste in rialzo, meno marcato rispetto ad altri casi di studio, ma va evidenziato che la variazione prevista si è già in buona parte realizzata nell'ultimo trentennio, in particolare per quanto riguarda la media delle temperature minime e massime in primavera.

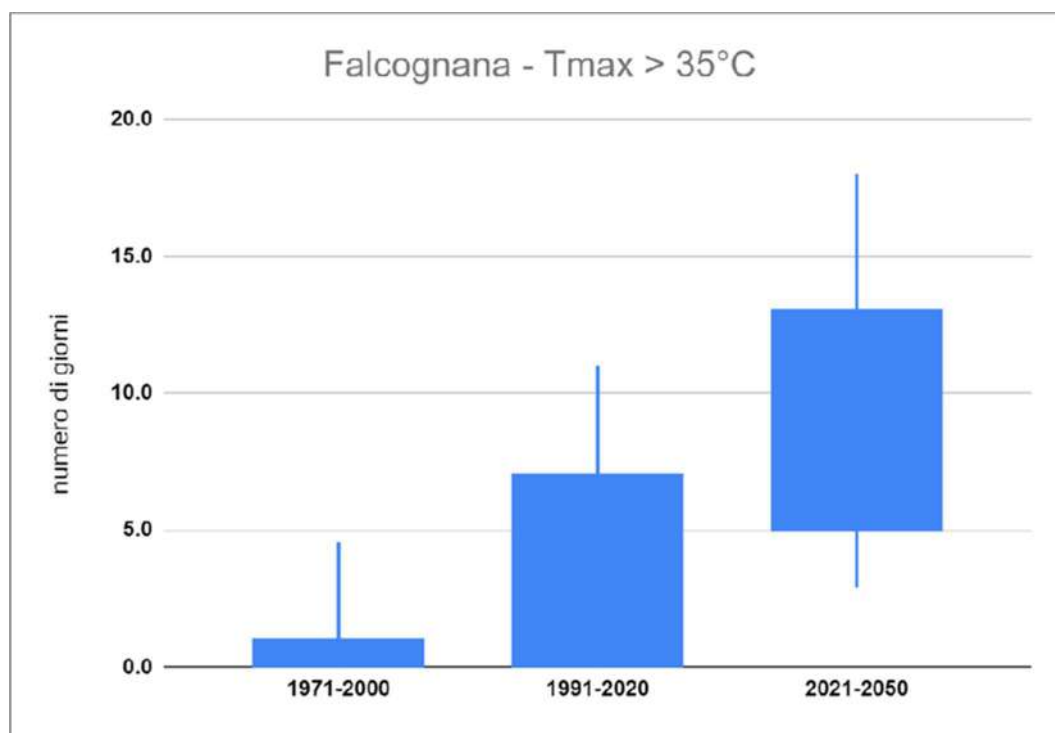


Figura 18 - Distribuzione del numero di giorni con $t_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ a Falcognana (Roma): il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

Per quanto riguarda le ondate di calore (figura 18) la proiezione è meno marcata rispetto a San Miniato e complessivamente simile al caso di Monteleone: i giorni con temperatura massima superiore a 35°C , che erano molto rari nel clima 1971-2000, sono divenuti più usuali nel trentennio 1991-2020 e diverranno probabilmente più frequenti (mediana di 8 giorni all'anno) nel periodo 2021-2050. Rispetto al caso di Monteleone la prevalenza nell'area di vitigni a bacca bianca aumenta il rischio di impatti sulla produzione, in quanto su questi vitigni gli eccessi termici possono avere ripercussioni negative sul profilo aromatico.

Nella simulazione delle richieste irrigue (figura 19) si è utilizzata la stessa soglia di tolleranza allo stress idrico del Glera nella provincia di Treviso, soglia più adatta ai vitigni a bacca bianca. Le richieste irrigue stimate dal modello risultano nettamente superiori agli altri casi di studio, a causa delle estati prevalentemente siccitose nell'area, con 25 irrigazioni di soccorso stimate nel clima di riferimento 1971-2000 e la presenza di anni in cui erano già necessari due o tre interventi consecutivi.

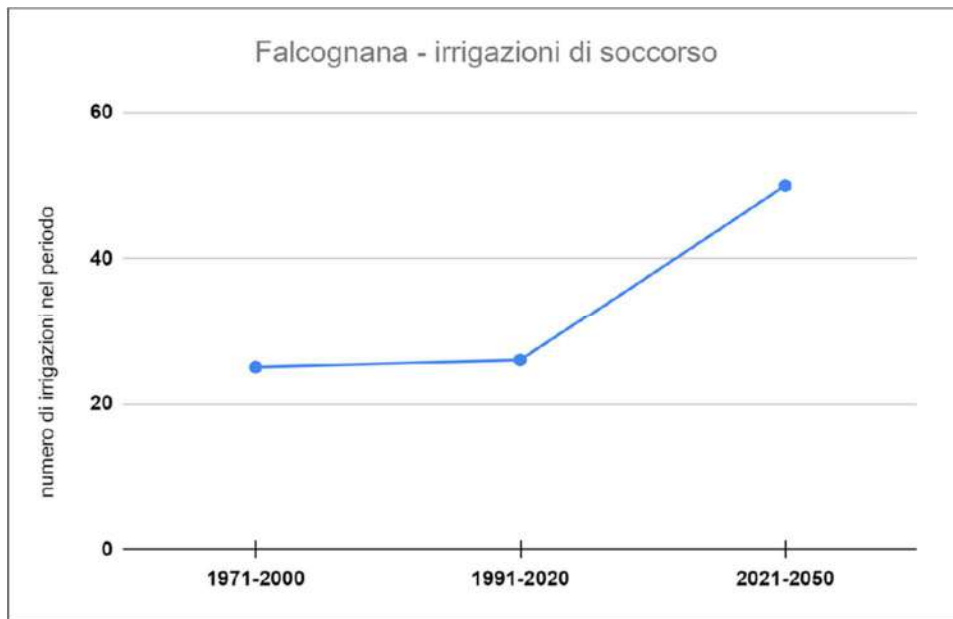


Figura 19 - Numero di irrigazioni di soccorso stimate per vitigni a bacca bianca a Falcognana (Roma): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

La stima del numero di interventi di soccorso resta sostanzialmente stabile nel trentennio 1991-2020, mentre arriva a raddoppiare (50 interventi irrigui nel periodo) nelle proiezioni 2021-2050. Su questa stima influisce pesantemente il crollo delle precipitazioni primaverili nelle proiezioni climatiche (-57%), dato che però, come già osservato, non ha avuto sino ad ora riscontro nelle analisi E-OBS dell'ultimo trentennio 1991-2020.

Considerazioni finali sulla filiera

Il concomitante incremento delle temperature e dei periodi siccitosi potrebbero produrre effetti negativi sulla filiera vitivinicola: incremento della necessità di irrigazioni di soccorso (per tutti i vitigni) e possibili ripercussioni negative sul profilo aromatico (per i vitigni a bacca bianca).

Vanno inoltre considerate altre possibili conseguenze dell'aumento delle temperature, legate al ciclo fenologico: l'anticipo del germogliamento, con incremento del rischio di danni in caso di gelate primaverili; l'anticipo della maturazione tecnologica (zuccheri e acidità) che rischia di non essere in sincronia con lo sviluppo dei composti fenolici (che non presentano lo stesso anticipo) e l'anticipo della vendemmia, che può risultare problematica per la gestione delle operazioni di cantina, per via delle temperature elevate.

Mentre per l'uva a bacca nera il rischio maggiore è legato alla necessità di maggiori interventi irrigui per evitare l'avvizzimento delle bacche, per le uve bianche il rischio climatico comprende, oltre alla necessità di ulteriori interventi irrigui, anche quello della perdita di vocazionalità territoriale

determinata dal peggioramento delle caratteristiche organolettiche tipiche dei vini prodotti da queste varietà dovuto agli effetti delle ondate di calore.

Al tempo stesso le variazioni previste nelle proiezioni climatiche 2021-2050 potrebbero portare alcuni vantaggi alla filiera: la riduzione delle precipitazioni può ridurre il rischio di malattie fungine e quindi la necessità di trattamenti, mentre le temperature elevate possono avere un impatto positivo sulla qualità dei vitigni a bacca nera nelle aree più settentrionali.

Filiera del Parmigiano Reggiano

Per la filiera del Parmigiano Reggiano è stata selezionata come caso di studio la zona della prima collina fra Reggio Emilia e Parma, i cui dati geografici e la mappa sono riportati rispettivamente in tabella 4 e figura 20 (riferimento geografico: Bibbiano), dove storicamente si ritiene che sia nato il prodotto.

Riferimento geografico	ID cella E-OBS	Nr. stazioni (Temp)	Nr. stazioni (Prec)	Lat.	Long.	Coltura	Altitudine	Regione
Bibbiano	4337	3 limitrofe	2 (3 limitrofe)	44.65	10.45	erba medica	160 m	Emilia-Romagna

Tabella 4 - Caso di studio per la filiera del Parmigiano Reggiano

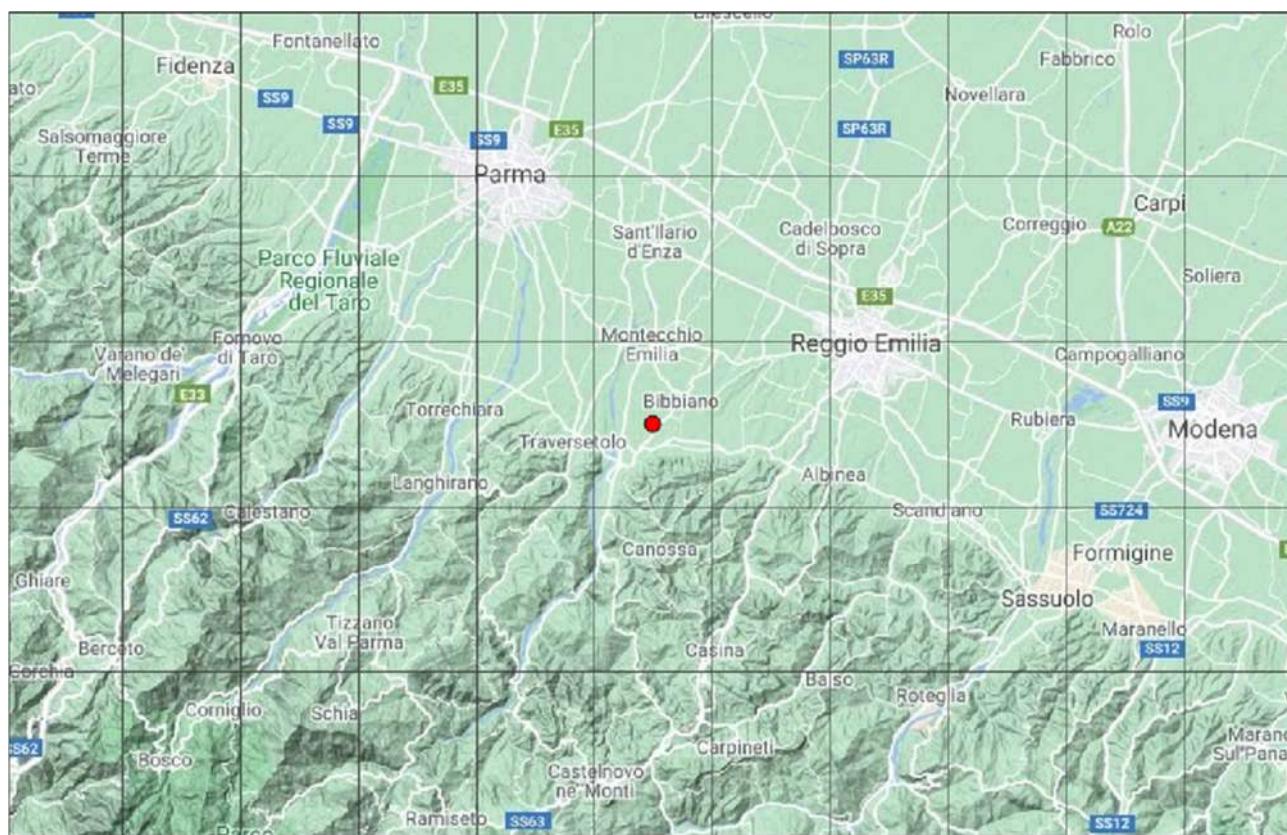


Figura 20 - Localizzazione del caso di studio per la filiera del Parmigiano Reggiano sulla griglia E-OBS

Le colture utilizzate nelle simulazioni sono l'erba medica e i prati stabili, colture pluriennali che sono tra i componenti principali nella produzione del foraggio per le vacche da latte. L'erba medica può produrre 5 sfalci all'anno e presenta radici molto profonde che possono arrivare sino a 2 metri, che gli permettono di affrontare i periodi siccitosi assimilando nutrienti e risorse idriche in profondità.

I prati stabili irrigui producono 4-5 sfalci l'anno e presentano radici generalmente meno profonde dell'erba medica, con necessità quindi di maggiori risorse irrigue. Le irrigazioni per i prati stabili sono impostate nel modello con il metodo irriguo tradizionale per questa coltura, cioè interventi di

sommersione (60 mm) con turno irriguo di almeno 15 giorni. L'erba medica, che ha esigenze irrigue minori, è impostata su interventi per aspersione, tipicamente effettuate con rotolone, di 40 mm con turno irriguo di due settimane. In entrambi i casi gli interventi irrigui non vengono simulati all'avvicinarsi dello sfalcio, per effettuarlo su erba asciutta.

Per caratterizzare le proprietà pedologiche si è utilizzata la consociazione dei suoli Ghiardo (GHI1) della carta dei suoli dell'Emilia-Romagna. Si tratta di suoli profondi, franco limosi, con una discreta capacità drenante.

Per quanto riguarda le proiezioni di cambiamento climatico vengono analizzate le tre stagioni della fase di sviluppo dell'erba medica: primavera (MAM: March, April, May), estate (JJA: June, July, August) e autunno (SON: September, October, November).

Per generare le serie sintetiche con il weather generator sono state utilizzate le proiezioni su tutte le quattro stagioni ed in particolare è stato utilizzato l'ensemble mean dei modelli climatici, come descritto nella sezione sulle proiezioni climatiche a scala locale.

Province di Reggio Emilia e Parma – Bibbiano

Nel periodo 2021-2050 le proiezioni climatiche nell'area di studio indicano un aumento delle temperature (figura 21) rispetto al periodo di riferimento 1971-2000 in tutte le stagioni, con l'incremento più rilevante in estate: 1.7°C per le temperature minime e 2.4°C per le massime. Una quota importante della variazione prevista si è già realizzata nell'ultimo trentennio (1991-2020) e va rilevato che in primavera e in autunno le temperature massime sono già cresciute più di quanto indicato nelle proiezioni 2021-2050, facendo intuire una probabile sottostima sull'incremento di questa grandezza.

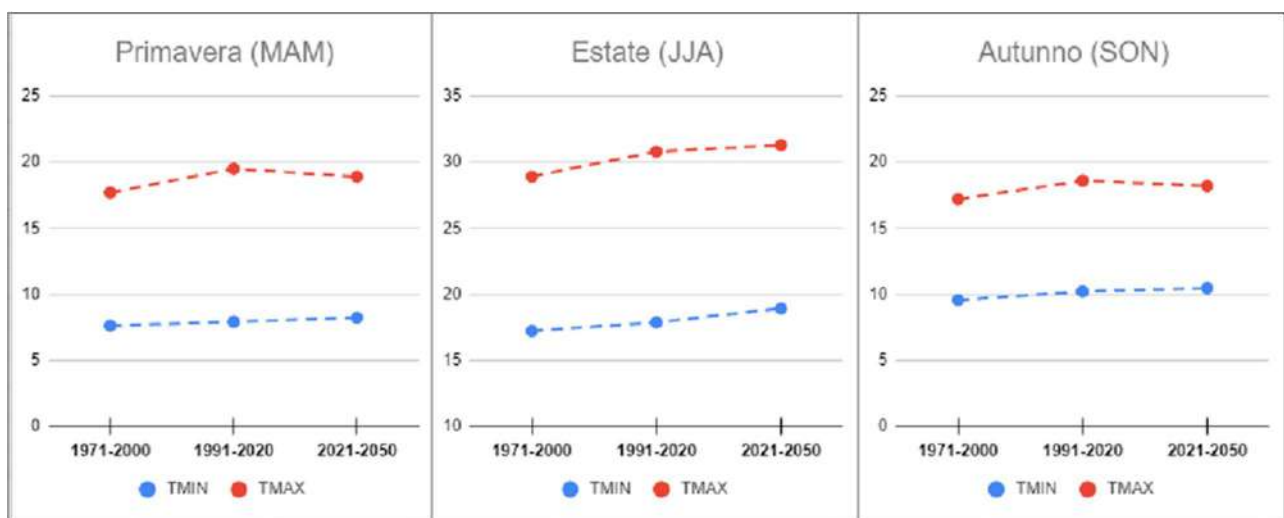


Figura 21 - Temperature (°C) minime e massime a Bibbiano (RE): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

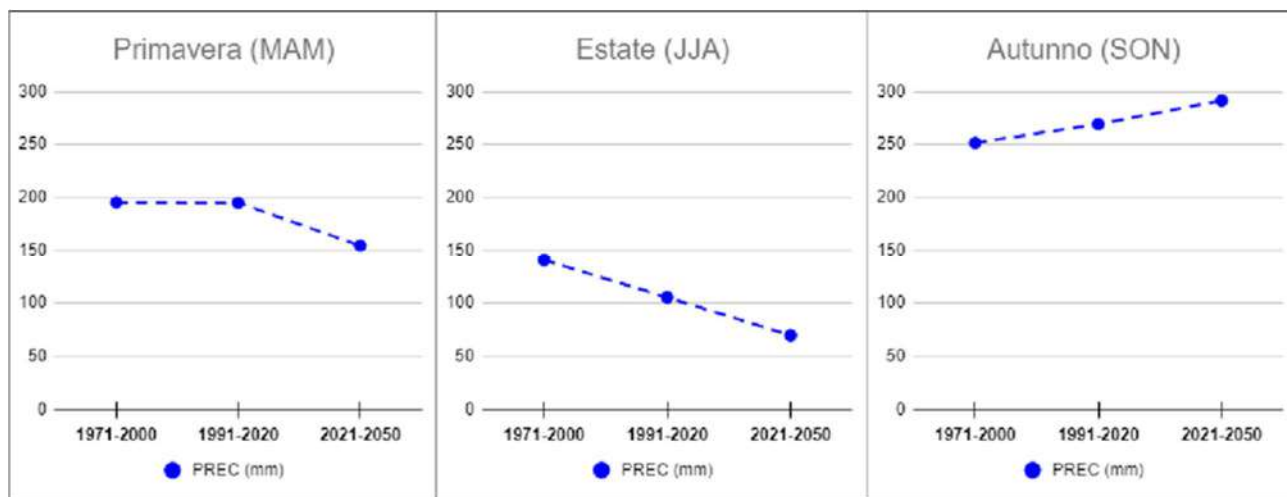


Figura 22 - Precipitazioni (mm) a Bibbiano (RE): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Le proiezioni climatiche nell'area indicano precipitazioni in probabile diminuzione in primavera e in estate (figura 22), con il decremento più marcato in estate (circa -50%), mentre in autunno indicano un probabile incremento delle precipitazioni (circa 16%). Il trend in estate e in autunno è confermato dai dati osservati nell'ultimo trentennio, mentre in primavera non si è registrata una variazione significativa tra il trentennio recente 1991-2020 e il periodo di riferimento 1971-2000.

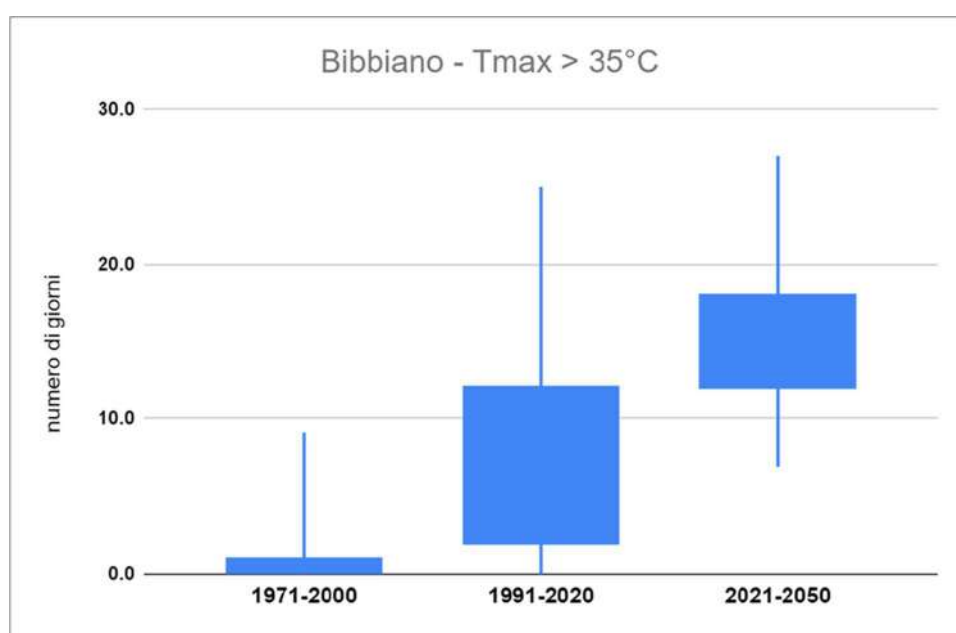


Figura 23 - Distribuzione del numero di giorni con $t_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ a Bibbiano (RE): il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

La proiezione delle ondate di calore nel caso di studio di Bibbiano (figura 23) risulta simile al caso di San Miniato, localizzato sul lato opposto dell'Appennino tosco-emiliano. I giorni con temperature massime maggiori di 35°C erano eventi rari nel clima di riferimento 1971-2000 ma sono diventati

piuttosto frequenti nel trentennio recente (mediana di 7 giorni all'anno) e negli ultimi anni in particolare si è assistito a vari casi di anni con più di 10 o anche 20 giorni con temperature sopra la soglia. Questa tipologia di estati diviene la norma nelle proiezioni climatiche 2021-2050, con una mediana di 15 giorni l'anno sopra soglia.

Periodi prolungati di temperature molto elevate possono produrre gravi danni alla produzione dei prati stabili, come si è registrato nel 2003, che è comunque tuttora un outlier notevolmente fuori scala rispetto alla distribuzione delle ondate di calore, avendo registrato ben 42 giorni con temperature massime sopra i 35°C nell'area di studio.

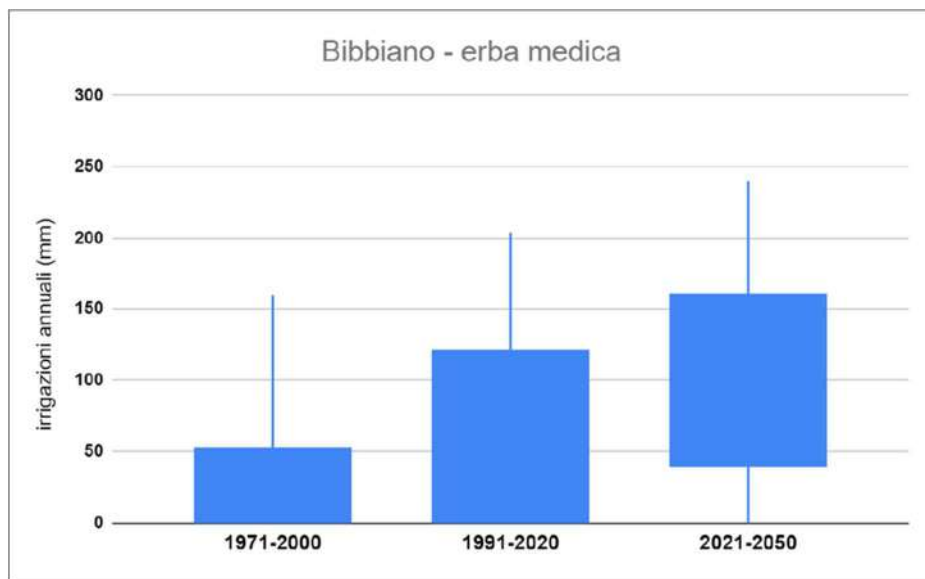


Figura 24 - Distribuzione delle irrigazioni annuali (mm) per l'erba medica a Bibbiano (RE): il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

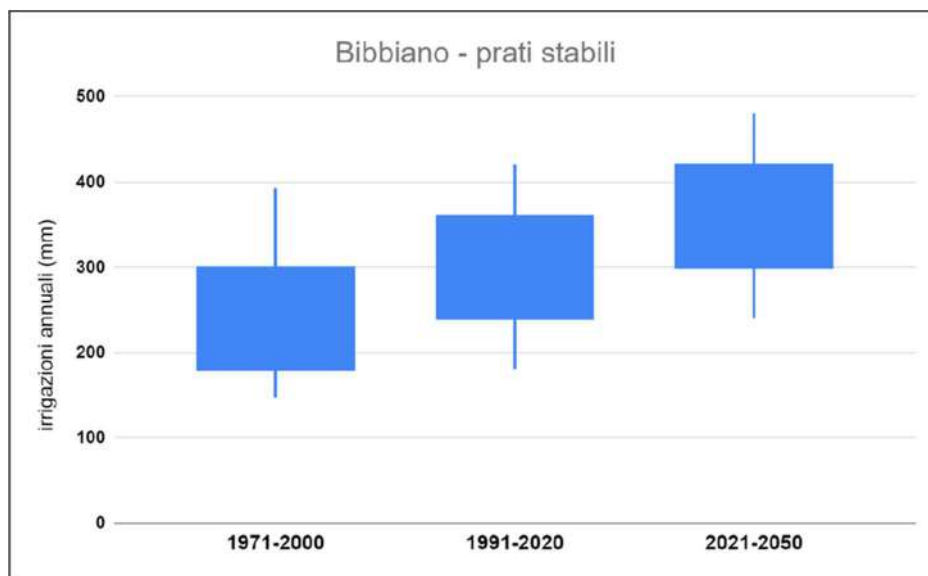


Figura 25 - Distribuzione delle irrigazioni annuali (mm) per i prati stabili a Bibbiano (RE): il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

Le simulazioni modellistiche svolte utilizzando le analisi E-OBS 1971-2020 e le proiezioni climatiche 2021-2050 indicano un generalizzato incremento delle necessità irrigue, sia per l'erba medica che per i prati stabili (figure 24 e 25), come conseguenza del concomitante incremento delle temperature e diminuzione delle precipitazioni in primavera ed estate. Questo trend è già evidente nei dati delle ultime stagioni rispetto al clima di riferimento 1971-2000.

L'incremento percentuale è più marcato sull'erba medica, dove si passa da una mediana di 60 mm nel periodo 1991-2020 (1-2 interventi all'anno) a 100 mm nelle proiezioni 2021-2050 (2-3 interventi all'anno). Ma in termini assoluti è maggiore sui prati stabili, dove nelle proiezioni 2021-2050 si arriva a dati medi di 360 mm annui e massimi intorno a 480 mm, quantità difficilmente sostenibili di risorse idriche che sarebbero richieste per questa coltura.

Considerazioni finali sulla filiera

Le colture attualmente utilizzate per l'alimentazione animale della filiera del Parmigiano Reggiano hanno un ciclo di crescita primaverile-estivo, stagioni nelle quali le proiezioni climatiche stimano la variazione più intensa sia per gli aumenti di temperatura che per le diminuzioni delle precipitazioni, fenomeni che già si osservano nei dati osservati e che concorrono entrambi all'aumento dell'evapotraspirazione e di conseguenza delle esigenze irrigue.

Per tali colture sembrano quindi inevitabili notevoli aumenti degli apporti idrici e necessari miglioramenti nell'efficienza dei metodi irrigui. Una azione di adattamento più complessa, in riferimento alla gestione della filiera, potrebbe essere quella della ricerca di colture foraggere di sostituzione con sviluppo autunno-vernino, periodo caratterizzato da un andamento meteo-climatico favorevole allo sviluppo delle colture senza necessità di restituzioni irrigue.

Va considerato inoltre che gli anni a maggiore richiesta irrigua sono generalmente gli stessi in cui c'è minore disponibilità di risorse idriche e quindi maggiore competizione di risorse, come si è già verificato nelle stagioni irrigue 2003, 2007, 2012 e 2017. In vista dell'incremento della frequenza di questa tipologia di stagioni siccitose è necessario valutare come rendere più sostenibile l'irrigazione dei prati stabili, in primo luogo abbandonando il metodo irriguo tradizionale (la sommersione per scorrimento) in favore di una irrigazione più efficiente e sostenibile come l'aspersione.

Filiera ortofrutticola

Per la filiera ortofrutticola sono stati presi in esame 5 casi di studio (figura 26), per due diverse colture in alcune delle loro principali aree di produzione, distribuite nelle varie regioni: il kiwi nella provincia di Ravenna (Emilia-Romagna), nella provincia di Verona (Veneto) e nella provincia di Latina (Lazio); il pomodoro nella provincia di Piacenza (Emilia-Romagna) e nella provincia di Grosseto (Toscana). La descrizione della localizzazione e dei dati utilizzati relativi al database climatologico EOBS sono riportati nelle tabelle 5 e 6.



Figura 26 - Localizzazione dei casi di studio per la filiera ortofrutticola sulla griglia E-OBS: in giallo i casi di studio del kiwi, in rosso del pomodoro.

Riferimento geografico	ID cella E-OBS	nr. stazioni (Temp)	nr. stazioni (Prec)	Lat.	Long.	Coltura	Altitudine	Regione
Brisighella	4752	3	5	44.25	11.75	kiwi	149 m	Emilia-Romagna
Verona Villafranca	3554	1	1	45.35	10.85	kiwi	50 m	Veneto
Cisterna di Latina	6295	1 limitrofa	1 (2 limitrofe)	41.55	12.85	kiwi	42 m	Lazio

Tabella 5 - Casi di studio del kiwi per la filiera ortofrutticola

Riferimento geografico	ID cella E-OBS	nr. stazioni (Temp)	nr. stazioni (Prec)	Lat.	Long.	Coltura	Altitudine	Regione
Podenzano	4001	1 (3 limitrofe)	4 limitrofe	44.95	9.65	pomodoro	117 m	Emilia-Romagna
Grosseto	5781	1	1 (2 limitrofe)	42.75	11.05	pomodoro	6 m	Toscana

Tabella 6 - Casi di studio del pomodoro per la filiera ortofrutticola

Per le simulazioni relative all'actinidia si è considerata una profondità dell'apparato radicale di un metro con apporti irrigui distribuiti mediante microirrigazione per una quantità pari a 6 mm al giorno. Il pomodoro è stato simulato con una profondità radicale di 60 cm e irrigazione a goccia mediante manichetta forata di 20 mm con turno irriguo di 3 giorni. Per entrambe le colture è stata impostata una soglia molto bassa di tolleranza allo stress idrico.

La calibrazione dei consumi irrigui del kiwi nel modello CRITERIA-1D è avvenuta all'interno del progetto FP6 Ensembles (Tomei et al. 2009) ed è stata possibile grazie a un lungo periodo (14 anni) di dati di irrigazione guidata da tensiometro in un frutteto situato a Zattaglia (RA), nell'area del caso di studio di Brisighella. La calibrazione delle esigenze irrigue del pomodoro è stata invece oggetto di uno studio recente (Strati et al. 2018).

Per quanto riguarda le proiezioni di cambiamento climatico sono state analizzate le due stagioni più importanti per la filiera ortofrutticola: primavera (MAM: March, April, May) ed estate (JJA: June, July, August).

Per generare le serie sintetiche con il weather generator sono state utilizzate le proiezioni su tutte le quattro stagioni ed in particolare è stato utilizzato l'ensemble mean dei modelli climatici, come descritto nella sezione sulle proiezioni climatiche a scala locale.

Provincia di Ravenna - Brisighella

La provincia di Ravenna è un'area di vasta produzione del kiwi tra cui si segnala, in particolare, la valle del fiume Lamone nelle colline sopra Faenza, dove si colloca il caso di studio di Brisighella. Per sopperire alle forti necessità irrigue dell'actinidia gli agricoltori della valle hanno costruito un considerevole numero di laghetti artificiali per la raccolta delle acque piovane durante la stagione autunno-invernale, limitando così i prelievi dal fiume Lamone, caratterizzato nei periodi estivi da disponibilità idriche aleatorie, sia a causa del carattere torrentizio dei fiumi appenninici che a seguito dei limiti di legge volti a mantenere il deflusso minimo vitale.

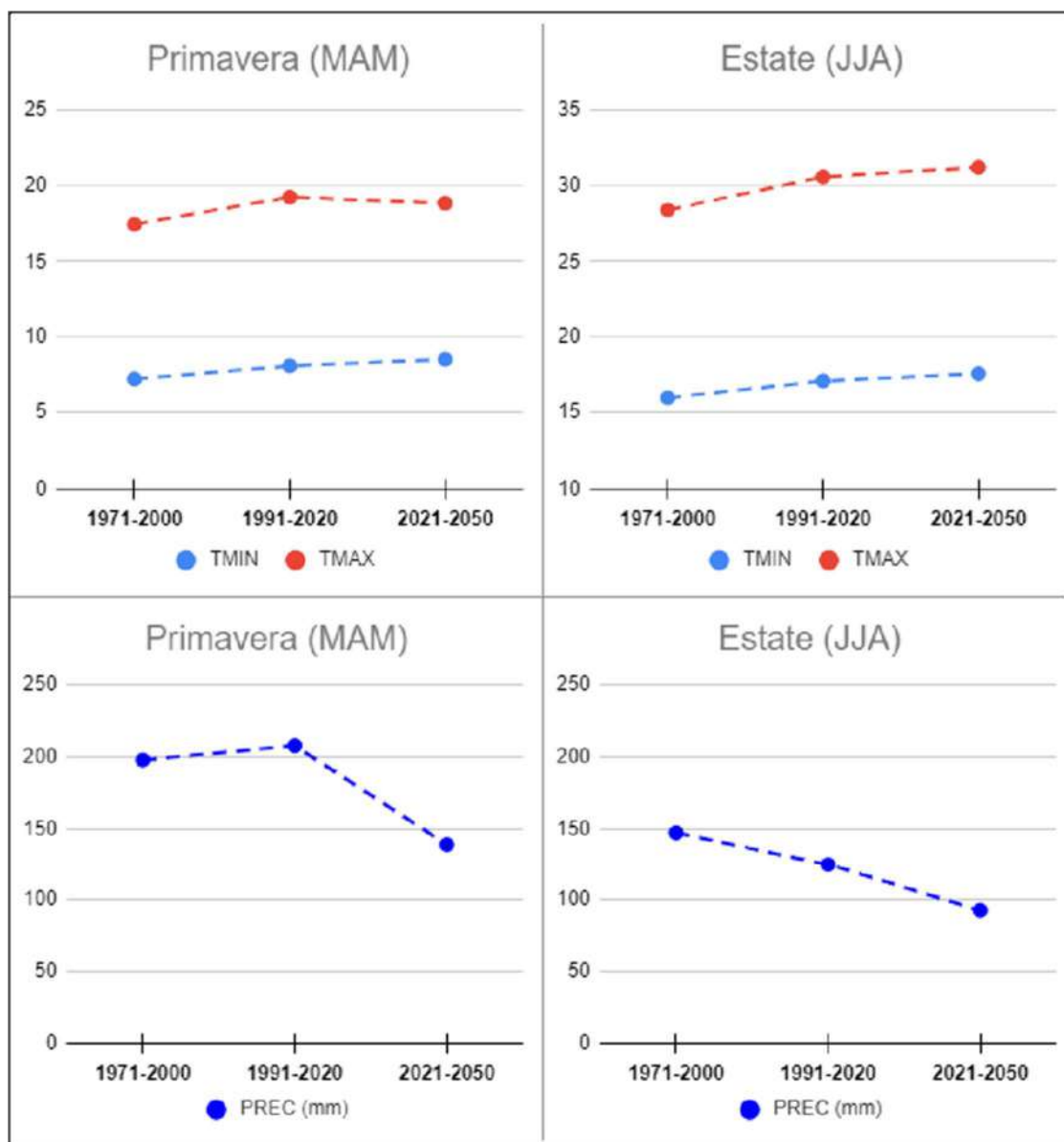


Figura 27 - Temperature (in alto) e precipitazioni (in basso) a Brisighella (RA): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Le proiezioni climatiche 2021-2050 per il caso di studio di Brisighella (figura 27) mostrano un incremento delle temperature e una marcata riduzione delle precipitazioni sia in primavera che in estate. In particolare si prevede un decremento delle precipitazioni di circa il 37% in estate e di circa il 30% in primavera rispetto al clima di riferimento 1971-2000. Per quanto riguarda l'estate il trend è confermato dai dati dell'ultimo trentennio 1991-2000, dove si è già registrato un decremento del 15% nelle precipitazioni, mentre non trova conferma in primavera in cui le precipitazioni, analogamente ad altri casi di studio, non sono diminuite.

Nelle temperature il rialzo più marcato (2.8°C) è previsto nelle temperature massime estive, confermato dai dati dell'ultimo trentennio, dove si è già registrato un incremento di 2.1°C rispetto al periodo di riferimento 1971-2000. Va segnalato che, come già evidenziato in altri casi di studio, le temperature massime in primavera nell'ultimo trentennio sono già cresciute più di quanto previsto (1.4°C) dalle proiezioni climatiche per il periodo 2021-2050.

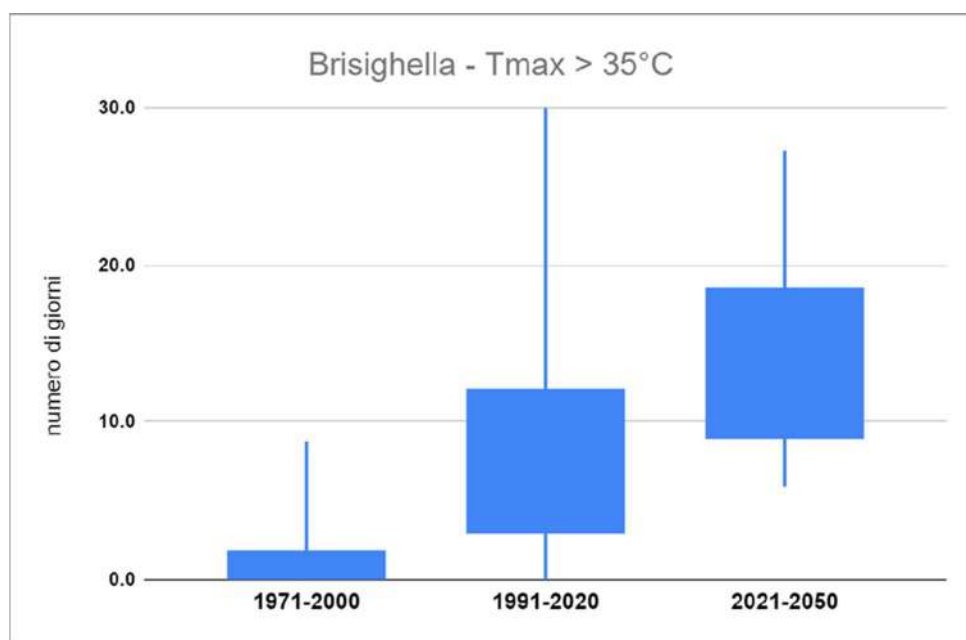


Figura 28 - Distribuzione del numero di giorni con $t_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ a Brisighella (RA): il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

La proiezione delle ondate di calore per Brisighella (figura 28) mostra una crescita marcata: i giorni con temperature maggiori di 35°C diventano molto frequenti nelle proiezioni 2021-2050 (mediana di 14 giorni all'anno) mentre erano piuttosto rari nel clima di riferimento 1971-2000. Il trend è confermato dai dati del trentennio recente, che hanno già registrato un forte incremento nella frequenza di questi eventi (mediana di 7 giorni all'anno). Va segnalato che negli ultimi anni si sono già registrati due casi (il 2003 e il 2012) in cui il numero di giorni con temperature sopra i 35°C è stato maggiore delle proiezioni future (40 giorni nel 2003, 36 giorni nel 2012).

Siccità e temperature molto elevate possono essere un fattore di rischio per l'actinidia, che nella zona di origine (la Cina meridionale, in particolare le valli del fiume YangTze) cresce spontaneamente

come rampicante di altri alberi, da cui risulta ombreggiata, negli ambienti umidi delle zone ripariali di fiumi e ruscelli. Gli eccessi termici la indeboliscono, alterando l'equilibrio tra radici e parte aerea e ripetute ondate di calore possono produrre un marcato stress idrico che le piante di actinidia non sono in grado di reggere.

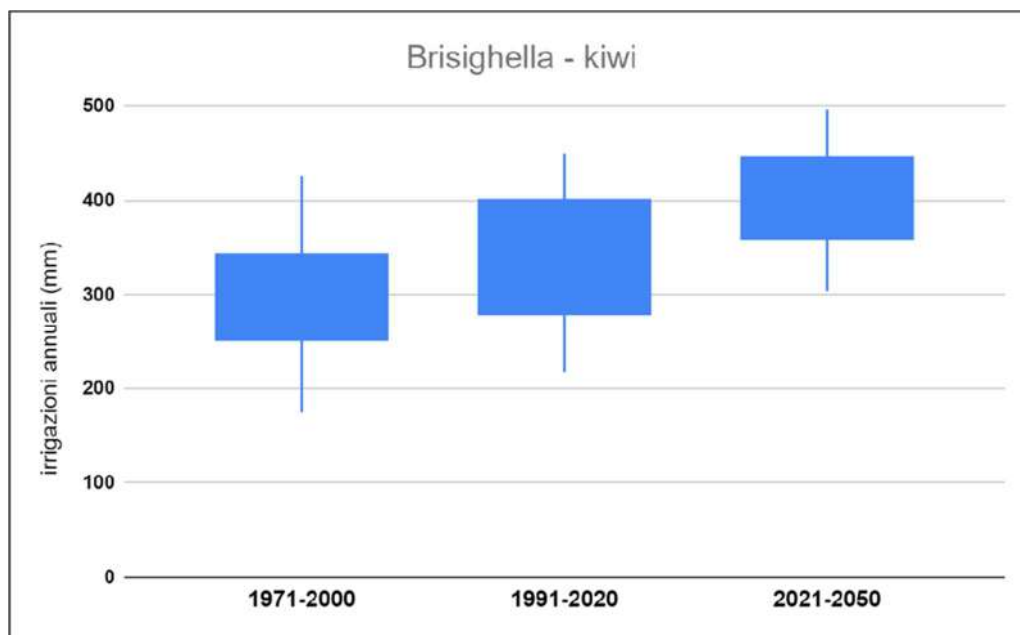


Figura 29 - Distribuzione delle irrigazioni annuali (mm) per il kiwi a Brisighella (RA): il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

Le simulazioni svolte con il modello CRITERIA1D utilizzando le analisi E-OBS 1971-2020 e le proiezioni climatiche 2021-2050 indicano un marcato incremento delle necessità irrigue del kiwi nel caso di studio di Brisighella (figura 29), già molto elevate per questa coltura. Se nel periodo di riferimento 1971-2000 si stima che fossero mediamente necessari 280 mm all'anno per l'irrigazione, nel trentennio recente 1991-2020 la mediana sale a 345 mm, con massimi intorno a 450 mm all'anno. Nelle proiezioni 2021-2050 questi valori crescono ulteriormente, con mediana a 405 mm e massimi che raggiungono i 500 mm. Contemporaneamente salgono i minimi della distribuzione, tendono quindi a scomparire gli anni con meno di 300 mm richiesti per l'irrigazione.

Provincia di Verona - Villafranca

In provincia di Verona ogni anno si producono mediamente circa mezzo milione di quintali di kiwi, un quantitativo importante se si pensa che la Nuova Zelanda, secondo produttore mondiale, è assestata sui due milioni e duecentomila quintali. La coltura dell'actinidia risulta quindi un importante fruttifero che occupa più di 20.000 ettari della regione Veneto.

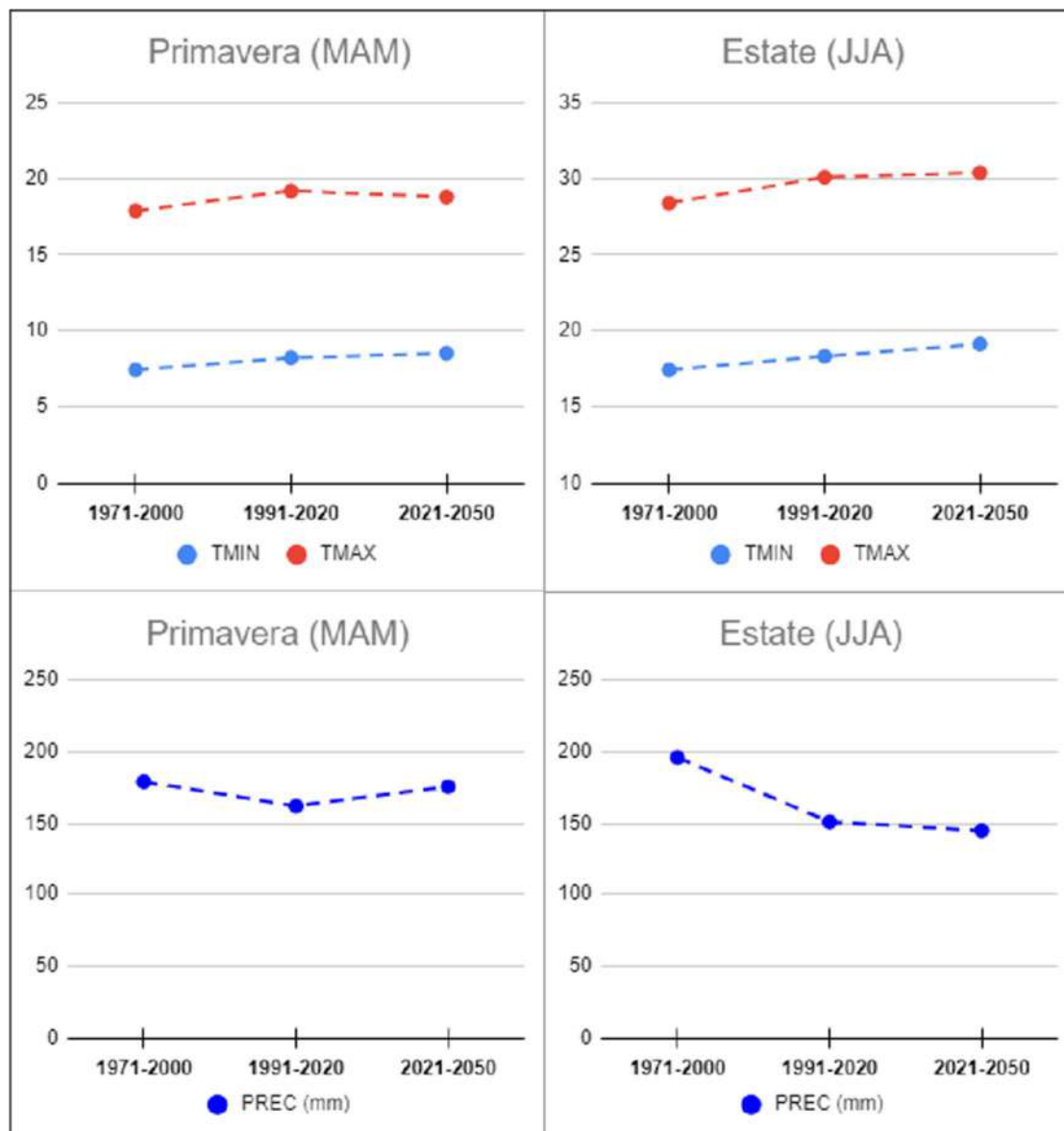


Figura 30 - Temperature (in alto) e precipitazioni (in basso) a Verona Villafranca: clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Le proiezioni climatiche per il periodo 2021-2050 nel caso di studio di Verona Villafranca (figura 30) presentano trend simili al caso della provincia di Treviso, nella stessa regione: aumento delle temperature rispetto al clima di riferimento 1971-2000, in particolare quelle estive (1.7°C per le minime, 2°C per le massime), diminuzione delle precipitazioni di circa il 26% in estate e sostanziale stabilità (a differenza del caso Istrana) delle precipitazioni in primavera. Gran parte di queste variazioni si è già verificata nell'ultimo trentennio 1991-2020, in particolare per quanto riguarda le temperature massime, sia in primavera che in estate, così come per le precipitazioni estive.

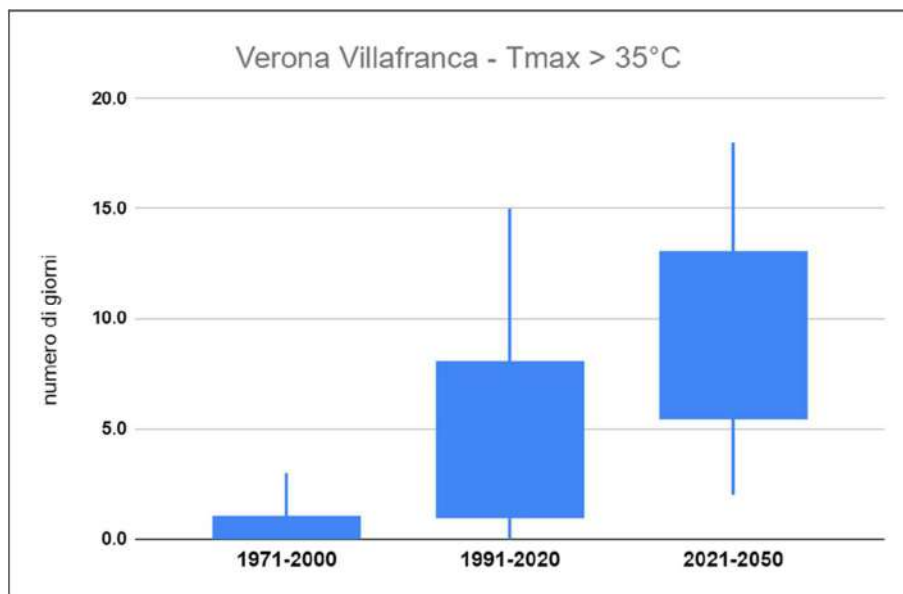


Figura 31 - Distribuzione del numero di giorni con $t_{max} > 35^{\circ}C$ a Verona Villafranca: il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

Per quanto riguarda le ondate di calore, riportate in figura 31, la proiezione è più marcata rispetto alla provincia di Treviso e complessivamente simile ad altri casi di studio già analizzati: i giorni con temperatura massima superiore a $35^{\circ}C$, che erano eventi rari nel clima 1971-2000, sono divenuti più usuali nel trentennio 1991-2020 (mediana di 4 giorni all'anno) e diverranno ancora più frequenti (mediana di 9 giorni all'anno) nel periodo 2021-2050. Temperature molto elevate possono essere un fattore di rischio per l'actinidia, come analizzato nel caso di studio del kiwi a Brisighella, anche se complessivamente le proiezioni sulle ondate di calore in questa area sono meno severe rispetto al caso della provincia di Ravenna.

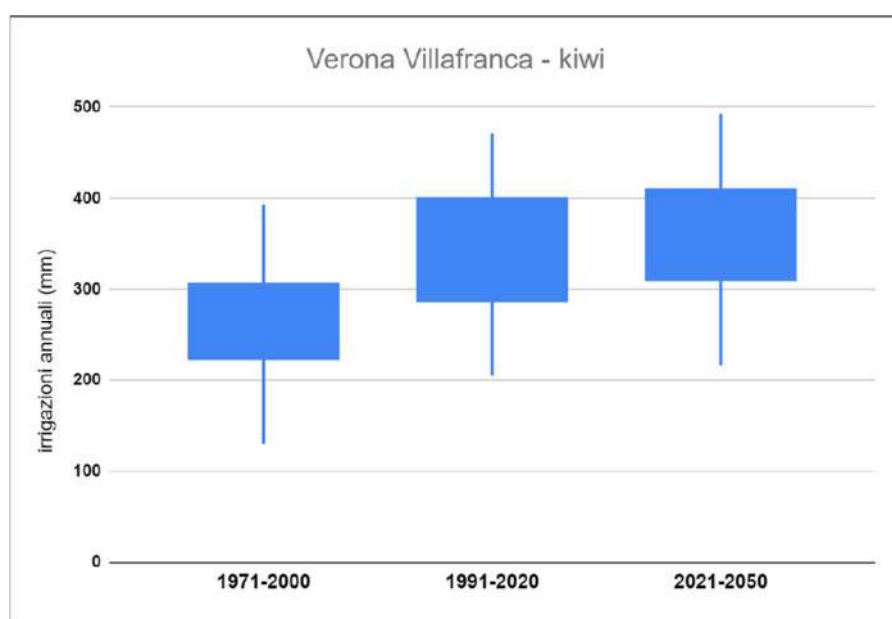


Figura 32 - Distribuzione delle irrigazioni annuali (mm) per il kiwi a Verona Villafranca: il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

La stima delle esigenze irrigue dell'actinidia nella provincia di Verona (figura 32) è stata ottenuta utilizzando il modello CRITERIA-1D alimentato con le analisi E-OBS dal 1971 al 2020 e le proiezioni climatiche 2021-2050. Le simulazioni mostrano che è già avvenuto un marcato incremento delle necessità irrigue del kiwi nel trentennio recente, passando da una mediana di 260 mm nel clima di riferimento 1971-2000 a 340 mm nel periodo 1991-2020. L'incremento è stato causato dal concomitante aumento delle temperature e diminuzione delle precipitazioni estive che si è osservato nell'area nell'ultimo trentennio. Le proiezioni climatiche mostrano un ulteriore incremento nel periodo 2021-2050, ma meno marcato rispetto a quanto si osserva nel caso di studio della provincia di Ravenna, con la mediana che sale a 360 mm, i valori massimi della distribuzione che lambiscono i 500 mm annui e una sostanziale stabilità sui valori minimi, poco sopra i 200 mm annui.

Provincia di Latina - Cisterna

I primi impianti italiani di coltivazione dell'actinidia comparvero in provincia di Latina e già nel 1978 l'Agro Pontino viene riconosciuto come principale produttore italiano, responsabile attualmente di circa 1/3 della produzione nazionale. Grazie a condizioni agroambientali favorevoli, quali il clima e i terreni sabbiosi e ricchi di magnesio e potassio, l'Agro Pontino ha visto nascere numerosi impianti di kiwi, soprattutto a Cisterna di Latina, seguita poi da altri comuni della provincia, tanto da conquistare nel 2004 il marchio IGP.

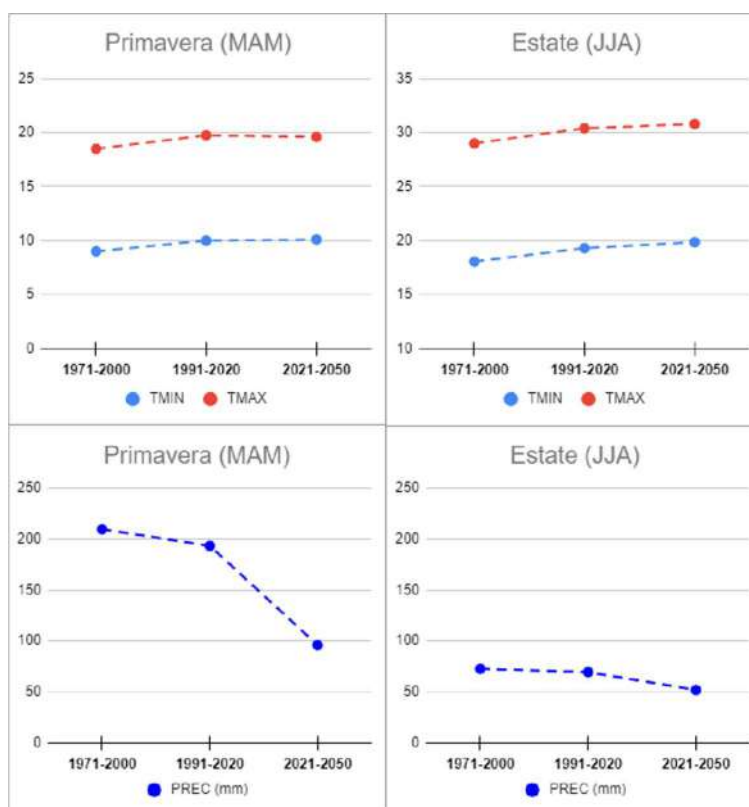


Figura 33 - Temperature (in alto) e precipitazioni (in basso) a Cisterna di Latina, clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Le proiezioni climatiche 2021-2050 per la provincia di Latina (figura 33) mostrano trend simili al caso di studio di Falcognana (Roma), localizzato nella stessa regione. Rispetto al clima di riferimento 1971-2000 si evidenzia una marcata riduzione delle precipitazioni primaverili (circa -54%) e una riduzione meno marcata (circa -28%) nelle precipitazioni estive, già piuttosto scarse.

Questo trend non sembra però avere un riscontro nei dati dell'ultimo trentennio 1991-2020, in cui le precipitazioni si sono mantenute stabili o in lieve diminuzione, in entrambe le stagioni.

Le temperature sono previste in rialzo, meno marcato rispetto ad altri casi di studio, con l'incremento maggiore in estate (1.8°C sia sulle minime che sulle massime), ma va evidenziato che la variazione prevista si è già in buona parte realizzata nell'ultimo trentennio, in particolare per quanto riguarda le temperature in primavera.

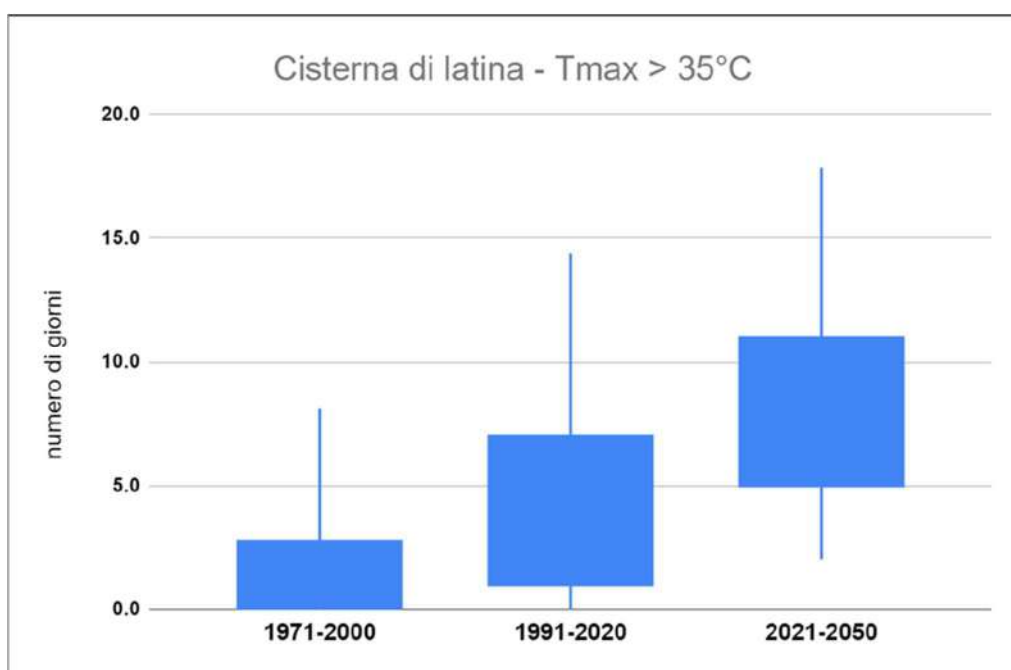


Figura 34 - Distribuzione del numero di giorni con $t_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ a Cisterna di Latina: il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

Anche per quanto riguarda le ondate di calore (figura 34) la proiezione è complessivamente simile al caso di Falcognana (Roma): i giorni con temperatura massima superiore a 35°C, che erano poco frequenti nel clima 1971-2000, sono divenuti più usuali nel trentennio 1991-2020 (mediana di 4 giorni l'anno) e diverranno probabilmente più frequenti (mediana di 8 giorni all'anno) nel periodo 2021-2050, senza raggiungere però i valori più marcati che si prevedono in altri casi di studio, in particolare quelli localizzati nella prima collina dell'Appennino Tosco-Emiliano.

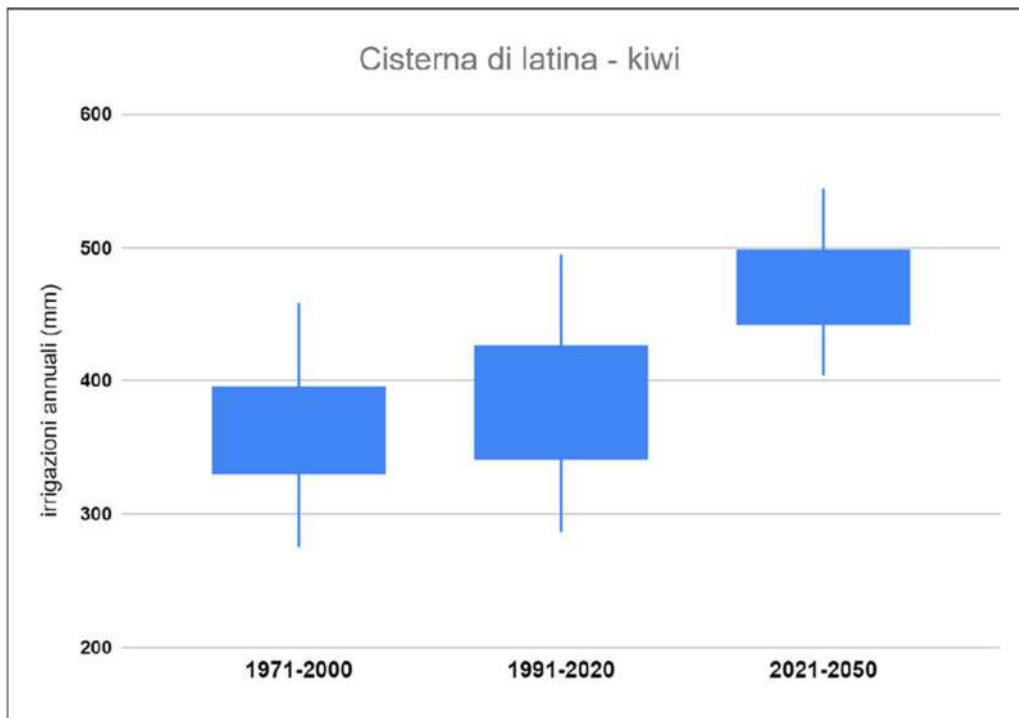


Figura 35 - Distribuzione delle irrigazioni annuali (mm) per il kiwi a Cisterna di Latina: il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

La proiezione delle richieste irrigue del kiwi a Latina per il periodo 2021-2050 (figura 35) risente fortemente della prevista diminuzione delle precipitazioni, con un aumento di circa 80 mm nella mediana delle irrigazioni annuali rispetto ai valori dell'ultimo trentennio 1991-2020 e di oltre 100mm rispetto al clima di riferimento 1971-2000. Va però sottolineato che questa marcata diminuzione delle precipitazioni, prevista in particolare per la primavera, non ha per ora significativo riscontro nei dati osservati.

Provincia di Piacenza - Podenzano

La provincia di Piacenza è la principale area di produzione del pomodoro da industria nel nord Italia, con oltre 10mila ettari coltivati, che alimentano la filiera delle maggiori industrie conserviere italiane. A Podenzano, area del caso di studio, è situato uno degli stabilimenti più importanti per la produzione di derivati del pomodoro.

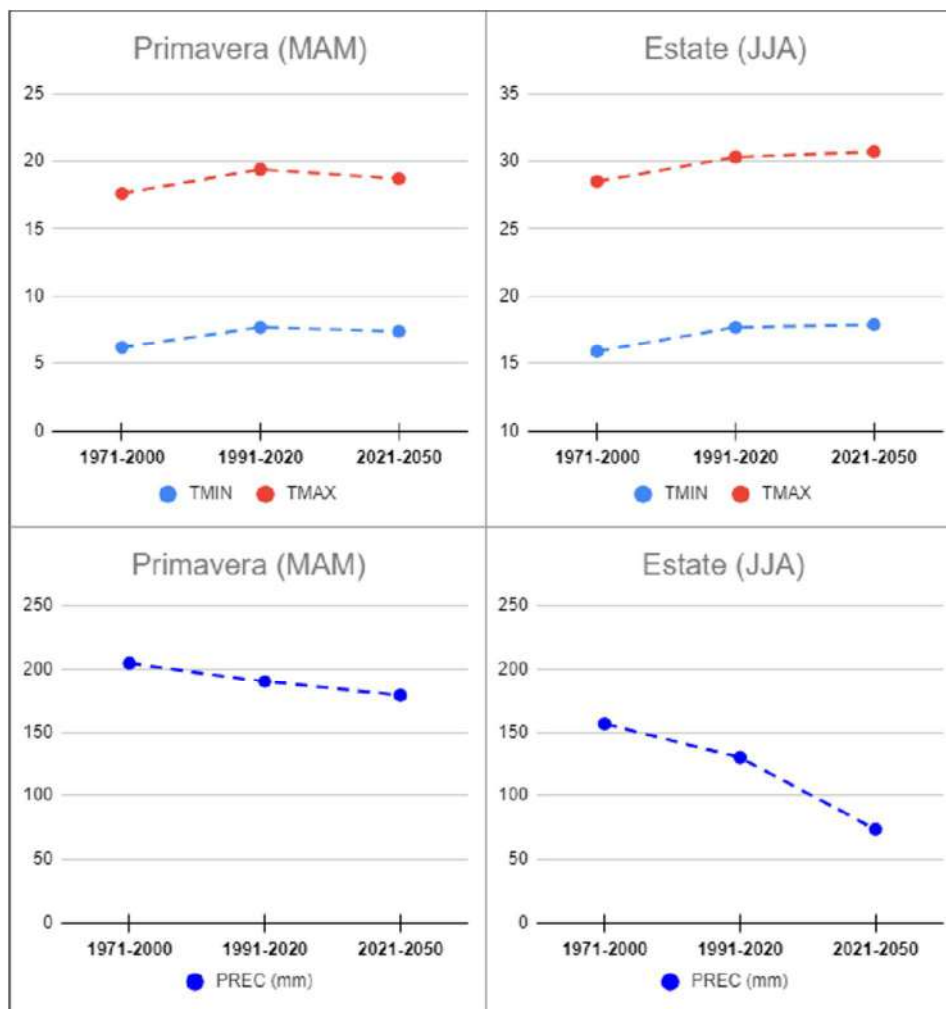


Figura 36 - Proiezioni climatiche di temperature (in alto) e precipitazioni (in basso) a Podenzano (PC): clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Le proiezioni climatiche per il caso di studio di Podenzano, mostrate in figura 36, indicano un incremento delle temperature sia in primavera che in estate, con aumento più marcato in estate (2.2°C per le temperature massime, 2°C per le minime).

Per quanto riguarda le precipitazioni, le proiezioni climatiche indicano una marcata diminuzione in estate (circa il 53%) e un decremento più modesto in primavera (circa 13%) rispetto al clima di riferimento 1971-2000. Il trend sembra in parte confermato dai dati dell'ultimo trentennio, che hanno registrato un calo delle precipitazioni del 17% in estate e del 7% in primavera. Le precipitazioni estive, già non particolarmente abbondanti, rischiano quindi di diventare molto limitate nelle proiezioni 2021-2050.

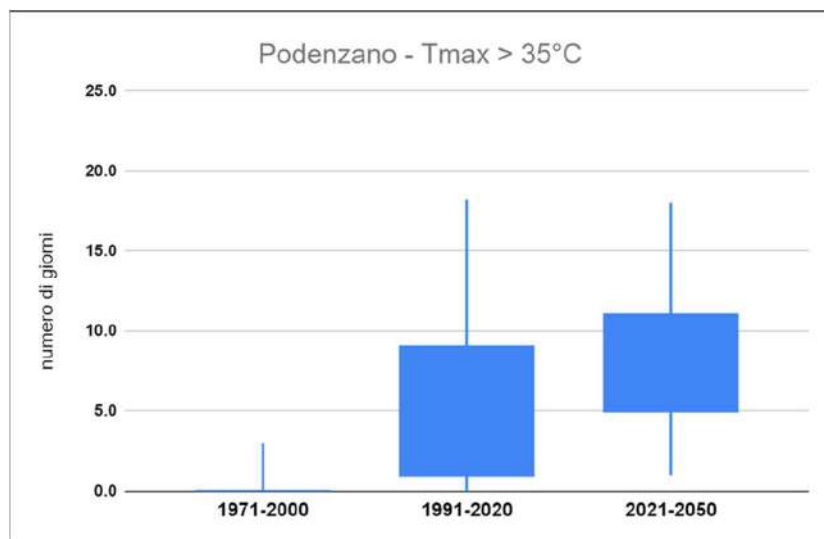


Figura 37 - Distribuzione del numero di giorni con $t_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ a Podenzano (PC): il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

Nell'area di studio i giorni con temperature maggiori di 35°C (figura 37) erano eventi molto rari nel clima 1971-2000, ma sono diventati molto più frequenti nelle estati dell'ultimo trentennio (mediana di 4 giorni all'anno), con vari casi (2003, 2015 e 2017) in cui questa condizione si è verificata più di 20 giorni l'anno. Nelle proiezioni climatiche la frequenza di questi eventi aumenta ulteriormente, con una mediana di 8 giorni l'anno.

Le ondate di calore sono un fattore di rischio per la produzione del pomodoro: temperature superiori a 35°C riducono l'allegagione e limitano la colorazione rossa, poiché oltre tale temperatura viene inibita la sintesi del licopene, il principale pigmento della bacca del pomodoro. Inoltre se la temperatura interna del frutto aumenta eccessivamente i tessuti ne vengono danneggiati e si può generare il fenomeno della scottatura, con danno evidente sulla buccia e qualità dei frutti scadente.

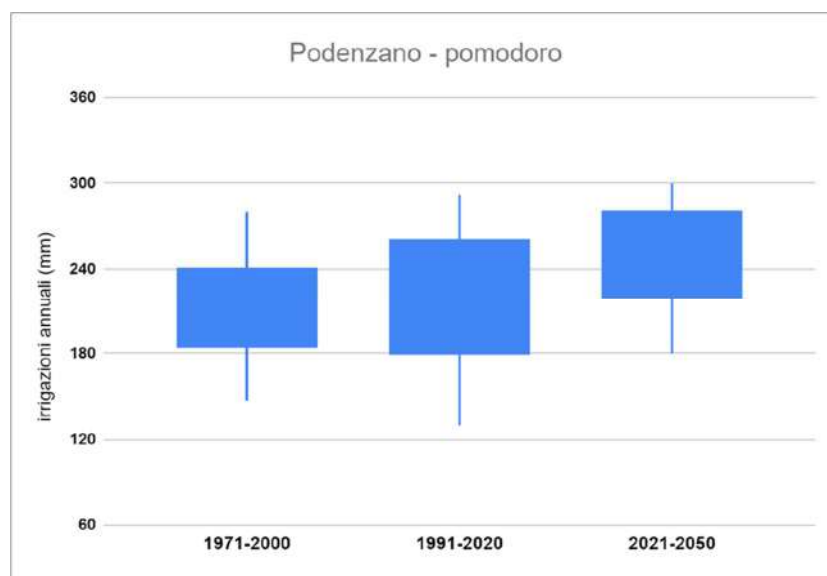


Figura 38 - Distribuzione delle irrigazioni annuali (mm) per il pomodoro a Podenzano (PC): il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

Le simulazioni effettuate col modello agro-idrologico CRITERIA-1D, utilizzando le analisi E-OBS dal 1971 al 2020 e le proiezioni climatiche 2021-2050, mostrano un incremento delle esigenze irrigue del pomodoro nella provincia di Piacenza (figura 38), meno marcato rispetto a quello di altre colture analizzate in questo studio. La mediana delle irrigazioni annuali, che era stimata intorno a 210 mm nel periodo di riferimento 1971-2000, sale a 220 mm nel trentennio 1991-2020 ed è prevista in ulteriore incremento (250 mm) nelle proiezioni climatiche 2021-2050.

La crescita delle richieste irrigue del pomodoro è limitata dal fatto che il ciclo colturale del pomodoro è breve rispetto a quello di altre colture analizzate, quali il kiwi o i prati stabili, e che l'incremento delle temperature entro una certa soglia porta ad una ulteriore riduzione nella durata del ciclo, con anticipo della raccolta. Si consideri d'altra parte che oltre i valori cardinali massimi di temperatura specifici del pomodoro il ciclo vegetativo della pianta si blocca, aumentando la permanenza in campo e di conseguenza anche le esigenze irrigue. Si noti inoltre nelle previsioni irrigue l'aumento dei valori minimi della distribuzione, con conseguente probabile scomparsa degli anni con richiesta irrigua inferiore a 180 mm.

Provincia di Grosseto

La coltivazione del pomodoro da industria è una parte importante della storia produttiva del territorio toscano. Dai dati del 2016, in Toscana gli ettari a pomodoro da industria sono stati 2.122 con una produzione totale di oltre 1,3 milioni di tonnellate. Tale coltura si concentra prevalentemente nelle province di Grosseto e Livorno, dove sono presenti importanti industrie di trasformazione.

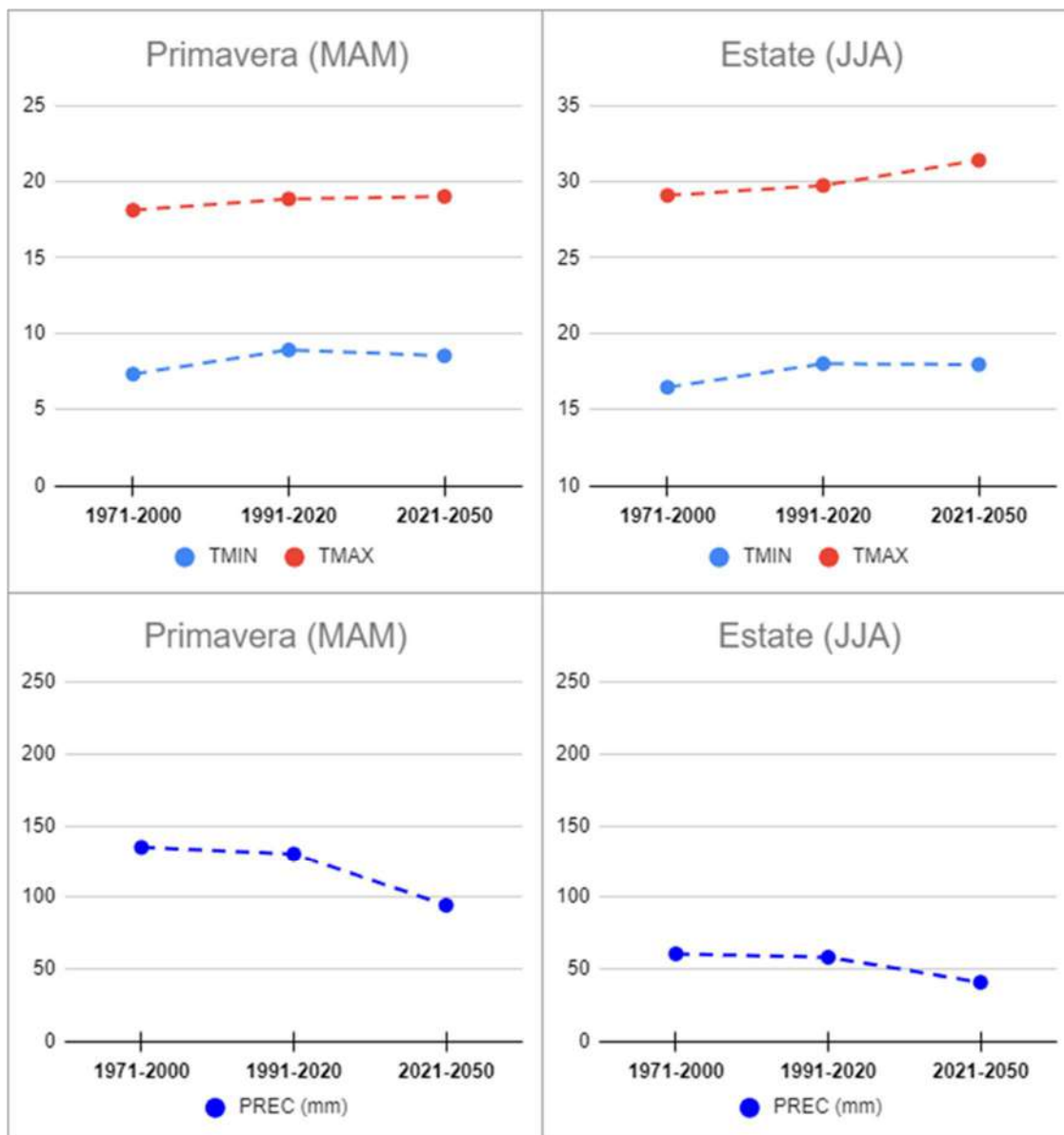


Figura 39 - Proiezioni climatiche di temperature (in alto) e precipitazioni (in basso) a Grosseto: clima di riferimento 1971-2000, clima attuale 1991-2020 e proiezioni 2021-2050.

Le proiezioni climatiche per il periodo 2021-2050 per il caso di studio di Grosseto (figura 39) indicano un incremento delle temperature sia in primavera che in estate rispetto al clima di riferimento 1971-2000, con l'aumento più marcato (2.3°C) nelle massime in estate. Tuttavia, si può osservare che le proiezioni delle temperature minime primaverili ed estive e della temperatura massima primaverile non si discostano in modo significativo dai corrispondenti valori climatici registrati nell'ultimo trentennio 1991-2020.

Per quanto riguarda le precipitazioni le analisi E-OBS nel periodo 1991-2020 mostrano un segnale stabile o in lieve diminuzione rispetto al periodo di riferimento 1971-2000 sia in primavera che in estate. Le proiezioni indicano una probabile diminuzione delle precipitazioni in entrambe le stagioni, con valori simili in percentuale (intorno al 30%).

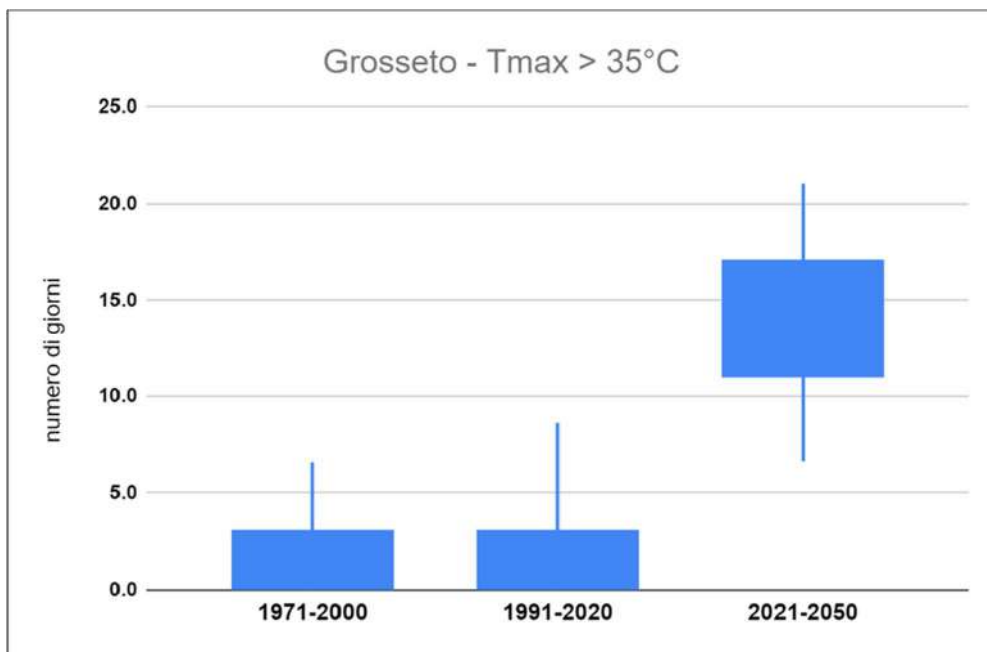


Figura 40 - Distribuzione del numero di giorni con $t_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ a Grosseto: il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

La distribuzione dei giorni con temperature maggiori di 35°C nel caso di studio di Grosseto (figura 40) mostra una sostanziale stabilità tra il clima di riferimento 1971-2000 e il trentennio recente 1991-2020, con due giorni l'anno in media sopra soglia su tutto il periodo delle analisi E-OBS. Si evidenzia però che il dato del 2003, con 33 giorni di temperature sopra soglia, è fuori scala. Nelle proiezioni climatiche si assiste ad un marcato innalzamento della frequenza di giorni con temperature massime maggiori di 35°C , con una mediana di 14 giorni l'anno.

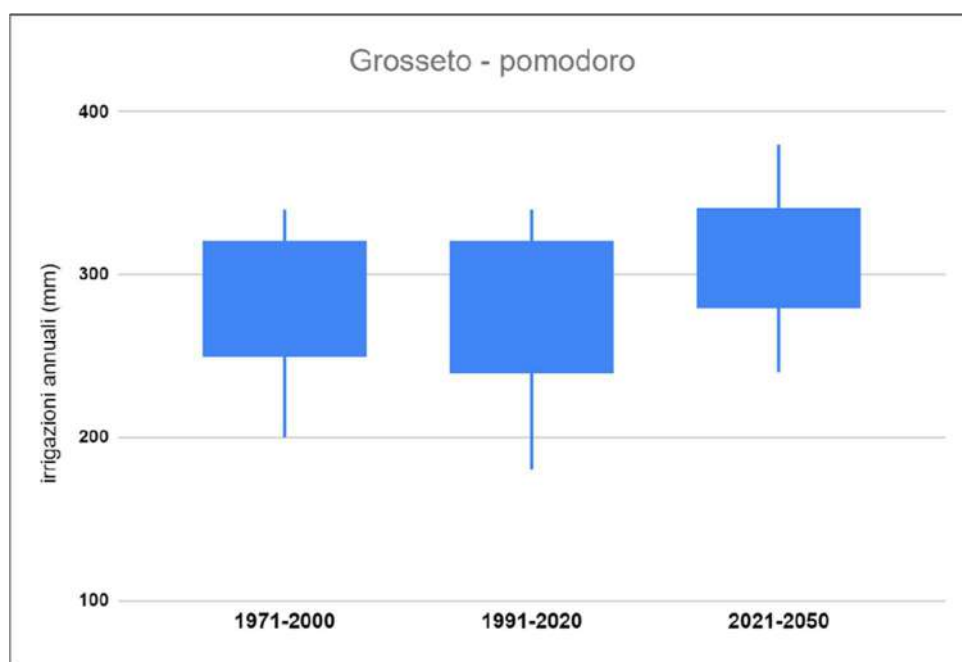


Figura 41 - Distribuzione delle irrigazioni annuali (mm) per il pomodoro a Grosseto: il box rappresenta i dati dal 25° al 75° percentile, i baffi il 5° e 95° percentile.

La stima delle esigenze irrigue del pomodoro a Grosseto (figura 41) mostra una sostanziale stabilità tra il clima di riferimento 1971-2000 e il trentennio 1991-2020, con anzi un lieve decremento dei valori mediani, che scendono dai circa 290 mm nel clima di riferimento ai 280 mm nell'ultimo trentennio. Questo è avvenuto principalmente grazie all'anticipo del ciclo vegetativo, dovuto alla crescita delle temperature. Nelle proiezioni climatiche per il periodo 2021-2050 la diminuzione delle precipitazioni sia in primavera che in estate provoca al contrario un innalzamento delle necessità irrigue, con la mediana che sale a 320 mm e i valori minimi e massimi della distribuzione che crescono entrambi di circa 40 mm rispetto alle distribuzioni precedenti.

Considerazioni finali sulla filiera

La coltura del kiwi, che mantiene ancora oggi a differenza di altre colture frutticole una sufficiente redditività, è soggetta ad alcune criticità, in relazione alle proprie specifiche caratteristiche fisiologiche, non ultima l'elevata richiesta idrica. Queste esigenze sono state finora soddisfatte con azioni di adattamento territoriale (laghetti) e colturale (miglioramento delle tecniche irrigue); ciononostante, questi elevati fabbisogni irrigui alla luce del cambiamento climatico in atto e previsto continuano a rappresentare un fattore di rischio nella diffusione della coltura.

Un ulteriore importante rischio climatico è quello dei ritorni di freddo primaverili, che come accaduto negli ultimi anni, possono produrre danni ingenti. La frequenza di questi eventi, nonostante l'aumento termico generale, non è prevista in calo; questo a seguito di due tendenze concomitanti: l'aumento delle temperature invernali che accelerano lo sviluppo fenologico e producono un anticipo nella comparsa delle fasi fenologiche a rischio (germogliamento e fioritura) e l'aumento delle variabilità climatica primaverile che produce, sempre in un ambito di temperature medie in aumento, casi di ritorni di freddo sempre più frequenti.

Il pomodoro è una coltura molto diffusa in Italia e rappresenta una eccellenza dell'agroindustria. Si consideri che nel 2021 nel Nord Italia le superfici destinate a pomodoro sono state di 38.621 ha, di cui il 70% in Emilia-Romagna, con trasformazione in 25 stabilimenti che rappresentano circa il 50% del totale prodotto in Italia. La coltura del pomodoro ha infatti trovato in Emilia-Romagna condizioni pedo-climatiche favorevoli all'ottenimento di produzioni elevate e con caratteristiche idonee alla trasformazione. L'Emilia-Romagna è la regione leader in Italia per superficie coltivata, all'incirca 27.000 ettari.

Attualmente a livello climatico le condizioni sono ancora favorevoli per un idoneo sviluppo della coltura, esistono però nell'ambito del cambiamento climatico rischi che possono creare danni alla coltura come le ondate di calore. Se da un lato le maggiori richieste irrigue possono essere soddisfatte da azioni di adattamento volte a rendere più efficienti le tecniche irrigue e aumentare la risorsa disponibile, dall'altro le ondate di calore determinano problematiche di diversa natura più difficili da affrontare; temperature massime che per diversi giorni superano i 33-35°C, unite ad

elevato irraggiamento, possono produrre scottature sulle bacche e diminuzione della pigmentazione, rendendo il prodotto meno idoneo alla trasformazione.

CONCLUSIONI

Per quello che riguarda il cambiamento climatico relativo alle zone della filiera viti-vinicola, pur osservandosi in tutte le aree un deciso aumento delle temperature soprattutto nel periodo estivo e una diminuzione delle precipitazioni nei periodi primaverile ed estivo, i territori posti a latitudini più meridionali, appaiono sicuramente più esposti agli impatti del cambiamento climatico, poiché tali aree sono già caratterizzate da un clima più caldo e siccitoso che sarà soggetto a un ulteriore peggioramento.

Si consideri ad esempio che in Romagna, nelle colline del Chianti e nei Colli Albani la temperatura massima media estiva supererà i 30°C nel clima futuro, e questo avrà conseguenze più marcate sull'agrofisiologia e sulla fisiologia della pianta rispetto alla provincia di Treviso dove tale temperatura non sembra destinata a superare tale soglia. D'altro canto, è da considerare che gli standard organolettici dei vini bianchi caratteristici della zona del Veneto sono maggiormente sensibili ad aumenti delle temperature anche più contenuti dovendo mantenere alti livelli di acidità e di aromi.

Anche per le precipitazioni in tutte le aree di studio è attesa una diminuzione importante negli apporti, ma questi valori che sono paragonabili (tra 50 e 70 mm di diminuzione) andranno ad incidere su valori assoluti attuali molto diversi: ad esempio, se nell'area della provincia di Treviso la diminuzione delle piogge porterà i valori estivi da circa 240 mm a 170 mm, l'area di Monteleone in Romagna passerà dagli attuali 170 a 100 mm, questo significa che le precipitazioni attese nel caso del Veneto saranno confrontabili a quelle ora rilevate in Romagna nella stagione estiva.

Spostandosi più a sud avremo precipitazioni attese future ancora più basse con valori medi stagionali di 70 mm a San Miniato e 40 mm a Falcognana; rendendo gli effetti del mutamento climatico paragonabili a uno spostamento verso Sud delle attuali latitudini caratteristiche dei diversi casi di studio.

Alla luce dei confronti degli effetti del mutamento climatico nelle diverse aree, anche in relazione ai vitigni e ai vini caratteristici, mentre al Sud anche in futuro le azioni di adattamento avranno prevalentemente come finalità l'aumento dell'apporto irriguo, nelle aree dove ora sono prevalenti vini bianchi con caratteristiche di elevata acidità ed aromi, le azioni di adattamento saranno volte a conservare tali caratteristiche.

Per quello che attiene la filiera del Parmigiano Reggiano, nella zona del comprensorio le proiezioni climatiche primaverili ed estive danno come probabile una variazione intensa sia per gli aumenti di temperatura che per le diminuzioni delle precipitazioni, causando così l'aumento dell'evapotraspirazione e delle esigenze irrigue. Da ciò consegue che la conservazione di questo prodotto di eccellenza gastronomica dipenderà sulla possibilità di avere una maggiore disponibilità di apporti idrici e un incremento nell'efficienza dell'irrigazione, considerando che negli anni a maggiore richiesta irrigua si assiste anche a una maggiore competizione tra settori.

Anche per quello che riguarda il caso di studio del kiwi sviluppato all'interno dell'indagine degli impatti del cambiamento climatico sulla filiera ortofrutticola, dalle elaborazioni si evince come gli effetti più intensi del mutamento climatico si manifestano con maggiore intensità sulla precipitazione sia in termini assoluti che relativi nelle aree più a sud.

Nei casi di studio, le aree di Brisighella e Latina che già alla luce del clima attuale presentano quantitativi di apporti pluviometrici primaverili ed estive sensibilmente inferiori rispetto all'area del veronese, sulla base degli scenari futuri tale decremento si attesta su circa 100 mm, a fronte di meno di 50 mm nel veronese.

In base a queste considerazioni gli incrementi attesi negli apporti idrici raggiungono i livelli più critici nelle aree di Latina (circa 110 mm), questi valori si vanno a sommare a quantitativi già abbondanti stimati nel clima 1991-2020 in 360 mm; sono quindi attesi apporti elevati che richiedono un'attenta valutazione delle dotazioni idriche ambientali presenti nell'area.

Considerazioni simili, anche se con valori assoluti inferiori, possono essere proposte per le aree della Romagna che, a fronte di un simile incremento, si aggiungono ad una richiesta attuale sensibilmente più bassa rispetto all'Agro pontino, passando da circa 300 a 400 mm attesi.

La situazione prevista per l'area di Latina in relazione all'andamento complessivo delle precipitazioni sull'intero anno, sembra non potersi avvalere di un'eventuale azione di adattamento volta alla conservazione di piogge autunnali, in quanto non sono previste delle anomalie positive significative per tale grandezza. Invece nelle aree del faentino che già hanno attuato azioni di adattamento finalizzate allo stoccaggio dell'acqua piovana come laghetti e bacini aziendali, queste azioni possono essere sfruttabili in quanto gli scenari prevedono piogge autunnali in ulteriore aumento e quindi in grado con apposite infrastrutture di poter sopperire a buona parte delle esigenze irrigue delle colture.

Quindi delle tre aree analizzate il veronese è quello che presenta le minori criticità, in quanto, a fronte di esigenze irrigue attuali inferiori all'Agro pontino e simili al caso romagnolo, le previsioni di incremento sono contenute (circa 30 mm) rispetto alle esigenze irrigue del clima attuale. In questa zona inoltre, qualora sia necessario e possibile, potranno essere attuate azioni di adattamento volte alla conservazione delle precipitazioni autunnali, previste in aumento.

Tra le colture analizzate, il pomodoro, nell'ambito della filiera ortofrutticola, appare la coltura con l'incremento più contenuto delle esigenze irrigue tra il vecchio clima (1971-2000) e il clima presente, questo è imputabile anche all'accorciamento del ciclo fenologico dovuto all'aumento generalizzato delle temperature.

Similmente anche le proiezioni di irrigazioni presentano incrementi modesti, valutabili in 30 e 40 mm rispettivamente per Podenzano e Grosseto. Alla luce di queste considerazioni, la risorsa idrica non sembra l'elemento più critico nella coltivazione, a differenza dell'aumento delle ondate di calore. Infatti le temperature massime, espresse come numero di giorni con temperature massime oltre i 35°C, potranno rappresentare una criticità soprattutto nell'area più a sud, Grosseto, in cui è

previsto un aumento di 12 giorni (da 2 giorni nel clima recente e passato a 14 giorni per le proiezioni future), mentre a Podenzano di circa 4 giorni (da 4 giorni nel clima recente a 8 giorni per le proiezioni future). Quindi si confermano nelle aree più meridionali i rischi climatici per questa coltura, i maggiori rischi del mutamento climatico previsto sembrano derivare più all'aumento termico che dall'aumento delle necessità irrigue e questo più nelle aree meridionali che settentrionali. Questo incremento delle temperature ha conseguenze sulla qualità del prodotto trasformato poiché può determinare un'alterazione della qualità della bacca.

BIBLIOGRAFIA

Agenzia Europea per l' Ambiente (2019). Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. EEA Report No 4/2019 (doi:10.2800/537176)

Antolini, G., Tomei, F. (2006). PRAGA - PRogramma di Analisi e Gestione di dati Agrometeorologici. Atti del 9 Convegno nazionale di agrometeorologia-AIAM 2006 Torino, 6-8 giugno 2006.

Bittelli M., Tomei F., Pistocchi A., Flury M., Boll J., Brooks E.S., Antolini G. (2010). Development and testing of a physically based, three-dimensional model of surface and subsurface hydrology. *Adv. Wat. Resour.*, 33, 106-122.

Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture*, 1(2), 96-99.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). Global warming of 1.5 °C, Geneva, Switzerland (<http://www.ipcc.ch/report/sr15/>)

Marletto V., Ventura F., Fontana G., Tomei F. (2007). Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model. *Agric. For. Meteorol.* 147:71-79.

Richardson, C. W., Wright, D. A. (1984). WGEN: A model for generating daily weather variables. USDA, ARS, publication ARS-8.

Selker, J.S., Haith, D.A. (1990). Development and testing of Single-Parameters Precipitation Distribution. *Water resources research*, 26 (11): 2733-2740.

Strati, V., Albéri, M., Anconelli, S., Baldoncini, M., Bittelli, M., Bottardi, C., Solimando, D., Tomei, F., Villani, G., & Mantovani, F. (2018). Modelling soil water content in a tomato field: proximal gamma ray spectroscopy and soil-crop system models. *Agriculture*, 8(4), 60.

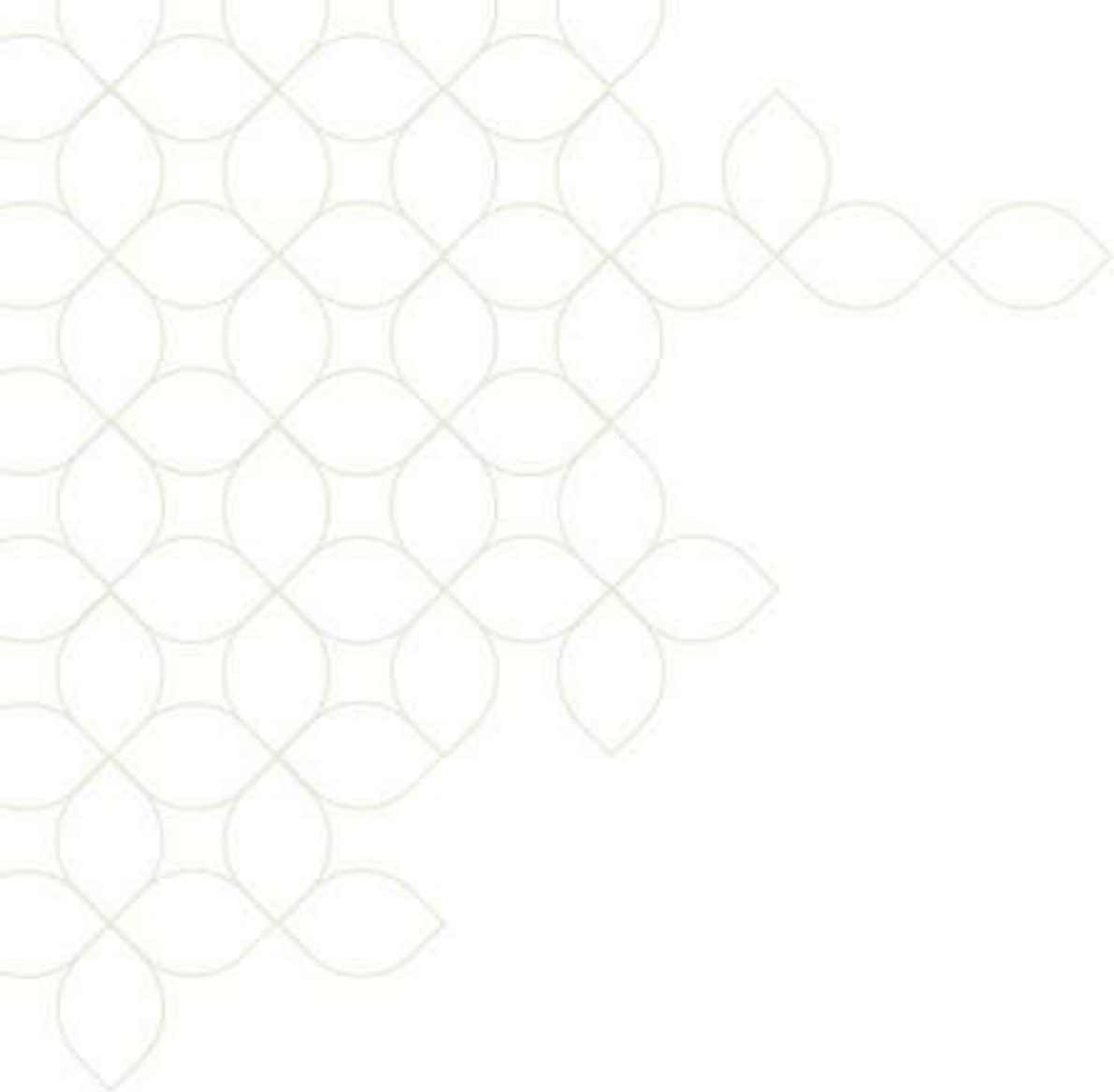
Stöckle, C.O., Campbell, G.S., and Nelson, R. (1999). *ClimGen manual*. Biological Systems Engineering Department, Washington State University, Pullman, WA. 28 pp.

Tomei, F., Villani, G., Pavan, V., Pratizzoli, W., Marletto, V. (2009). Report on the quality of seasonal predictions of wheat yield and irrigation needs in Northern Italy, Ensembles Project, 6th EU Framework Programme, Research Theme 6, Assessments of Impacts and Climate Change.

Tomozeiu R., Agrillo G., Cacciamani C., Pavan V.(2014). Statistically downscaled climate change projections of surface temperature over Northern Italy for the periods 2021-2050 and 2071-2099. *Nat. Hazards* 72:143-168. doi: 10.1007/s11069-013-0552-y.

Tomozeiu R., Pasqui M., Quaresima S.(2017). Future changes of air temperature over Italian areas: a statistical downscaling technique applied to 2021-2050 and 2071-2100 periods. *Meteorology and Atmospheric Physics*, doi.org/10.1007/s00703-017-0536-7.

Villani, G., Tomei, F., Tomozeiu, R., Marletto V. (2011). Climatic scenarios and their impacts on irrigated agriculture in Emilia-Romagna, Italy. Italian Journal of Agrometeorology, volume 1, pp. 5-17.



I Partner. Insieme per aumentare la resilienza del settore agricolo | www.lifeada.eu |

UnipolSai
ASSICURAZIONI

arpae
emilia-romagna

WA
AGRICOLTORI ITALIANI

crea
Consiglio per la ricerca in agricoltura
e l'analisi dell'economia agraria

lega.coop | associazione
direttuale
agroalimentare | Nord Italia

LEGAMBIENTE

Leitha

Regione Emilia-Romagna