



Analisi degli scenari climatici futuri a scala locale nel Trevigiano





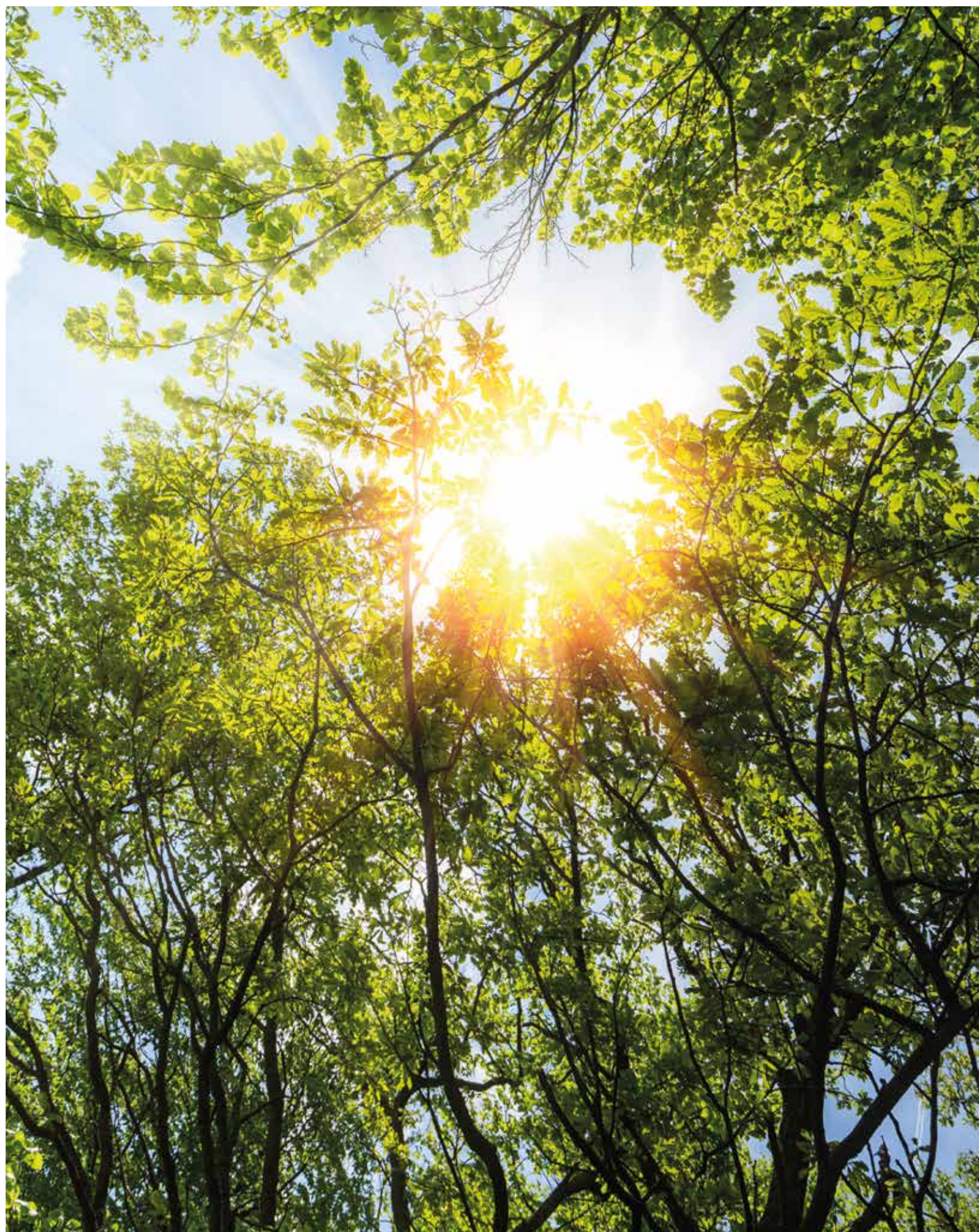
Consorzio di Tutela



PROSECCO SUPERIORE
DAL 1876

Con il Patrocinio di





Indice

	Prefazione	11
	Glossario	12
1.0	Introduzione	15
1.1	Comprendere che cos'è il cambiamento climatico	16
1.2	Modelli climatici e loro scopi	18
1.3	Importanza delle informazioni sul clima nella pianificazione dell'adattamento	22
1.4	Panoramica del progetto	24
2.0	Clima attuale e pericoli climatici rilevanti per la viticoltura	27
2.1	Clima osservato	28
2.1/1	Panoramica generale	29
2.1/2	Riepilogo tecnico	31
2.2	Clima futuro e pericoli climatici rilevanti per la viticoltura	36
2.2/1	Panoramica generale	36
2.2/2	Riepilogo tecnico	39
2.3	Valutazione della metodologia di downscaling	50
2.3/1	Riepilogo tecnico	50
3	Clima futuro e pericoli climatici rilevanti per la viticoltura	53
3.1	Proiezioni climatiche future	54
3.1/1	Panoramica generale	54
3.1/2	Riepilogo tecnico	57
3.2	Pericoli climatici futuri rilevanti per la viticoltura	60
3.2/1	Panoramica generale	60
3.2/2	Riepilogo tecnico	62
	Bibliografia	73
	Allegato 1 - Osservazioni	74
	Allegato 2 - Metodologia di downscaling	75
	Screening dei predittori	75
	Procedura di validazione incrociata	76
	Metodi di downscaling	76

Gentili lettrici e gentili lettori,

vi ringrazio per la sensibilità e l'attenzione che dedicate a un tema di importanza cruciale per il nostro presente e, soprattutto, per il futuro delle prossime generazioni. Il cambiamento climatico non è più un'ipotesi lontana, ma una realtà con cui tutti noi siamo chiamati a confrontarci con responsabilità e consapevolezza. Già nel 2015, gli Stati membri delle Nazioni Unite si sono riuniti per firmare l'Accordo di Parigi, ponendosi l'obiettivo di limitare il riscaldamento globale entro 1,5 °C rispetto alla temperatura media del periodo 1850-1900.

Purtroppo, nonostante gli impegni assunti, la concentrazione dei gas serra ha continuato ad aumentare costantemente sin dai primi del Novecento, portando i livelli di anidride carbonica nell'atmosfera a 423 ppm (parti per milione) nel dicembre 2024: un valore senza precedenti nella storia moderna del nostro pianeta, almeno negli ultimi 800.000 anni. Le proiezioni attuali e i dati raccolti indicano che la soglia di 1,5 °C di riscaldamento globale verrà raggiunta tra il 2030 e il 2035, indipendentemente dagli sforzi — ad oggi purtroppo insufficienti — per contenere le emissioni di CO₂. Un recente rapporto della *World Meteorological Organization* (WMO, 2022) ha stimato i danni causati dal cambiamento climatico in Europa nel periodo 1970-2019: 476 miliardi di dollari di perdite economiche, 1.672 calamità naturali e circa 159.000 vittime. Numeri che impongono una riflessione profonda e un'azione concreta. Disporre di proiezioni climatiche future affidabili e scientificamente fondate diventa quindi indispensabile per pianificare strategie di adattamento efficaci, che richiedono tempo e devono essere supportate da politiche locali, regionali e nazionali coerenti.

È proprio in questa prospettiva che nel 2022 ha preso avvio lo studio qui presentato, nato da un'idea condivisa con il Consorzio di Tutela del Conegliano Valdobbiadene Prosecco DOCG, con l'obiettivo di comprendere i futuri cambiamenti climatici nella provincia di Treviso, con particolare attenzione al territorio della DOCG Conegliano-Valdobbiadene,

Carlo Antiga

Presidente
Banca Prealpi SanBiagio



riconosciuto dall'UNESCO e simbolo di un patrimonio agricolo e paesaggistico di valore mondiale. Comprendere come il clima potrà evolvere in funzione dei diversi scenari emissivi, e poter quantificare eventi estremi quali l'aumento delle ondate di calore o l'intensificazione delle precipitazioni intense, è fondamentale per adottare misure adeguate non solo in ambito agricolo, ma anche nella gestione complessiva del territorio, attraverso interventi di mitigazione dei rischi, anche di tipo strutturale. Determinante per la riuscita del progetto è stata la straordinaria sinergia tra pubblico e privato che si è venuta a creare. Banca Prealpi SanBiagio, il Consorzio di Tutela del Conegliano Valdobbiadene Prosecco DOCG, l'Università di Cantabria (Spagna), che contribuisce ai rapporti sul clima delle Nazioni Unite, ARPAV (Agenzia Veneta per l'Ambiente), Condifesa TV-BL-VI, DAFNE (Università di Padova), con il coordinamento di Riccardo Soldan (già Università di OXFORD, oggi FAO), hanno concettualizzato e seguito con rigore scientifico ogni fase del lavoro.

Nicholas Georgescu-Roegen ci ha insegnato che un'economia che ignora i limiti naturali è destinata al fallimento, e responsabilmente, come Banca del Territorio, siamo convinti che trasformare la migliore scienza disponibile in uno strumento concreto di comprensione dei rischi e delle opportunità climatiche dei prossimi decenni significhi poter pianificare azioni di adattamento realmente efficaci. Perché, come ricordava Albert Einstein, *«non possiamo risolvere i problemi con lo stesso tipo di pensiero che li ha creati»*. Investire in conoscenza significa investire in resilienza: nella competitività delle nostre produzioni, nella sostenibilità del paesaggio e nel futuro delle comunità che lo vivono e lo custodiscono.

“La Terra non ci è stata lasciata in eredità dai nostri padri,
ma prestata dai nostri figli” - Ricordiamolo sempre.



Coordinatore del progetto

RICCARDO SOLDAN, PhD

in precedenza Università di Oxford; attualmente presso la *Food and Agriculture*

Organisation of the United Nations - progetto svolto a titolo personale

ORCID: 0000-0003-2583-5840.

Autori

ANA CASANUEVA, PhD

Università della Cantabria, Spagna. ORCID: 0000-0002-7568-0229

RODRIGO MANZANAS, PhD

Università della Cantabria, Spagna. ORCID: 0000-0002-0001-3448

Coautori

FABIO ZECCHINI

FRANCESCO RECH

GIOVANNI MASSARO

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto - ARPAV

Finanziamento

Questo progetto è stato reso possibile grazie al sostegno di:

BANCA PREALPI SANBIAGIO (Ufficio Agricoltura)

CONSORZIO DI TUTELA DEL VINO CONEGLIANO VALDOBBIADENE PROSECCO DOCG

Traduzione

Il documento è stato tradotto dall'inglese all'italiano da GIULIANO BONI

I dati e la pubblicazione in inglese sono disponibili per il download su Zenodo:

Casanueva, A., Manzanos, R., Massaro, G., Zecchini, F., Francesco, R., & Soldan, R. (2026).

Analysis of Downscaled Future Climate Scenarios in the Trevigiano. Zenodo.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18483489>



Prefazione

Il cambiamento climatico rappresenta una sfida globale senza precedenti. Nonostante i suoi effetti di vasta portata, la comprensione pubblica rimane limitata, soprattutto quando si tratta di riconoscerne gli effetti locali, anche all'interno dei paesi europei.

In risposta a ciò, questo documento presenta le proiezioni climatiche future per il Veneto, con particolare attenzione alla viticoltura nella rinomata provincia di Treviso.

I nostri obiettivi sono:

1. Spiegare che cos'è il cambiamento climatico a un vasto pubblico.
2. Comprendere come il cambiamento climatico possa influenzare il settore viticolo in questo secolo e nella provincia di Treviso.
3. Rendere le proiezioni climatiche future nel Trevigiano accessibili agli stakeholder locali e agli istituti di ricerca per le valutazioni di rischio.

Questo rapporto funge anche da base per studi futuri. Ad esempio, il Consorzio di Tutela del Vino Conegliano Valdobbiadene Prosecco DOCG dai risultati emersi dal presente studio ha sviluppato una serie di considerazioni per proporre azioni di mitigazione e di adattamento per la viticoltura del Conegliano Valdobbiadene Prosecco, mentre l'Università di Padova ha proposto una analisi del rapporto tra cambio climatico e malattie della vite.

Il documento si apre con un glossario conciso che spiega i termini più comunemente usati in climatologia in un linguaggio accessibile. I capitoli successivi approfondiscono che cos'è il cambiamento climatico, spiegano la logica alla base di questa iniziativa e presentano i principali risultati e le implicazioni del progetto.

Glossario

ADATTAMENTO

Nei sistemi umani, l'adattamento è il modo in cui persone, comunità ed economie si modificano in risposta al clima che cambia per ridurre i danni e sfruttare nuove opportunità. Nei sistemi naturali, è il modo in cui gli ecosistemi si adeguano al clima e ai suoi effetti; le azioni dell'uomo possono aiutare questo processo rispetto ai cambiamenti attesi.

CAMBIAMENTO CLIMATICO

Cambiamenti significativi nelle temperature globali e pattern meteorologici nel tempo. Sebbene i fattori naturali possano influenzare il clima, i cambiamenti recenti sono in gran parte dovuti alle attività umane, in particolare alla combustione di combustibili fossili.

FORZATURA CLIMATICA

La forzatura climatica si riferisce a un'influenza esterna sul sistema climatico che può causare cambiamenti in una serie di variabili climatiche. È un fattore che, se alterato, può spingere il sistema climatico verso un riscaldamento o un raffreddamento. Esempi includono cambiamenti nella radiazione solare, eruzioni vulcaniche che rilasciano grandi quantità di particolato nell'atmosfera e l'aumento della concentrazione di gas serra dovuto alle attività umane. Forzature positive, come l'aumento delle emissioni di gas serra, riscaldano la Terra, mentre forzature negative, come gli aerosol vulcanici che riflettono la luce solare, possono portare a un raffreddamento.

INFORMAZIONI CLIMATICHE

Le informazioni climatiche si riferiscono a dati e conoscenze sulle condizioni e le tendenze climatiche passate, presenti e future, su scala regionale. Vengono generate utilizzando diverse fonti di dati e metodologie, tra cui conoscenze teoriche, dati osservati, simulazioni da diversi tipi di modelli e conoscenze locali. Le informazioni vengono poi sviluppate attraverso un processo di elaborazione che coinvolge utenti, stakeholder e coloro che le hanno prodotte per garantirne la pertinenza, l'utilità e l'affidabilità ai fini del processo decisionale. Le informazioni sui cambiamenti climatici a scala regionale sono essenziali per la gestione del rischio e i servizi climatici.

MODELLO CLIMATICO

Una complessa simulazione al computer che rappresenta il sistema climatico terrestre. Utilizza equazioni matematiche per modellizzare le interazioni tra atmosfera, oceani, terraferma e ghiaccio, consentendo la proiezione per le condizioni climatiche future.

DOWNSCALING

Il downscaling è l'insieme di tecniche utilizzate per tradurre le informazioni climatiche prodotte da modelli climatici globali o regionali a larga scala in informazioni climatiche a scala più fine (locale o sub-regionale), più rilevanti per la valutazione degli impatti. Il downscaling può essere effettuato tramite metodi dinamici (basati su modelli climatici regionali ad alta risoluzione) o statistici (basati su relazioni empiriche tra variabili climatiche su diverse scale). Questo processo consente di rappresentare meglio le caratteristiche locali del clima.

PROIEZIONI CLIMATICHE

Stime scientifiche del clima futuro basate su simulazioni di modelli climatici.

SCENARI CLIMATICI

Rappresentazioni plausibili del clima futuro basate su tendenze passate e ipotesi su come cambieranno le attività umane.

RISCALDAMENTO GLOBALE

L'aumento della temperatura media della superficie terrestre.

EFFETTO SERRA

Un processo naturale in cui alcuni gas presenti nell'atmosfera terrestre, come vapore acqueo, anidride carbonica, metano e protossido di azoto, intrappolano il calore del sole, mantenendo la superficie del pianeta più calda di quanto sarebbe altrimenti. Questo effetto è fondamentale per sostenere la vita sulla Terra, mantenendo il suo clima entro intervalli abitabili. Senza l'effetto serra, la temperatura media della superficie terrestre sarebbe di circa 33 °C (91 °F) più fredda dell'attuale media, corrispondente approssimativamente a 15 °C (59 °F). Tuttavia, le attività umane hanno aumentato significativamente le concentrazioni di questi gas serra, amplificando l'effetto serra naturale e portando al riscaldamento globale.

GAS SERRA (GREENHOUSE GASES, GHG)

Gas che intrappolano il calore nell'atmosfera, come anidride carbonica, metano e protossido di azoto.

MITIGAZIONE

Azioni intraprese per ridurre o prevenire le emissioni di gas serra, con l'obiettivo di frenare la velocità e l'entità del cambiamento climatico. Tra gli esempi figurano l'adozione di energie rinnovabili, misure di efficienza energetica e sequestro del carbonio.

OSSERVAZIONI

Dati storici raccolti da stazioni meteorologiche e altri sistemi di monitoraggio.

PERCORSI DI CONCENTRAZIONE RAPPRESENTATIVI (REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS, RCP)

Scenari che delineano diverse traiettorie di concentrazione dei gas serra entro la fine del XXI secolo. Variano da molto alto (RCP 8,5, il più pessimistico) a molto basso (RCP 2,6, il più ottimistico), a seconda delle ipotesi relative a sviluppo economico, tecnologia e politiche.

RISCHIO CLIMATICO

I rischi climatici si riferiscono al potenziale di conseguenze negative per i sistemi umani e naturali derivanti dal cambiamento climatico. I rischi emergono dall'interazione tra i pericoli legati al clima e l'esposizione e la vulnerabilità dei sistemi umani o naturali, tenendo conto della loro capacità adattativa. Quando i rischi climatici si concretizzano, essi si traducono in impatti. Lo stesso pericolo climatico può quindi generare esiti molto diversi a seconda del livello di esposizione di un sistema, della sua vulnerabilità e della sua capacità di adattamento.



01

Cambiamento climatico: introduzione

Scenari climatici futuri con downscaling statistico per la valutazione del rischio nella viticoltura trevigiana

1.1 Comprendere che cos'è il cambiamento climatico

Il cambiamento climatico e il riscaldamento globale rappresentano una delle sfide più urgenti per l'umanità nel XXI secolo. Spinto principalmente dal continuo aumento delle emissioni di gas serra dovute alle attività umane, il sistema climatico terrestre sta vivendo cambiamenti rapidi e senza precedenti nella storia moderna. Comprendere queste dinamiche complesse e i loro impatti di vasta portata è essenziale per prendere decisioni consapevoli e agire efficacemente a tutti i livelli della società.

In prima linea in questo sforzo globale c'è il Gruppo intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), istituito dal Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (*United Nations Environment Programme, UNEP*) e dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (*World Meteorological Organisation, WMO*). L'IPCC è il principale organismo internazionale per la climatologia, incaricato di valutare le più recenti conoscenze scientifiche sui cambiamenti climatici attraverso i contributi di migliaia di ricercatori in tutto il mondo. Attraverso il suo rigoroso processo di revisione paritaria, l'IPCC produce rapporti completi, come i Rapporti di Valutazione (*Assessment Reports, AR*), i Rapporti Speciali e i Rapporti Metodologici, che sintetizzano risultati all'avanguardia sulle cause, gli impatti e le potenziali soluzioni ai cambiamenti climatici.

Questi rapporti costituiscono la base per le politiche climatiche, contribuendo a orientare i negoziati internazionali e a orientare le azioni di governi, istituzioni e società civile. Il rapporto IPCC più recente, il Sesto Rapporto di Valutazione (AR6, 2021), trae conclusioni drastiche. Conferma inequivocabilmente che l'influenza umana è la causa principale del riscaldamento globale. Il rapporto documenta tendenze allarmanti: aumento delle temperature globali, rapido innalzamento del livello del mare, riduzione delle calotte glaciali e dei ghiacciai ed eventi meteorologici estremi più frequenti e intensi. In particolare, l'AR6 sottolinea la necessità di sforzi immediati e ambiziosi per ridurre le emissioni, adattarsi agli impatti inevitabili e promuovere la cooperazione internazionale per limitare il riscaldamento e le sue conseguenze. Uno degli argomenti più frequentemente utilizzati per minimizzare il cambiamento climatico è che la Terra

sia stata molto più calda in passato, in particolare durante l'inizio dell'Olocene, e che la vita sia comunque prosperata in quelle condizioni. Si sostiene quindi che l'attuale riscaldamento, pari a poco meno di 1,5 °C rispetto ai livelli pre-industriali, non sia problematico in sé.

Il limite fondamentale di questo ragionamento è che la sfida posta dal cambiamento climatico non riguarda il livello assoluto della temperatura, ma la velocità con cui la temperatura sta aumentando. Gli ecosistemi e le specie sono in grado di adattarsi a cambiamenti climatici quando questi avvengono su scale temporali lunghe, ma faticano ad adattarsi quando i cambiamenti sono estremamente rapidi. I cambiamenti climatici del passato, inclusi quelli verificatisi durante e dopo l'ultima glaciazione, si sono sviluppati nell'arco di migliaia o milioni di anni, consentendo alle specie di migrare, evolvere e riorganizzarsi gradualmente. Al contrario, l'attuale riscaldamento sta avvenendo nell'arco di pochi decenni. L'attuale tasso di aumento della temperatura globale è senza precedenti nel contesto della civiltà umana e probabilmente supera la capacità adattativa di molte specie ed ecosistemi. Di conseguenza, il cambiamento climatico odierno non rappresenta semplicemente un mondo più caldo, ma un mondo che sta cambiando troppo rapidamente perché i sistemi biologici, ecologici e sociali possano adeguarsi, generando profonde perturbazioni, un aumento del rischio di estinzione e crescenti impatti sulle società umane.

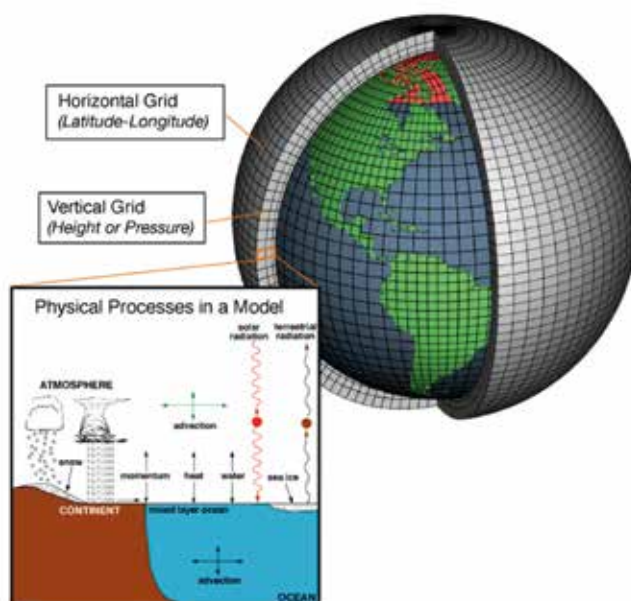
1.2 Modelli climatici e loro scopi

Un modello climatico è una rappresentazione numerica del sistema climatico basata sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche dei suoi componenti, sulle sue interazioni e sui processi di feedback.

Più precisamente, i modelli climatici sono sistemi di equazioni differenziali basati sulle leggi fondamentali della fisica, del moto dei fluidi e della chimica. Per “eseguire” un modello, gli scienziati dividono il pianeta in una griglia tridimensionale formata da celle (Fig. 1), applicano le equazioni di base e specificano anche il forzante climatico (ad esempio, impostando variabili che rappresentino la quantità di gas serra nell’atmosfera). Le equazioni vengono risolte in ogni cella (ciò richiede un’elevata potenza di calcolo). I risultati di ogni cella della griglia vengono trasmessi alle celle vicine e le equazioni vengono nuovamente risolte. La ripetizione del processo attraverso molti intervalli temporali rappresenta il passare del tempo. I modelli climatici calcolano i venti, il trasferimento di calore, l’irradiazione, l’umidità relativa e l’idrologia superficiale all’interno di ciascuna griglia e valutano le interazioni con i punti adiacenti. A differenza dei modelli utilizzati per le previsioni meteorologiche a breve termine, i modelli climatici non tentano di prevedere cosa accadrà in un luogo e in un momento specifici, ovvero non possono produrre una previsione per una data specifica nel futuro. I modelli climatici vengono invece utilizzati per determinare come cambieranno le condizioni medie ed estreme, ad esempio se sarà in media più caldo o più freddo, più umido o più secco, nei prossimi 50 anni.

Figura 1

Schema della griglia tridimensionale di un modello climatico globale e dei processi coinvolti.
Fonte: NOAA



Per questo motivo, gli studi sul clima di solito considerano periodi di 30 anni per descrivere determinate condizioni climatiche o per calcolare il segnale del cambiamento climatico (confrontando il futuro con il presente) per le proiezioni climatiche. Gli scenari climatici sono immagini plausibili di un clima futuro basate sulla conoscenza del clima passato e su ipotesi sui suoi cambiamenti futuri (in larga misura, correlati all'aumento delle concentrazioni di gas serra, Fig. 2). Costruendo scenari basati su diverse ipotesi, possiamo stimare l'impatto del cambiamento climatico e quantificare le incertezze intrinsecamente associate. Il Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici - Gruppo di lavoro sui dati e gli scenari di supporto per la valutazione dell'impatto e del clima (*Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, IPCC-TGICA*) ha sviluppato scenari di emissione e li ha tradotti in percorsi di concentrazione rappresentativi (RCP) utilizzando modelli di valutazione integrati (*Integrated Assessment Models, IAM*). Gli RCP sono stati progettati in modo tale da rappresentare un'ampia gamma di forzanti radiativi del sistema climatico nel 2100 e quindi di concentrazioni di gas serra (GHG).

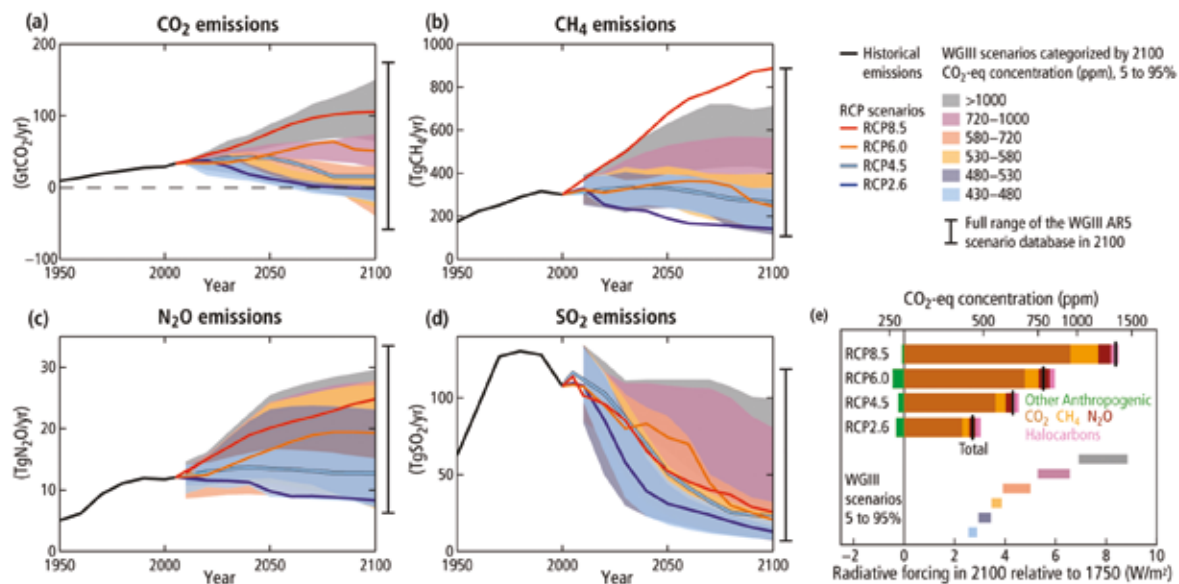


Figura 2

Scenari di emissione e livelli di forzatura radiativa risultanti per i diversi percorsi di concentrazione rappresentativi (RCP, in diverse linee). Fonte: IPCC.

1.2 Modelli climatici e loro scopi

Nella descrizione del clima futuro, l'incertezza dei modelli e degli scenari è un fattore importante da considerare. L'incertezza dei modelli è la conoscenza imperfetta del sistema climatico, quantificata attraverso un gran numero di modelli climatici che simulano il clima futuro per lo stesso scenario di emissione. Pertanto, si raccomanda di utilizzare un prodotto combinato: un insieme multi-modello. È importante fornire una gamma di possibili cambiamenti futuri basati su diversi scenari e modelli, per tenere conto dei diversi livelli di incertezza. Se emergono segnali evidenti nonostante le diverse incertezze, è possibile estrapolare messaggi robusti per fornire informazioni climatiche utili.

Nonostante la crescente risoluzione spaziale (oggi giorno le celle della griglia sono di circa 100 km x 100 km) e la complessità (vengono inclusi più processi fisici) dei modelli climatici globali (GCM, che operano su scala globale), essi presentano ancora distorsioni sistematiche e sono spesso troppo grossolani per risolvere i processi locali. Pertanto, per colmare il divario tra scala globale e locale, a partire dagli anni '90 sono stati sviluppati diversi approcci di downscaling climatico, ovvero il downscaling dinamico e quello statistico. Mentre il downscaling dinamico risolve le equazioni numeriche del sistema climatico in un dominio più piccolo (ad esempio, un continente) a una risoluzione più elevata sulla base di modelli climatici regionali, il downscaling statistico stabilisce una relazione empirica/statistica tra variabili su larga scala del modello climatico e variabili locali (ad esempio, temperatura superficiale/precipitazioni in una località di interesse, Fig. 3). Esempi di variabili su larga scala (predittori) sono la pressione e la temperatura al livello del mare, l'umidità e i venti a diverse altezze dell'atmosfera, che vengono rilevati su un'estensione spaziale sufficientemente ampia attorno al punto target o alla cella della griglia. I predittori sono solitamente ben rappresentati dai modelli climatici e dovrebbero avere un'associazione significativa e fisicamente interpretabile con la variabile da prevedere (Wilby et al. 2014). I metodi statistici tipicamente utilizzati sono gli analoghi e i modelli di regressione. I primi si basano sulle occorrenze locali corrispondenti a un insieme di analoghi storici dei campi predittori (ovvero situazioni sinottiche simili).

I secondi consistono in funzioni di trasferimento basate su modelli di regressione lineari (ad esempio, regressione lineare multipla e modelli lineari generalizzati) o non lineari (ad esempio, reti neurali) per dedurre le relazioni tra i predittori su larga scala e la variabile locale da prevedere. È necessaria una valutazione di diverse variabili predittive, di diversi domini per i predittori e di metodi statistici che utilizzano osservazioni differenti per selezionare la configurazione migliore, prima di applicare il downscaling a scenari futuri (Gutiérrez et al. 2013, 2019; San Martín et al. 2017; Maraun et al. 2019).

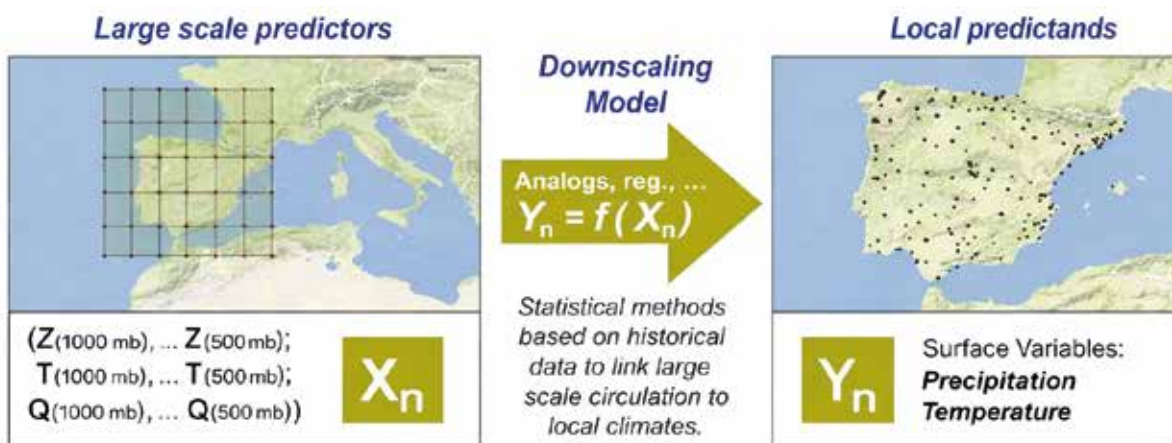


Figura 3

Schema del processo di downscaling statistico. Z, T, Q rappresentano rispettivamente l'altezza geopotenziale, la temperatura dell'aria e l'umidità specifica a diversi livelli di pressione (verticale) nell'atmosfera.

Fonte: portale di downscaling statistico ENSEMBLES.

1.3 Importanza delle informazioni sul clima nella pianificazione dell'adattamento

Le informazioni climatiche si riferiscono a dati e conoscenze sulle condizioni e le tendenze climatiche passate, presenti e future.

Possono essere ampiamente classificate in base alla scala temporale:

- Le informazioni climatiche a breve e medio termine includono previsioni meteorologiche (a breve termine per pochi giorni, a medio termine fino a una settimana e a lungo termine fino a sei settimane) e prospettive stagionali.
- Le informazioni climatiche a lungo termine forniscono informazioni sul monitoraggio climatico, sulle tendenze e sui rischi futuri, spesso nell'arco di decenni, e sono essenziali per la pianificazione strategica e il processo decisionale.

Le informazioni climatiche a lungo termine sono particolarmente importanti per l'adattamento ai cambiamenti climatici, poiché supportano lo sviluppo di misure volte ad aumentare la resilienza delle comunità umane e degli ecosistemi naturali.

Queste informazioni svolgono un ruolo centrale nella pianificazione dell'adattamento, consentendo agli stakeholders di:

1. Identificare le vulnerabilità

I dati climatici aiutano a individuare regioni, settori e popolazioni maggiormente a rischio a causa di pericoli climatici, come il caldo estremo, l'innalzamento del livello del mare o i cambiamenti nei modelli delle precipitazioni. Questa conoscenza consente interventi mirati e la definizione delle priorità delle risorse.

2. Anticipare rischi futuri

Le proiezioni climatiche consentono ai decisori di prevedere l'evoluzione dei rischi in diversi scenari di emissioni di gas serra. Ad esempio, le proiezioni di una diminuzione delle precipitazioni possono supportare lo sviluppo di strategie di gestione delle risorse idriche, mentre le proiezioni di un innalzamento del livello del mare possono indurre a rafforzare le difese costiere.

3. Informare i responsabili del processo decisionale

La progettazione delle infrastrutture, la pianificazione urbana, l'agricoltura e la salute pubblica traggono tutti beneficio dalla considerazione degli scenari climatici futuri. Ad esempio, le città potrebbero investire in sistemi di trasporto resistenti alle inondazioni o progettare edifici più adatti ai climi più caldi.

4. Supportare la valutazione del rischio

Dati climatici affidabili consentono valutazioni complete del rischio quantificando la probabilità e le potenziali conseguenze dei pericoli climatici. Ciò aiuta governi e organizzazioni a stabilire le priorità delle azioni di adattamento e ad allocare le risorse in modo efficace.

5. Creare fiducia e promuovere il coinvolgimento

Informazioni trasparenti e accessibili sul clima possono rafforzare la fiducia tra le parti interessate e le comunità. Incoraggiano una partecipazione informata, supportano il dialogo e facilitano la collaborazione nello sviluppo di strategie di adattamento rilevanti a livello locale.

1.4 Panoramica del progetto

Quanto sopra sottolinea il ruolo fondamentale delle informazioni climatiche per un'efficace pianificazione dell'adattamento.

La logica alla base di ciò è facile da comprendere: la conoscenza delle condizioni climatiche future ci consente di effettuare investimenti consapevoli. Ad esempio, le proiezioni che indicano un costante calo delle precipitazioni medie nei prossimi decenni possono indurre a investire in colture resistenti alla siccità o in sistemi di gestione idrica migliorati. Queste informazioni a lungo termine sono essenziali per la pianificazione strategica dell'adattamento, consentendo alle comunità e ai decisori di investire saggiamente nella costruzione della resilienza ai rischi climatici. Nonostante l'apparente valore di questi servizi e delle informazioni che forniscono, prevedere il futuro, soprattutto su periodi più lunghi, presenta sfide sia in termini di complessità che di affidabilità. Come discusso in precedenza, i modelli climatici sono fondamentali per fornire questo tipo di previsione.

Per garantire che le proiezioni climatiche siano il più possibile pertinenti e accurate per specifiche località, vengono impiegati diversi approcci e tecniche. Tra questi, uno degli approcci più efficaci consiste nell'utilizzare i dati storici osservati per rendere i risultati dei modelli climatici più utili (ovvero meno distorti e con una maggiore risoluzione spaziale) attraverso il downscaling statistico. Tuttavia, l'applicazione di questo approccio su scala globale è ostacolata dalla disponibilità di dati storici osservati affidabili, che idealmente dovrebbero coprire almeno 20-30 anni; ciò costituisce una limitazione in molte parti del mondo, dove le osservazioni sono scarse. Fortunatamente, per la regione Veneto, l'Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale (ARPAV) e CondifesaTVB hanno facilitato l'accesso a dati storici essenziali osservati in numerose località. Ciò ha consentito la "personalizzazione" dei modelli climatici per la provincia di Treviso.

Basandosi sulla fornitura di scenari climatici futuri adattati a scala locale attraverso il downscaling statistico, è possibile ricavare indicatori climatici specifici cruciali per settori mirati, di cui la viticoltura è il nostro obiettivo principale. Gli indicatori climatici selezionati sono essenziali in quanto ci consentono di comprendere come i cambiamenti nelle variabili climatiche, quali temperatura e precipitazioni, potrebbero influenzare la coltivazione della vite e la sostenibilità complessiva del settore. Pertanto, come delineato nella prefazione di questo documento, il progetto mira a fornire informazioni climatiche a lungo termine per diverse località del Veneto e adattate a un settore specifico, la viticoltura, a supporto delle valutazioni del rischio. La disponibilità di dati meteorologici storici e il loro utilizzo per la metodologia di downscaling hanno reso questo lavoro tecnicamente solido e unico. Le proiezioni climatiche generate in questo studio consistono in valori giornalieri di temperatura, precipitazioni e umidità relativa per diverse località nella provincia di Treviso, per vari modelli e scenari climatici fino alla fine del secolo, che possono essere utilizzati per diverse analisi a valle. La valutazione della qualità della metodologia di downscaling statistico si è concentrata specificamente sugli indicatori climatici relativi alla viticoltura.

Pertanto, sebbene le proiezioni climatiche generate possano supportare diverse applicazioni come la modellazione idrologica ed epidemiologica, non possiamo garantirne la qualità per scopi esterni al settore viticolo.



02

Clima attuale e pericoli climatici rilevanti per la viticoltura

Scenari climatici futuri con downscaling statistico per la valutazione del rischio nella viticoltura trevigiana

2.1 Clima osservato

Per studiare il clima in provincia di Treviso nel passato, consideriamo un set di 24 stazioni meteorologiche con misurazioni giornaliere di temperatura, precipitazioni e umidità relativa a partire almeno dal 1991 (vedi Allegato 1 per maggiori dettagli).

Abbiamo selezionato il periodo 1991-2020 come periodo di riferimento per le nostre analisi i) per massimizzare la sovrapposizione con altri set di dati necessari per il downscaling, ii) per avere un set di dati sufficientemente lungo da consentire l'addestramento dei metodi di downscaling (30 anni) e iii) per assemblare il maggior numero possibile di stazioni. Le stazioni meteorologiche utilizzate in questo studio sono illustrate in Figura 4.

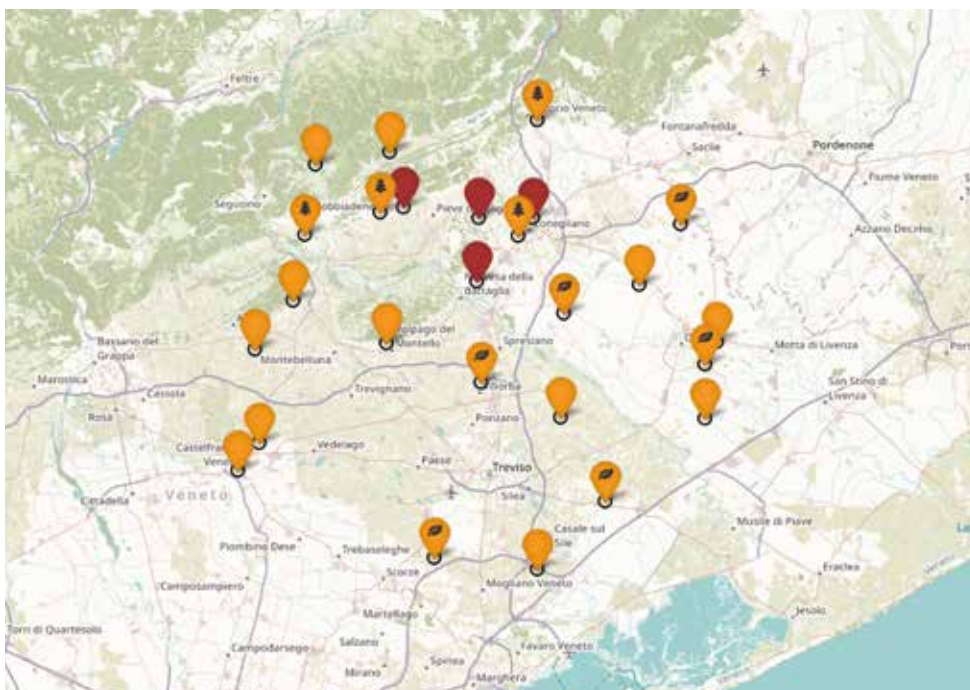


Figura 4

Tutte le stazioni di monitoraggio incluse nello studio sono mappate (ARPAV in arancione; CondifesaTVB in rosso). Un sottoinsieme più piccolo di stazioni, selezionate per le analisi comparative tra aree collinari e aree pianeggianti, è evidenziato con icone ad albero (siti collinari) e a foglia (siti pianeggianti).

2.1/1 **Panoramica generale**

Il clima in provincia di Treviso è cambiato negli ultimi 30 anni, in particolare per quanto riguarda le temperature. Secondo le nostre analisi, le temperature medie, massime e minime giornaliere sono aumentate a un tasso di 0,04-0,12 °C/anno (a seconda della stazione), pari a circa mezzo grado ogni decennio per metà delle stazioni. Seguendo questa logica, significa che una persona nata nel 1992, ad esempio a Villorba, avrebbe potuto sperimentare, in media, una temperatura media annua fino a 1,5 °C inferiore rispetto a una persona nata nel 2021. Le stazioni che hanno registrato il maggiore aumento della media annua delle temperature medie giornaliere sono state quelle di Farra di Soligo e Volpago del Montello. In generale, abbiamo rilevato un aumento coerente e statisticamente rilevante della media annua delle temperature medie, massime e minime giornaliere per tutte le stazioni analizzate. Abbiamo anche riscontrato variazioni statisticamente significative nelle precipitazioni cumulate annue, in particolare per le stazioni situate in zone collinari, come Vittorio Veneto. L'umidità relativa sembra diminuire a un tasso dell'1% all'anno in stazioni come Conegliano e Tezze.

Questi risultati locali sono riecheggianti dai modelli spaziali più ampi riassunti nella Tabella 1, che mostra le condizioni climatiche medie per stazioni rappresentative di collina e pianura nel periodo 1991-2020. Le aree pianeggianti hanno mostrato valori di temperatura massima giornaliera più elevati, riflettendo potenzialmente un riscaldamento più intenso durante i periodi più caldi. Le stazioni di collina hanno anche ricevuto una piovosità annua notevolmente maggiore (1335,9 mm contro 1073,9 mm), mentre l'umidità relativa è stata costantemente inferiore nelle aree collinari (71,2%) rispetto alle pianure (79%), in linea con le tendenze decrescenti dell'umidità osservate in stazioni come Conegliano e Tezze.

Nel complesso, questi risultati confermano che i cambiamenti climatici osservati non sono solo specifici delle singole stazioni, ma mostrano anche modelli geografici coerenti, in particolare con il riscaldamento che interessa sia le aree collinari che quelle pianeggianti e con l'umidità in calo in tutte le stazioni rappresentative. La codifica a colori nella Tabella 1 sottolinea ulteriormente la robustezza statistica di questi trend, con la maggior parte delle variabili che mostra cambiamenti coerenti e significativi nelle stazioni selezionate.

2.1/1 Panoramica generale

	Collina	Pianura
Temperatura media giornaliera (Tmean, °C)	13,6	13,2
Temperatura massima giornaliera (Tmax, °C)	18,0	18,8
Temperatura minima giornaliera (Tmin, °C)	9,8	8,3
Precipitazioni annuali cumulate (Pr, mm/a)	1335,9	1073,9
Umidità relativa media giornaliera (Rel. Hum., %)	71,2	79

Tabella 1

Riepilogo per le cinque variabili meteorologiche considerate nel periodo 1991-2020. I numeri rappresentano la media delle stazioni selezionate di collina e di pianura (Valdobbiadene-Bigolino, Farra di Soligo, Vittorio Veneto e Conegliano sono rappresentative delle stazioni di collina e Villorba, Vazzola-Tezze, Gaarine, Zero Branco, Roncade e Oderzo sono rappresentative delle stazioni di pianura).

I colori rappresentano la significatività delle tendenze (rosso se tutte le stazioni selezionate presentano tendenze statisticamente significative, arancione se tutte le stazioni tranne una presentano tendenze statisticamente significative, nero se meno stazioni presentano tendenze statisticamente significative). Si noti che si riscontrano tendenze crescenti per le tre temperature e decrescenti per l'umidità relativa (vedere Fig. 5-9).

2.1/2 Riepilogo tecnico

La Tabella 2 riassume i valori medi (e la loro variabilità) delle variabili meteorologiche di interesse per il periodo 1991-2020 per un sottoinsieme di stazioni, situate in aree collinari o pianeggianti. Queste stazioni saranno considerate per analisi più dettagliate nelle sezioni successive.

	Valdobbiadene Bigolino	Farra di Soligo	Vittorio Veneto	Conegliano	Villorba	Vazzola Tezze	Gaiarine	Zero Branco	Roncade	Oderzo
	225 m s.l.m.	169 m s.l.m.	123 m s.l.m.	90 m s.l.m.	41 m s.l.m.	40 m s.l.m.	17 m s.l.m.	12 m s.l.m.	7 m s.l.m.	7 m s.l.m.
Tmean °C	13,2 (0,6)	13,2 (0,5)	13,9 (0,7)	14,5 (1,0)	13,0 (0,7)	13,3 (0,6)	13,4 (0,6)	13,3 (0,7)	13,2 (0,7)	13,1 (0,6)
Tmax °C	17,4 (0,6)	18,1 (0,6)	18,5 (0,8)	18,4 (1,1)	18,8 (0,7)	18,7 (0,6)	19,1 (0,7)	18,8 (0,6)	18,7 (0,7)	18,7 (0,7)
Tmin °C	9,7 (0,6)	8,9 (0,6)	10,0 (0,7)	10,9 (0,9)	8,0 (0,8)	8,3 (0,8)	8,2 (0,6)	8,6 (0,9)	8,5 (0,9)	8,1 (0,7)
Pr mm/a	1406,4 (431,3)	1458,7 (452,7)	1049,0 (745,9)	1216,3 (296,1)	1050,1 (315,7)	1129,8 (345,6)	1169,0 (370,7)	910,9 (299,5)	985,7 (314,9)	946,8 (315,7)
Rel. Hum. %	71,5 (3,9)	74,6 (3,3)	70,4 (4,5)	68,6 (4,1)	79,0 (3,2)	78,5 (3,5)	78,6 (3,2)	79,1 (3,1)	79,7 (2,7)	79,6 (2,6)

Tabella 2

Riepilogo per le cinque variabili meteorologiche e le 10 stazioni campione considerate. Valdobbiadene-Bigolino, Farra di Soligo, Vittorio Veneto e Conegliano sono rappresentative delle stazioni di collina, mentre Villorba, Vazzola-Tezze, Gaiarine, Zero Branco, Roncade e Oderzo sono rappresentative delle stazioni di pianura (l'altitudine sul livello del mare è indicata insieme al nome della stazione). I numeri rappresentano il valore medio e la deviazione standard (tra parentesi) nel periodo 1991-2020 per ciascuna variabile e stazione.

2.1/2 Riepilogo tecnico

Le Figure 5-9 mostrano le condizioni climatiche generali nel periodo 1991-2020 nella regione, ovvero i valori medi annui delle temperature medie, massime e minime giornaliere, dell'umidità relativa e delle precipitazioni cumulate annuali. Le temperature medie, massime e minime giornaliere variano nella maggior parte delle stazioni (il 90% di esse) rispettivamente tra 12-14,5 °C, 17-19 °C, 8-11 °C (Figure 5, 6 e 7, riquadri in alto a sinistra), ad eccezione di Monte Cesen dove i valori sono significativamente inferiori. Tendenze crescenti osservate della temperatura media e minima giornaliera sono evidenti nella maggior parte delle stazioni (Figure 5 e 7). Le tendenze della temperatura massima sono statisticamente significative in un numero inferiore di stazioni, ma fino a 0,1 °C/anno a Volpago del Montello, Valdobbiadene - Bigolino e altre stazioni di bassa quota (Fig. 6). L'andamento negativo a Follina Antincendio (di circa 0,15 °C) potrebbe essere dovuto a cambiamenti nell'assetto della stazione meteorologica, pertanto non deve essere preso in considerazione.

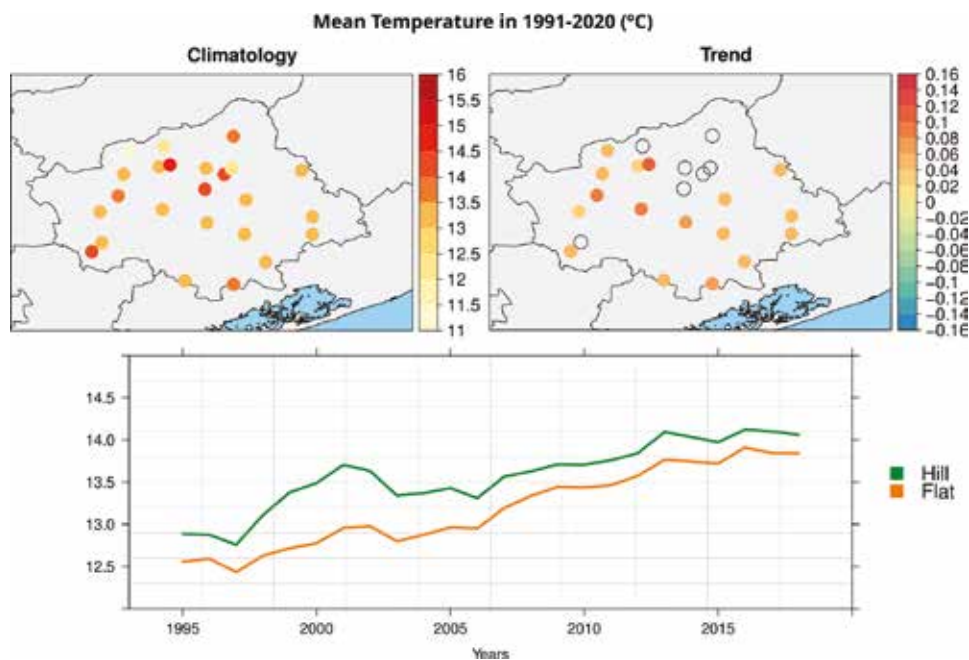


Figura 5

Valori medi annui della temperatura media giornaliera nel periodo 1991-2020 (riquadro in alto a sinistra) e relative tendenze nello stesso periodo (riquadro in alto a destra). Le tendenze rappresentano le pendenze del modello lineare adattato con la serie temporale interannuale; i cerchi vuoti indicano tendenze non statisticamente significative per un livello di confidenza del 95%. (Riquadro in basso) Evoluzione temporale della temperatura media annuale nel periodo 1993-2020. Le linee rappresentano la media di quattro stazioni situate in collina (linea verde; corrispondenti a: Valdobbiadene - Bigolino, Farra di Soligo, Vittorio Veneto e Conegliano) e di sei stazioni situate in pianura (linea arancione; corrispondenti a: Villorba, Vazzola - Tezze, Gaiarine, Zero Branco, Roncade e Oderzo). La serie temporale media trentennale è stata livellata utilizzando una finestra mobile di 5 anni. Si veda la Tabella 2 per maggiori dettagli sulle stazioni selezionate.

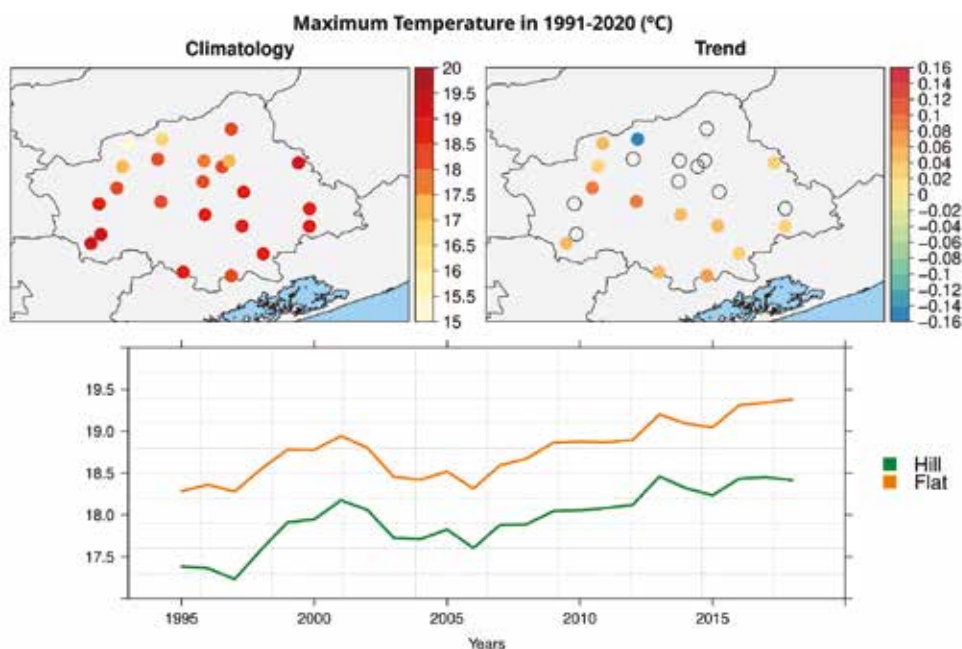


Figura 6

Come Fig. 5
ma riferita alla
temperatura
massima giornaliera.

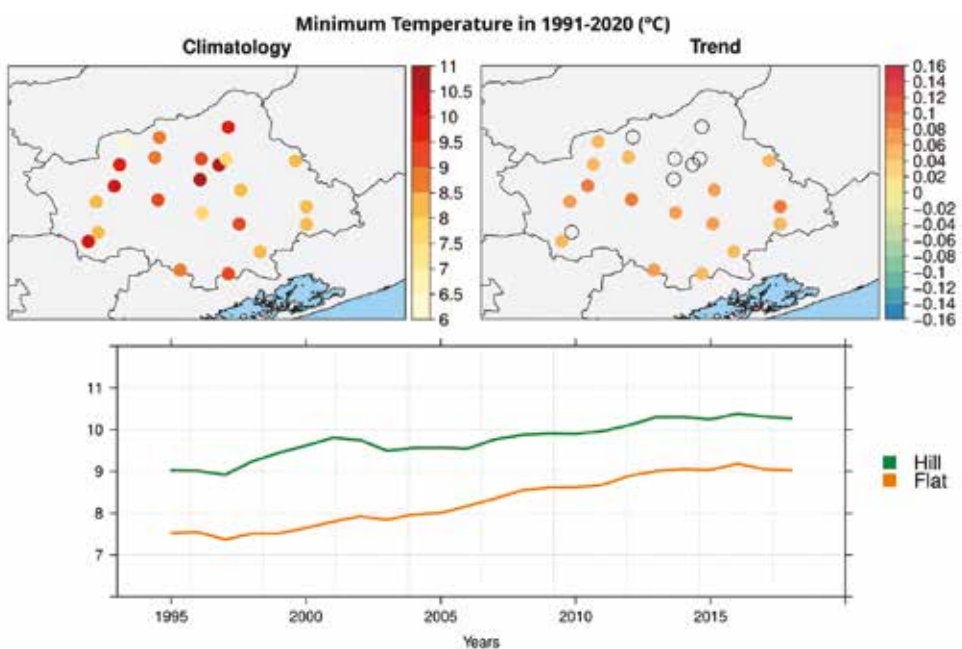


Figura 7

Come Fig. 5
ma riferita alla
temperatura
minima giornaliera.

2.1/2 Riepilogo tecnico

Le precipitazioni annuali cumulate mostrano un chiaro andamento orografico, con i quantitativi più elevati accumulati in prossimità delle Alpi e delle colline (Fig. 8). Nel complesso, le precipitazioni sono aumentate dagli anni '90 al 2010 e sono diminuite nell'ultimo decennio. L'umidità relativa è più elevata nelle località più vicine al Mar Adriatico e sul Monte Cesen (Fig. 9). Ha mostrato una tendenza decrescente, particolarmente accentuata dagli anni '90 al 2010, sebbene sia statisticamente significativa solo in alcune stazioni come Conegliano, Villorba, Vazzola - Tezze e Gaarine.

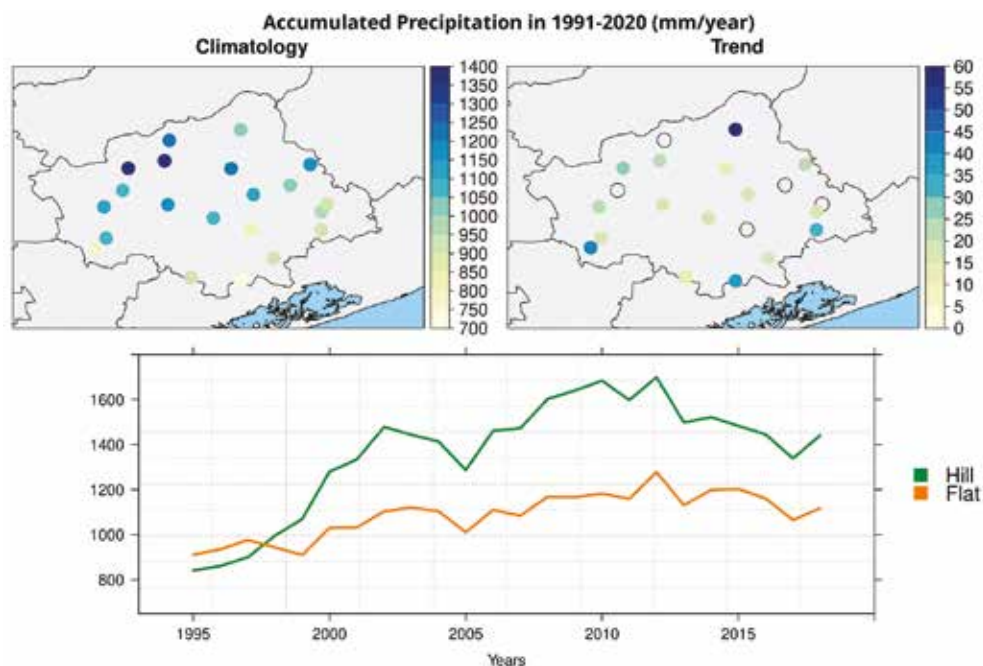


Figura 8

Come Fig.5 ma riferita alle precipitazioni annuali cumulate in mm.

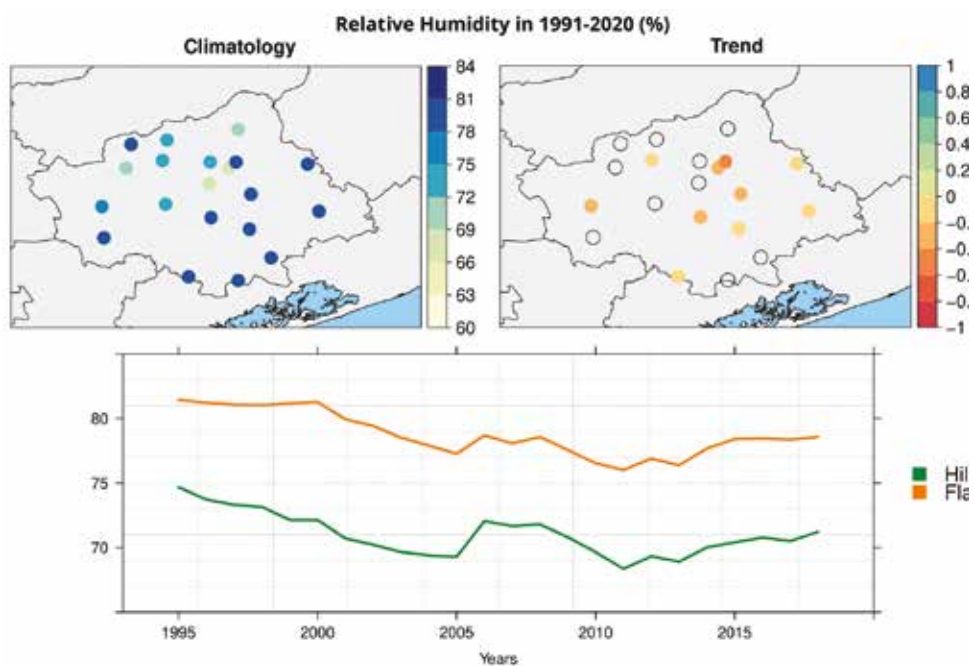


Figura 9

Come Fig.5 ma
riferita all'umidità
relativa in %.

2.2 Pericoli climatici attuali rilevanti per la viticoltura

In collaborazione con il Consorzio di Tutela Conegliano Valdobbiadene Prosecco, sono stati individuati degli indici climatici rilevanti per la viticoltura. Tali indicatori sono elencati nella Tabella 4 e sono stati calcolati considerando l'andamento stagionale delle uve (da aprile a settembre).

2.2/1 Panoramica generale

Tra aprile e settembre, le temperature medie sono aumentate sia nelle stazioni collinari sia in quelle pianeggianti. All'inizio degli anni '90, la temperatura media giornaliera per questo periodo era inferiore di circa 1,5 °C rispetto al 2020 nella maggior parte delle stazioni.

Tuttavia, tra tutti gli indici relativi alla temperatura, solo l'aumento delle notti calde è statisticamente significativo (evidenziato a colori nella Tabella 3). Queste tendenze al riscaldamento notturno sono particolarmente pronunciate nelle aree collinari, dove le stazioni hanno registrato una media di 50,1 giorni con temperature minime superiori a 18 °C e 23,4 giorni superiori a 20 °C. Le stazioni pianeggianti hanno registrato un numero significativamente inferiore di notti di questo tipo: rispettivamente 32,6 e 10,0 giorni. La significatività statistica di queste tendenze (valori colorati) suggerisce un deciso spostamento verso notti più calde, che può influenzare la maturazione dell'uva, l'acidità e la dinamica delle malattie.

Al contrario, mentre il numero di giorni caldi e ondate di calore appare più elevato nelle aree pianeggianti – in particolare il numero di giorni con temperature massime superiori a 30 °C, con 41,4 giorni rispetto ai 28,1 nelle aree collinari – le tendenze non sono statisticamente significative. Analogamente, il numero medio di ondate di calore rimane relativamente basso in entrambe le zone, il che suggerisce che l'aumento degli estremi giornalieri non si è ancora tradotto in eventi di calore più duraturi.

Le precipitazioni sono costantemente più elevate nelle stazioni collinari in tutti i mesi della stagione vegetativa, con differenze notevoli a maggio (146,2 mm in collina contro 111,0 mm in pianura) e agosto (137,2 mm contro 89,9 mm). Le aree collinari registrano anche un maggior numero di giorni piovosi (precipitazioni giornaliere superiori a 5 mm) e periodi di siccità leggermente più brevi, ma queste differenze, sebbene potenzialmente rilevanti dal punto di vista agronomico, non sono statisticamente significative.

Un risultato chiave è la diminuzione statisticamente significativa del numero di giorni con elevata umidità relativa (superiore all'85%), a un tasso di circa 4-8 giorni per decennio. Questa tendenza decrescente indica condizioni atmosferiche più asciutte, che possono ridurre il rischio di malattie, ma aumentano il fabbisogno irriguo e lo stress idrico durante le fasi cruciali di crescita della vite. La Tabella 3 fornisce una sintesi di questi risultati, mostrando che, mentre diverse variabili suggeriscono un riscaldamento e un cambiamento climatico durante la stagione di crescita dell'uva, solo le temperature notturne e l'umidità relativa (nelle aree pianeggianti) mostrano tendenze solide e statisticamente significative.

Questi indicatori sono particolarmente rilevanti per la pianificazione e l'adattamento vitivinicolo in provincia di Treviso.

2.2/1 Panoramica generale

	Collina	Pianura
Temperatura media giornaliera (Tmean, °C)	19,6	19,5
Numero di giorni con Tmax > 30 °C (giorni)	28,1	41,4
Numero di giorni con Tmax > 35 °C (giorni)	1,5	3,8
Numero di eventi con almeno 5 giorni con Tmax > 30 (# HWs)	2,2	3,0
Numero di eventi con almeno 3 giorni con Tmax > 35 (# HWs)	0,5	0,7
Numero di notti con Tmin > 18 °C (giorni)	50,1	32,6
Numero di notti con Tmin > 20 °C (giorni)	23,4	10,0
Numero di giorni con Precip > 5 mm (giorni)	36,6	29,6
Numero medio di giorni consecutivi con Precip <1 mm (giorni)	4,2	4,8
Somma delle precipitazioni per aprile (mm)	123,6	93,0
Somma delle precipitazioni per maggio (mm)	146,2	111,0
Somma delle precipitazioni per giugno (mm)	131,0	96,8
Somma delle precipitazioni per luglio (mm)	109,3	81,8
Somma delle precipitazioni per agosto (mm)	137,2	89,9
Somma delle precipitazioni per settembre (mm)	135,2	114,6
Numero di giorni con umidità relativa > 85% (giorni)	21,3	31,3

Tabella 3

 Come nella Tabella 1, ma riferita agli indici climatici nel periodo aprile-settembre. In questo caso si riscontrano tendenze crescenti (numeri colorati) per gli indici relativi alla temperatura e tendenze decrescenti per il numero di giorni con umidità relativa > 85%.

2.2/2 Riepilogo tecnico

Questa sezione mostra i valori osservati per una serie di pericoli climatici rilevanti per la viticoltura (Tabella 4). A tal fine, vengono considerati solo i mesi da aprile a settembre. Le condizioni medie e la loro variazione per le 10 stazioni selezionate si trovano in Tabella 5.

Indice	Variabile	Descrizione
Tmean	Temperatura media giornaliera	Temperatura media giornaliera (apr-set)
TX30	Temperatura massima giornaliera	Numero di giorni (apr-set) con Tmax > 30 °C
TX35	Temperatura massima giornaliera	Numero di giorni (apr-set) con Tmax > 35 °C
HW30	Temperatura massima giornaliera	Numero di eventi (apr-set) con almeno 5 giorni consecutivi con Tmax > 30
HW35	Temperatura massima giornaliera	Numero di eventi (apr-set) con almeno 3 giorni consecutivi con Tmax > 35
TN18	Temperatura minima giornaliera	Numero di giorni (apr-set) con Tmin > 18 °C
TN20	Temperatura minima giornaliera	Numero di giorni (apr-set) con Tmin > 20 °C
PR5	Precipitazioni giornaliere cumulate	Numero di giorni (apr-set) con precipitazioni (Precip) > 5 mm
CDD	Precipitazioni giornaliere cumulate	Numero medio di giorni consecutivi con precipitazioni (Precip) <1 mm (apr-set)
PrAccX	Precipitazioni giornaliere cumulate	Somma delle precipitazioni per il mese X
HU85	Umidità relativa media giornaliera	Numero di giorni (apr-set) con Umidità Rel. (Rel.Hum.) > 85%

Tabella 4

Indici climatici che rappresentano pericoli climatici rilevanti per la viticoltura.

	Valdobbiadene Bigolino	Farra di Soligo	Vittorio Veneto	Conegliano	Villorba	Vazzola Tezze	Gaiarine	Zero Branco	Roncade	Oderzo
	225 m s.l.m.	169 m s.l.m.	123 m s.l.m.	90 m s.l.m.	41 m s.l.m.	40 m s.l.m.	17 m s.l.m.	12 m s.l.m.	7 m s.l.m.	7 m s.l.m.
Tmean °C	19,1 (0,8)	19,1 (0,7)	19,9 (0,8)	20,2 (0,9)	19,3 (0,8)	19,5 (0,7)	19,8 (0,8)	19,6 (0,8)	19,3 (0,8)	19,5 (0,9)
TX30 giorni	20,8 (10,5)	27,6 (11,3)	33,3 (14,1)	31,0 (14,6)	43,5 (14,3)	37,6 (11,5)	43,7 (15,2)	43,2 (15,8)	38,1 (13,9)	41,6 (14,2)
TX35 Giorni	0,6 (1,6)	1,2 (1,9)	2,4 (3,4)	2,0 (3,2)	4,3 (5,2)	2,4 (2,9)	4,5 (4,8)	4,5 (4,5)	3,1 (3,6)	3,6 (4,9)
HW30 # HWs	1,7 (1,1)	2,2 (1,2)	2,6 (1,3)	2,3 (1,3)	3,1 (1,3)	2,9 (1,2)	3,2 (1,2)	3,0 (1,5)	2,8 (1,2)	3,0 (1,2)
HW35 # HWs	0,3 (0,5)	0,4 (0,5)	0,4 (0,5)	0,7 (0,8)	0,7 (0,9)	0,4 (0,7)	0,8 (1,0)	0,8 (0,8)	0,7 (0,7)	0,5 (0,7)
TN18 giorni	48,3 (15,7)	32,0 (12,8)	54,8 (14,6)	63,7 (15,0)	30,5 (14,9)	29,9 (13,9)	31,9 (12,9)	35,8 (17,9)	28,2 (14,0)	36,5 (18,6)
TN20 giorni	21,2 (11,3)	10,4 (7,6)	26,3 (10,9)	34,7 (14,0)	8,9 (7,8)	8,5 (7,2)	9,7 (7,6)	11,3 (9,0)	7,5 (6,4)	12,7 (11,0)
PR5 giorni	36,8 (6,9)	37,9 (6,7)	37,6 (6,6)	33,2 (6,4)	30,2 (5,4)	31,9 (6,5)	32,5 (6,2)	27,1 (6,5)	26,2 (6,9)	28,6 (6,2)
CDD giorni	4,1 (0,6)	4,2 (0,5)	4,0 (0,6)	4,4 (0,5)	4,7 (0,8)	4,6 (0,7)	4,4 (0,6)	5,2 (0,7)	5,1 (0,7)	4,8 (0,8)
Pr Apr mm	128,8 (74,6)	130,7 (83,9)	124,8 (86,0)	104,7 (60,8)	96,3 (56,2)	98,1 (53,4)	102,8 (61,2)	82,4 (44,5)	83,9 (48,5)	90,2 (53,3)
Pr Mag mm	149,9 (83,7)	153,1 (96,1)	145,5 (71,1)	128,1 (78,7)	111,7 (65,8)	115,2 (68,3)	117,8 (68,6)	94,1 (65,6)	100,7 (69,4)	110,5 (66,2)
Pr Giu mm	137,3 (70,6)	136,0 (69,5)	137,2 (73,1)	115,3 (57,6)	98,2 (49,1)	110,3 (53,5)	102,0 (51,9)	91,5 (53,3)	86,9 (41,1)	91,2 (49,6)
Pr Lug mm	137,3 (70,6)	136,0 (69,5)	137,2 (73,1)	115,3 (57,6)	98,2 (49,1)	110,3 (53,5)	102,0 (51,9)	91,5 (53,3)	86,9 (41,1)	91,2 (49,6)
Pr Ago mm	126,1 (71,6)	145,8 (84,2)	153,3 (80,5)	113,5 (66,0)	87,9 (45,7)	100,6 (65,5)	105,1 (58,0)	77,1 (42,5)	80,1 (45,0)	82,0 (50,2)
Pr Set mm	126,8 (56,5)	152,2 (58,1)	139,7 (60,7)	120,0 (61,0)	115,8 (56,5)	128,6 (61,3)	123,3 (59,2)	96,0 (47,0)	107,0 (58,9)	109,0 (51,2)
HU85 giorni	23,7 (11,5)	26,4 (12,7)	17,3 (14,1)	18,4 (11,4)	31,9 (17,4)	34,0 (16,1)	30,5 (13,0)	30,1 (16,9)	30,9 (14,0)	33,2 (14,9)

Tabella 5

Come la Tabella 2 ma riferita agli indici rilevanti per la viticoltura, nel periodo aprile-settembre.

	Valdobbiadene Bigolino	Farra di Soligo	Vittorio Veneto	Conegliano	Villorba	Vazzola Tezze	Gaiarine	Zero Branco	Roncade	Oderzo
	225 m s.l.m.	169 m s.l.m.	123 m s.l.m.	90 m s.l.m.	41 m s.l.m.	40 m s.l.m.	17 m s.l.m.	12 m s.l.m.	7 m s.l.m.	7 m s.l.m.
HW30 # HWS	49	63	54	70	89	85	94	86	82	88
HW35 # HWS	2	5	5	10	16	9	18	20	14	12

Tabella 6

Numero totale di ondate di calore nel periodo 1991-2020 nelle 10 stazioni selezionate a titolo illustrativo.

2.2/2 Riepilogo tecnico

Indici correlati alla temperatura (Fig. 10–15)

- La temperatura media (Tmean, aprile-settembre) è aumentata in quasi tutte le stazioni, con tendenze statisticamente significative per la maggior parte di esse. Colline e pianura mostrano tendenze al rialzo simili, ma le stazioni di pianura presentano in genere temperature assolute leggermente più elevate.
- Gli estremi di calore (TX30, TX35, ondate di calore) si verificano generalmente più spesso nelle aree pianeggianti, sebbene solo poche tendenze siano statisticamente significative. In particolare, Villorba, Gaiarine e Zero Branco mostrano un aumento significativo del numero di eventi HW30 (ondate di calore di oltre 5 giorni consecutivi con temperatura massima > 30 °C). Al contrario, gli eventi HW35 (ondate di calore di oltre 3 giorni consecutivi con temperatura massima > 35 °C) sono rari in tutta la regione, verificandosi in media meno di una volta all'anno.
- Le notti calde (TN18, TN20) mostrano una tendenza costantemente in aumento nella maggior parte delle stazioni. In media, TN18 aumenta di circa 1 giorno all'anno, mentre TN20 aumenta di circa 1 giorno ogni due anni. È interessante notare che stazioni di collina come Valdobbiadene-Bigolino e Conegliano registrano un numero maggiore di queste notti calde rispetto a molte stazioni di pianura, il che suggerisce che anche le condizioni notturne nelle aree elevate stanno diventando più calde.

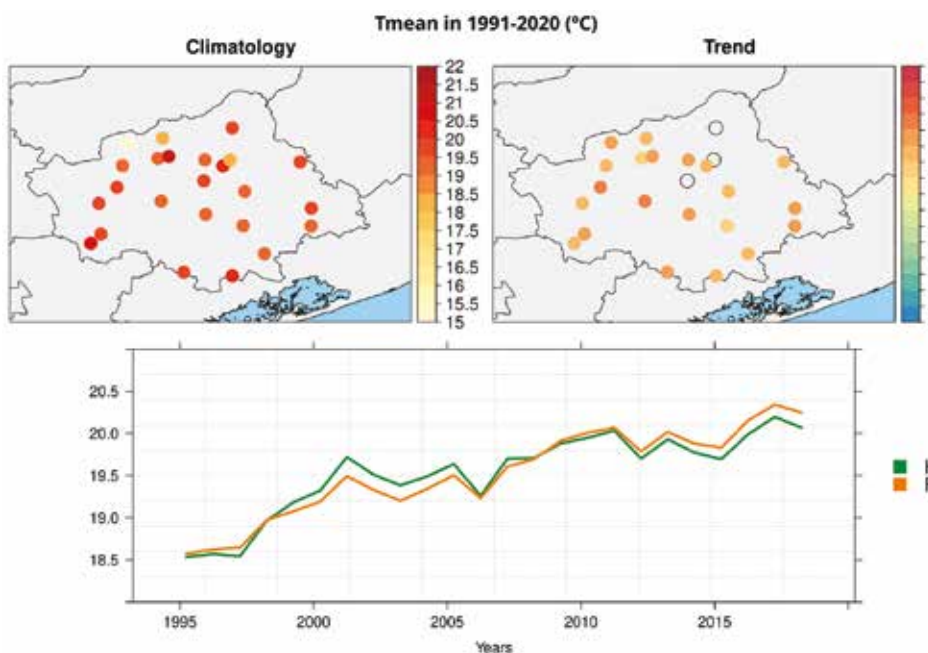


Figura 10

Come Fig.5 ma riferita alla Temperatura media in aprile - settembre.

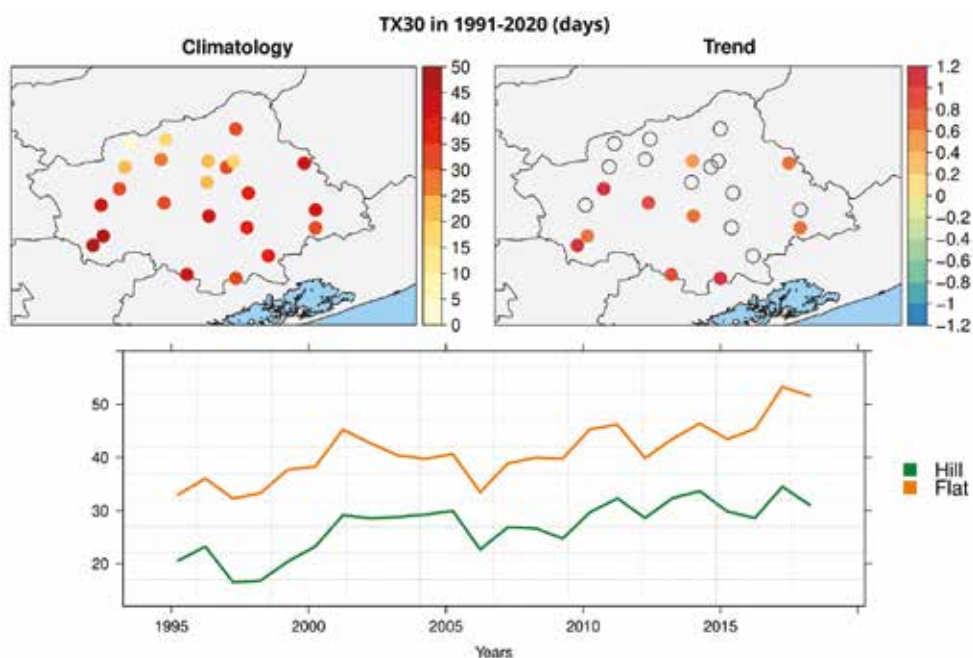


Figura 11

Come Fig.5 ma riferita a TX30 in aprile - settembre.

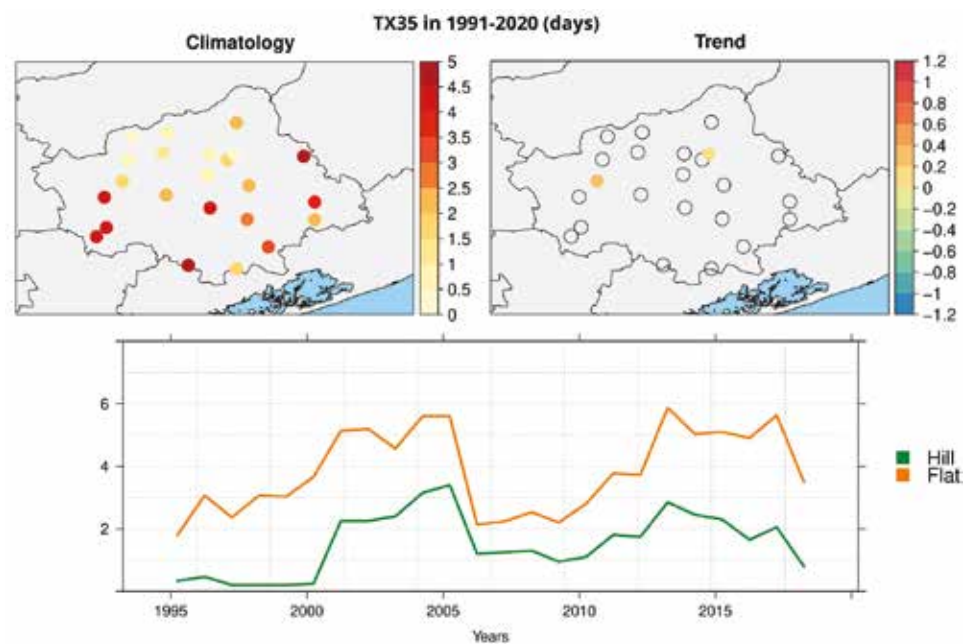


Figura 12

Come Fig.5 ma
riferita a TX35 in
aprile - settembre.

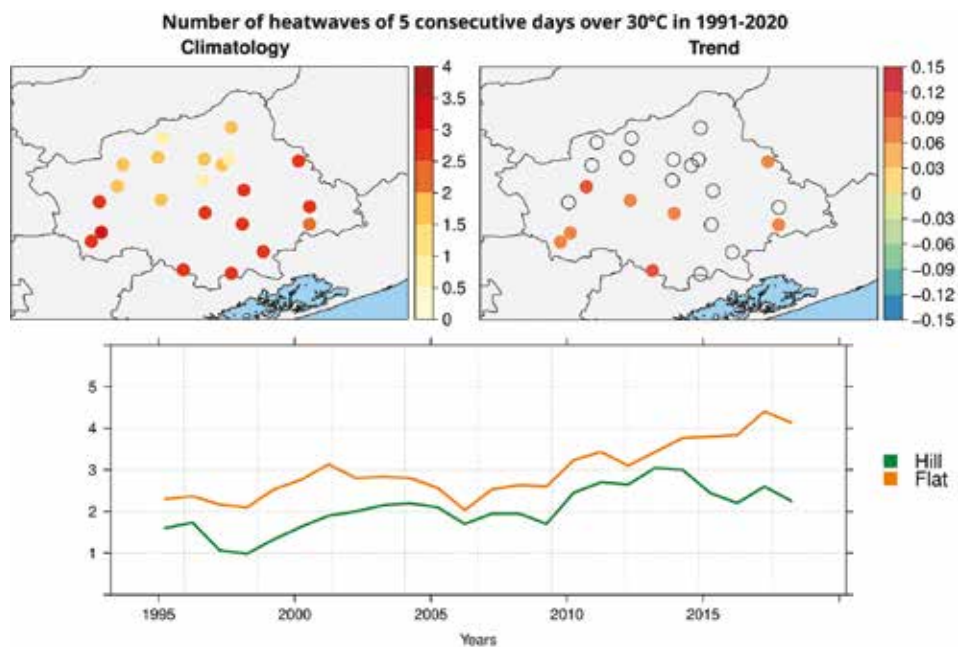


Figura 13

Come Fig.5 ma
riferita a HW30 in
aprile - settembre
(vedere la Tabella
6 per maggiori
dettagli).

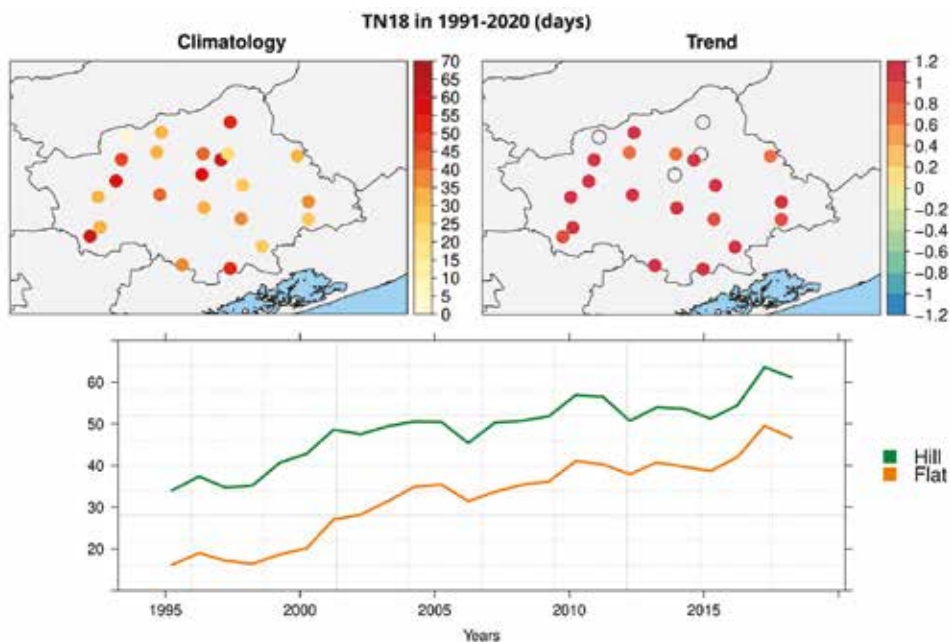


Figura 14

Come Fig.5 ma
riferita a TN18 in
aprile - settembre.

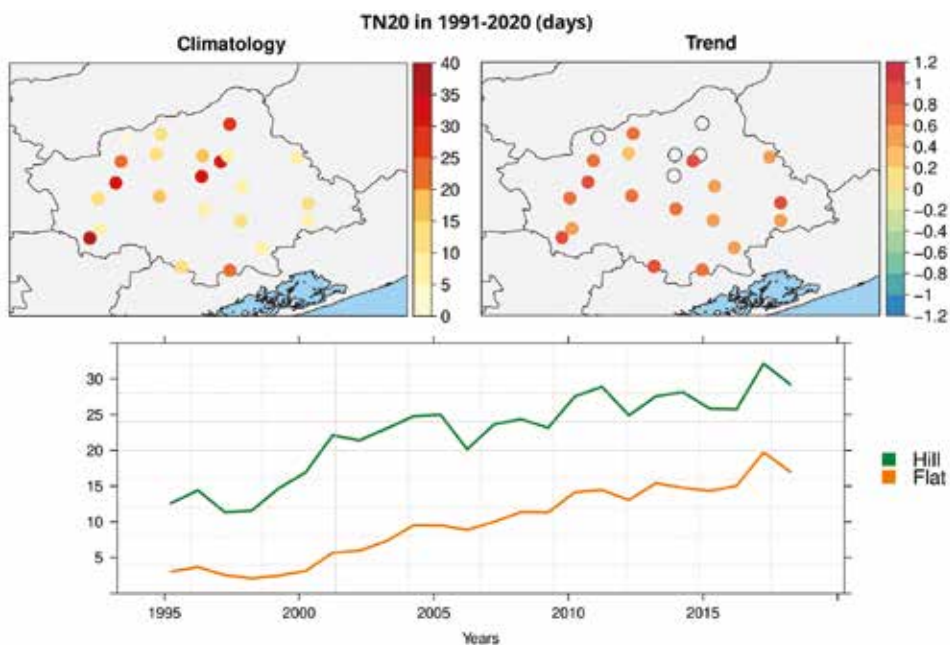


Figura 15

Come Fig.5 ma
riferita a TN20 in
aprile - settembre.

2.2/2 Riepilogo tecnico

Precipitazioni (Fig. 16-18)

- Il numero di giorni con accumuli superiori a 5 mm (PR5) è generalmente più elevato nelle stazioni collinari o montane, probabilmente a causa degli effetti orografici. Al contrario, i giorni consecutivi senza pioggia (Consecutive Dry Days, CDD) sono in genere più prolungati in pianura; ad esempio, Zero Branco registra in media circa 5 giorni asciutti consecutivi. Né PR5 né CDD mostrano un andamento statisticamente significativo nel periodo di studio.
- In tutte le stazioni, maggio e settembre si distinguono come i mesi con le maggiori precipitazioni totali durante la stagione vegetativa. Un chiaro andamento orografico persiste durante tutto l'anno, con le stazioni collinari che ricevono complessivamente più precipitazioni.
- Alcune stazioni (Farra di Soligo, Villorba, Gaiarine, Zero Branco e Roncade) mostrano una tendenza crescente delle precipitazioni di maggio, che in alcuni casi è significativa (vedere i punti colorati nella Fig. 18).

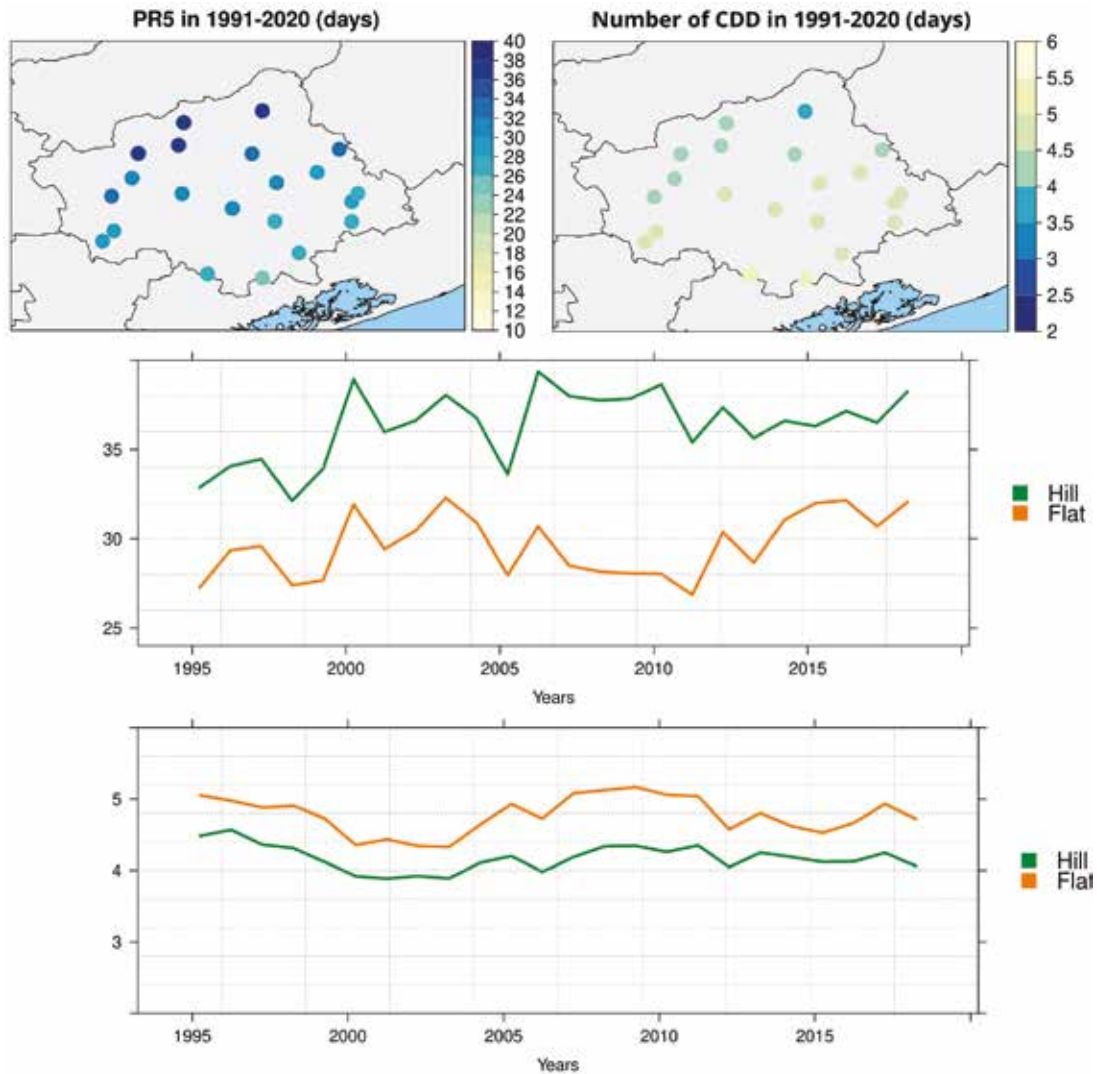


Figura 16

 Valori medi annuali di PR5 (riquadro in alto a sinistra) e CDD nel periodo aprile-settembre 1991-2020 (riquadro in alto a destra) e loro evoluzione temporale (riquadro centrale per PR5 e riquadro inferiore per CDD). Le tendenze di questi indicatori non sono statisticamente significative in nessuna stazione.

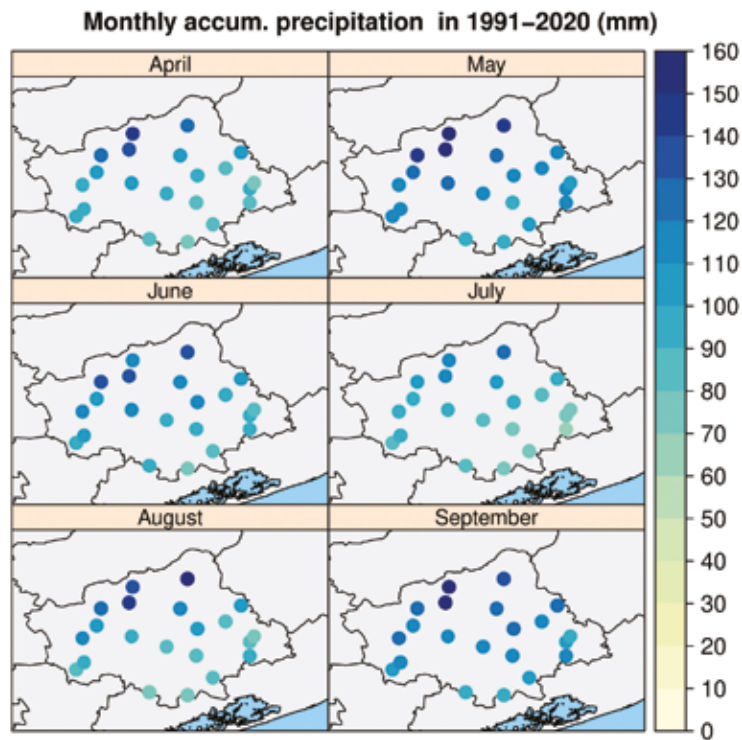


Figura 17

Precipitazioni mensili cumulate nel periodo aprile-settembre 1991-2020. Per alcune stazioni, le tendenze sono statisticamente significative solo a maggio (vedere Fig. 18).

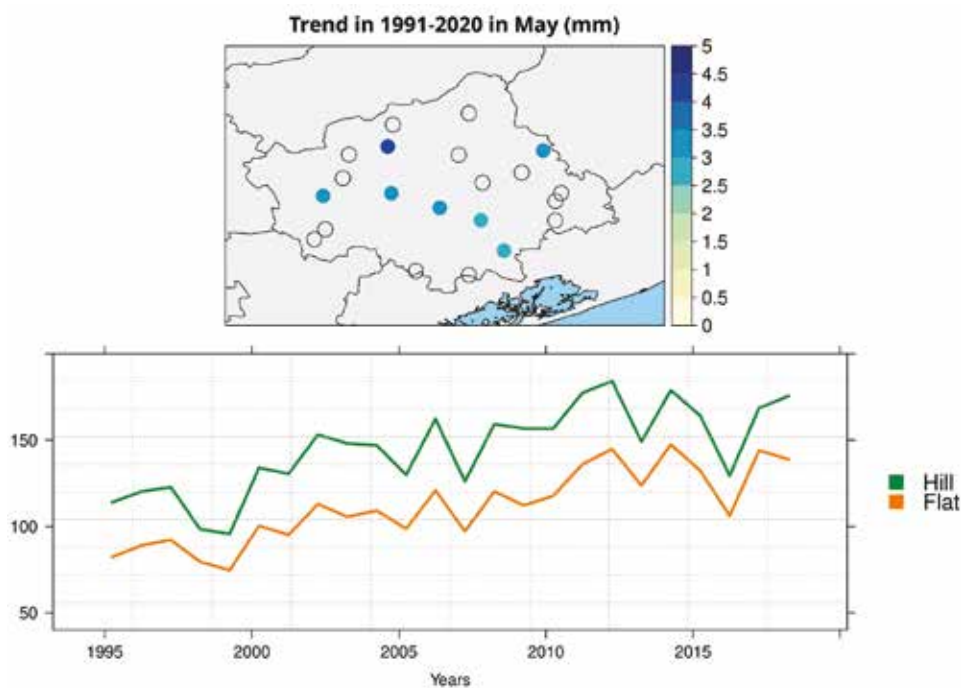
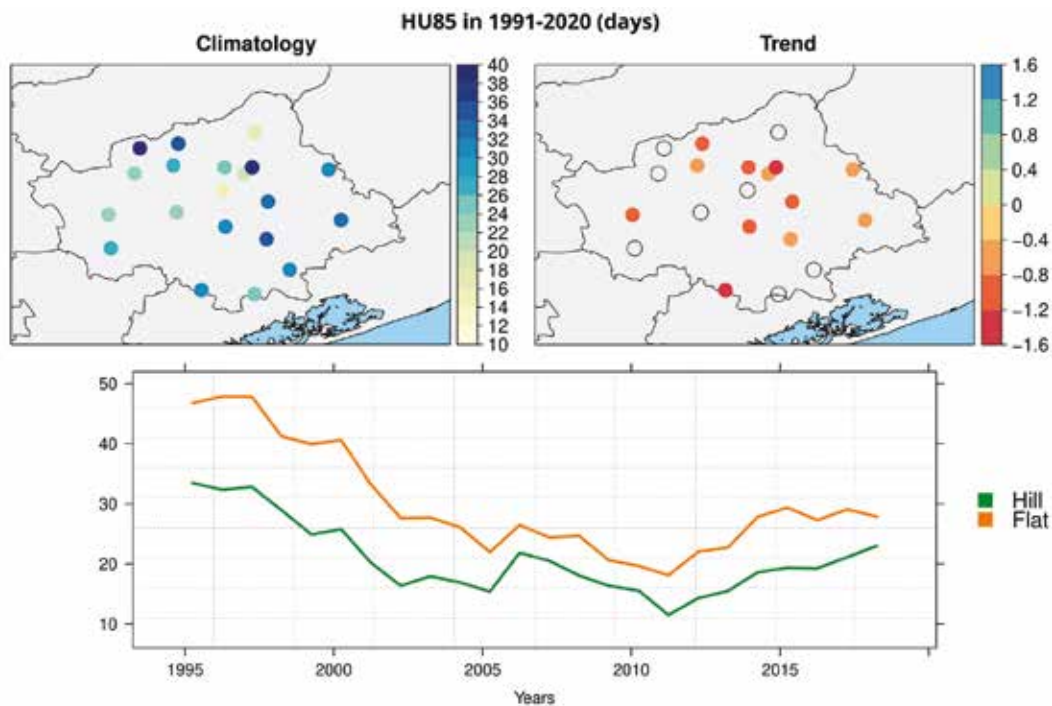


Figura 18

Tendenze (riquadro superiore) ed evoluzione temporale delle precipitazioni cumulate mensilmente (riquadro inferiore) nel mese di maggio (periodo 1991-2020).

Umidità relativa (Fig. 19)

- Il numero di giorni con umidità relativa media superiore all'85% (HU85) è mediamente compreso tra 20 e 40 giorni (aprile-settembre) nella maggior parte delle stazioni. Località come Monte Cesen e Ogliano (e alcune vicino alla costa) tendono a presentare i valori HU85 più elevati.
- In diverse stazioni, tra cui Farra di Soligo, Conegliano, Villorba, Vazzola-Tezze, Gaiarine, Zero Branco, Roncade e Oderzo, si osserva una significativa tendenza decrescente di HU85. Ciò suggerisce condizioni atmosferiche progressivamente più secche in molte parti della provincia di Treviso, il che potrebbe avere implicazioni sia sul rischio di malattie della vite che sulle esigenze irrigue.

**Figura 19**

Come Fig.5 ma riferita a HU85 in aprile - settembre.

2.3 Valutazione della metodologia di downscaling

I dati registrati dalle stazioni meteorologiche ARPAV e Condifesa sono stati utilizzati per “adattare” i dati climatici futuri, disponibili dai modelli climatici, alla realtà del Veneto e della provincia di Treviso e agli indicatori rilevanti per la viticoltura.

Ciò è stato possibile attraverso diverse tecniche statistiche, riassunte nell'Allegato 2. Come spiegato nel capitolo introduttivo, il downscaling statistico è stato utilizzato per generare dati climatici giornalieri futuri fino alla fine del secolo e secondo due diversi scenari climatici, basati sulla quantità di gas serra che l'umanità immetterà in atmosfera. Questi dati climatici giornalieri possono essere utilizzati per elaborare modelli di impatto, come modelli epidemiologici (per la modellazione delle malattie della vite).

2.3/1 Riepilogo tecnico

È stata condotta una valutazione esaustiva di diversi metodi di downscaling statistico utilizzando diversi set di predittori. In particolare, tutti i metodi e le configurazioni dei predittori sono stati testati concentrandosi specificamente sugli indici climatici rilevanti per la viticoltura (Tabella 4). I risultati per i set di predittori selezionati sono mostrati in Figura 20. Nel complesso, si riscontrano lievi distorsioni per gli indici di temperatura media e massima giornaliera, mentre si riscontrano prestazioni peggiori per gli indici relativi alla temperatura minima giornaliera. Distorsioni relativamente ridotte si riscontrano per le precipitazioni cumulate (la maggior parte delle quali inferiori al 10%) e per l'HU85 (inferiore a 5 giorni). Maggiori dettagli sulla distribuzione spaziale delle distorsioni nell'esperimento di validazione incrociata e sulla logica alla base dell'utilizzo della regressione lineare anziché dei metodi analoghi per le temperature sono disponibili nell'Allegato 2.

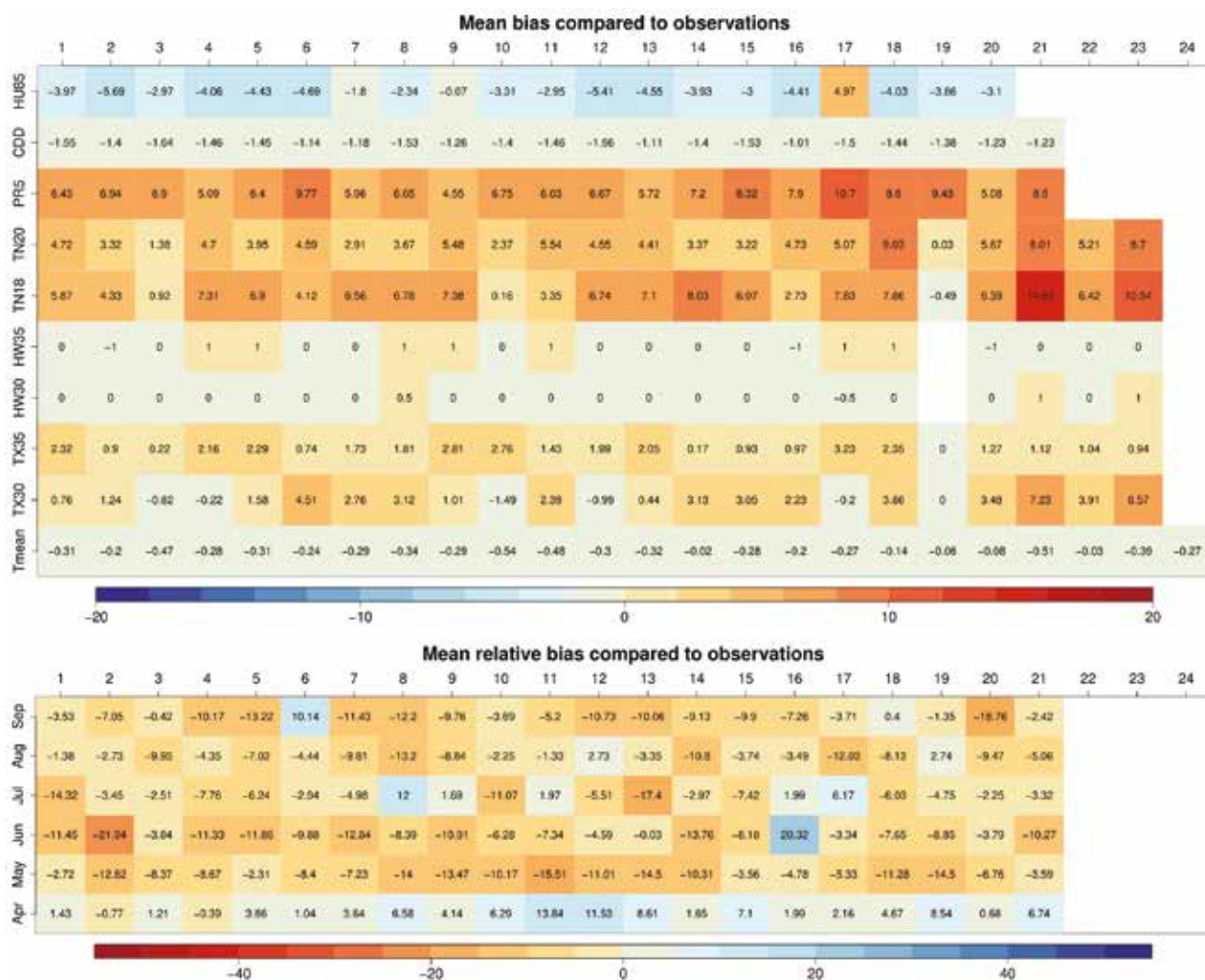


Figura 20

Valutazione complessiva dei metodi di downscaling e del set di predittori selezionato nell'esperimento di validazione incrociata. Ogni cella rappresenta la distorsione (deviazione media dei valori previsti, rispetto a quelli osservati, espressa in termini relativi nel riquadro inferiore) per ciascun pericolo climatico (righe) e stagione (colonne). Distorsione per Tmean in °C; per TX30, TX35, TN18, TN20, CDD e PR5 in giorni; per HW30 e HW35 in numero di ondate di calore e per precipitazione accumulata mensile (per i diversi mesi analizzati, riquadro inferiore) in percentuale.



03

Clima futuro e pericoli climatici rilevanti per la viticoltura

Scenari climatici futuri con downscaling statistico per la valutazione del rischio nella viticoltura trevigiana

3.1 Proiezioni climatiche future

Applicando la metodologia di downscaling statistico, abbiamo generato proiezioni future giornaliere di temperatura minima, temperatura massima, temperatura media, precipitazioni cumulate e umidità relativa fino alla fine del secolo per sei modelli climatici globali e due scenari di emissione.

3.1/1 Panoramica generale

Le nostre proiezioni ridimensionate indicano che, entro la fine del secolo, il Veneto ed in particolare la provincia di Treviso potrebbe registrare aumenti sostanziali delle temperature massime, medie e minime giornaliere annue, compresi tra 1 °C e 4 °C (a seconda della stazione) rispetto ai valori climatologici corrispondenti al periodo di riferimento 1991-2020. Come riassunto nella Tabella 7, questi aumenti di temperatura sono robusti in tutti i modelli e in tutte le stazioni (evidenziati in rosso), a sottolineare un'elevata aspettativa di un futuro più caldo. In condizioni di emissioni moderate, la temperatura media (Tmean) potrebbe aumentare di circa +1,7 °C nelle aree collinari e di +3,6 °C in quelle pianeggianti, mentre in condizioni di emissioni elevate, si prevede che questa variabile aumenterà di +3,6 °C in entrambe le zone. Analogamente, le temperature massime (Tmax) e minime (Tmin) giornaliere mostrano segnali di riscaldamento costanti, raggiungendo fino a +4,1 °C per la Tmax nelle aree pianeggianti in entrambi gli scenari.

Al contrario, il segnale di cambiamento climatico rilevato per le precipitazioni in condizioni di emissioni moderate – che si prevede diminuiscano del -3,2% in collina e del -11,6% in pianura – non mostra un'uniforme elevata concordanza tra i modelli (pertanto non è codificato in rosso nella Tabella 7). Nello scenario di emissioni forti, tuttavia, i modelli concordano su una diminuzione più ampia e robusta, pari a circa il -13,5% nelle zone collinari e al -11,6% in pianura. Un simile andamento di incertezza parziale si applica all'umidità relativa, che mostra una variazione modesta (-0,6% in collina, +0,9% in pianura) in condizioni di emissioni moderate e diminuzioni più pronunciate in condizioni di riscaldamento più intenso (-1,2% in collina, -0,9% in pianura), ma ancora una volta, non tutti i modelli concordano nella stessa misura.

Nel complesso, questi risultati indicano coerentemente un clima più caldo e secco in Veneto entro la fine del XXI secolo, con temperature che si prevede aumenteranno con sicurezza sia in collina che in pianura. Sebbene il segnale delle variazioni di precipitazioni e umidità sia prevalentemente negativo, soprattutto in caso di emissioni più elevate, la concordanza con il modello è minore nello scenario di emissioni moderate. Ciononostante, un futuro caratterizzato da temperature elevate e ridotta disponibilità idrica rimane la proiezione centrale, rafforzando la necessità di misure di adattamento climatico in agricoltura, gestione delle risorse idriche e pianificazione regionale.

È importante notare che un aumento della temperatura media, come l'aumento di 1 °C del riscaldamento globale spesso discusso nella climatologia, ci dice poco su come la variabilità o gli eventi estremi possano cambiare, ovvero i cambiamenti potrebbero essere più ampi (portando a condizioni più estreme) nei singoli anni a causa della variabilità annuale. Per illustrare il fenomeno, si considerino due diverse sequenze di temperatura media triennale, ciascuna con la stessa temperatura media. Nella prima sequenza, le temperature sono relativamente stabili (ad esempio, 15 °C, 18 °C, 23 °C; media = 19 °C). In un secondo scenario, più variabile, le temperature potrebbero essere di 10 °C, 16 °C e 31 °C, con una media di 19 °C. Entrambi i periodi hanno la stessa media, ma il secondo presenta una variabilità molto maggiore e include un estremo molto più elevato.

Nel contesto del cambiamento climatico, è tipico riportare variazioni in medie pluriennali (ad esempio, trentennali). Tuttavia, è importante riconoscere che gli aumenti di queste medie a lungo termine possono derivare da un'ampia gamma di possibili cambiamenti nella variabilità e negli eventi estremi anno dopo anno. In altre parole, il medesimo aumento della temperatura media potrebbe mascherare andamenti molto diversi di eventi di caldo estremo, che sono spesso più rilevanti ai fini degli impatti rispetto alla sola media.

3.1/1 Panoramica generale

	Scenario di emissioni moderate		Scenario di emissioni elevate	
	Collina	Pianura	Collina	Pianura
Temperatura media giornaliera (Tmean, °C)	1,7	3,6	3,6	3,6
Temperatura massima giornaliera (Tmax, °C)	1,9	4,1	4,0	4,1
Temperatura minima giornaliera (Tmin, °C)	1,5	3,0	3,2	3,0
Precipitazioni annuali cumulate (Pr, %)	-3,2	-11,6	-13,5	-11,6
Umidità relativa media giornaliera (Rel. Hum., %)	-0,6	0,9	-1,2	-0,9

Tabella 7

Riepilogo delle variazioni previste per le cinque variabili meteorologiche considerate nel periodo 2071-2100, rispetto al periodo 1990-2020, per due diversi scenari di emissione (moderato ed elevato).

I numeri rappresentano i segnali di cambiamento climatico (media di tutti i modelli climatici) su stazioni selezionate, rispettivamente in collina e in pianura (Valdobbiadene-Bigolino, Farra di Soligo, Vittorio Veneto e Conegliano sono rappresentative delle stazioni di collina e Villorba, Vazzola-Tezze, Gaiarine, Zero Branco, Roncade e Oderzo sono rappresentative delle stazioni di pianura). Questi segnali sono calcolati come clima futuro meno clima presente, ad eccezione delle precipitazioni che sono calcolate come variazione relativa.

I colori rappresentano la robustezza dei segnali (rosso se i segnali in tutti i modelli climatici hanno lo stesso segno in tutte le stazioni selezionate, arancione se i segnali in tutti i modelli climatici hanno lo stesso segno in tutte le stazioni tranne una, nero se i segnali hanno segni contrastanti tra i modelli climatici o tra le stazioni). Si noti che si riscontrano variazioni crescenti per le tre temperature e decrescenti per le precipitazioni e l'umidità relativa.

3.1/2 Riepilogo tecnico

Una volta addestrati e testati i metodi di downscaling statistico in condizioni ottimali (Sez. 4.3), la migliore configurazione trovata viene utilizzata per proiettare il clima futuro locale, utilizzando predittori tratti da Modelli Climatici Globali (Global Climate Models, GCM). Consideriamo sei GCM (Tabella 8) in due scenari di emissione sviluppati dall'IPCC, ovvero RCP 4.5 (emissioni moderate) e RCP 8.5 (emissioni forti). Questi GCM sono stati interpolati dalle loro diverse risoluzioni spaziali native a una griglia comune $2 \times 2^\circ$ (come ERA5, vedi Allegato 2) e pre-elaborati per renderli compatibili con ERA5 applicando una strategia di correzione della distorsione mensile che consente di armonizzare i loro cicli annuali. La capacità dei GCM scelti di riprodurre dinamiche su larga scala è già stata valutata in studi precedenti (Brands et al., 2013, Baño-Medina et al. 2022).

Nome del GCM	Istituzione	Risoluzione Spaziale
CanESM2 (Christian et al., 2010)	Centro canadese per la modellizzazione e l'analisi del clima	(2,81°, 2,79°)
CNRM-CM5 (Voldoire et al., 2013)	Centro nazionale per la ricerca meteorologica e Centro europeo per la ricerca e la formazione avanzate	(1,4°, 1,4°)
MPI-ESM-MR (Müller et al., 2018)	Istituto Max-Planck per la Meteorologia	(1,87°, 1,87°)
MPI-ESM-LR (Müller et al., 2018)	Istituto Max-Planck per la Meteorologia	(1,87°, 1,87°)
NorESM1-M (Bentsen et al., 2013)	Centro climatico norvegese	(2,5°, 1,9°)
GFDL-ESM2M (Dunne et al., 2013)	Laboratorio di dinamica dei fluidi geofisici della Amministrazione Nazionale Oceanica e Atmosferica	(2,5°, 2,02°)

Tabella 8

Elenco dei modelli climatici globali utilizzati in questo lavoro. Si noti che, per la regione in esame, 1° corrisponde a un riquadro di circa 100 km x 100 km.

3.1/2 Riepilogo tecnico

I risultati mostrano che si prevede che le temperature medie, massime e minime aumenteranno entro la fine del secolo in modo omogeneo in tutte le stazioni (Fig. 21). In uno scenario di emissioni moderate, potrebbero aumentare di circa 1 °C, mentre l'incremento è di circa 3,5-4 °C per la temperatura media in caso di emissioni intense. È interessante notare che l'aumento della temperatura massima (circa 4-5 °C) è maggiore di quello della temperatura minima (circa 2-3 °C).

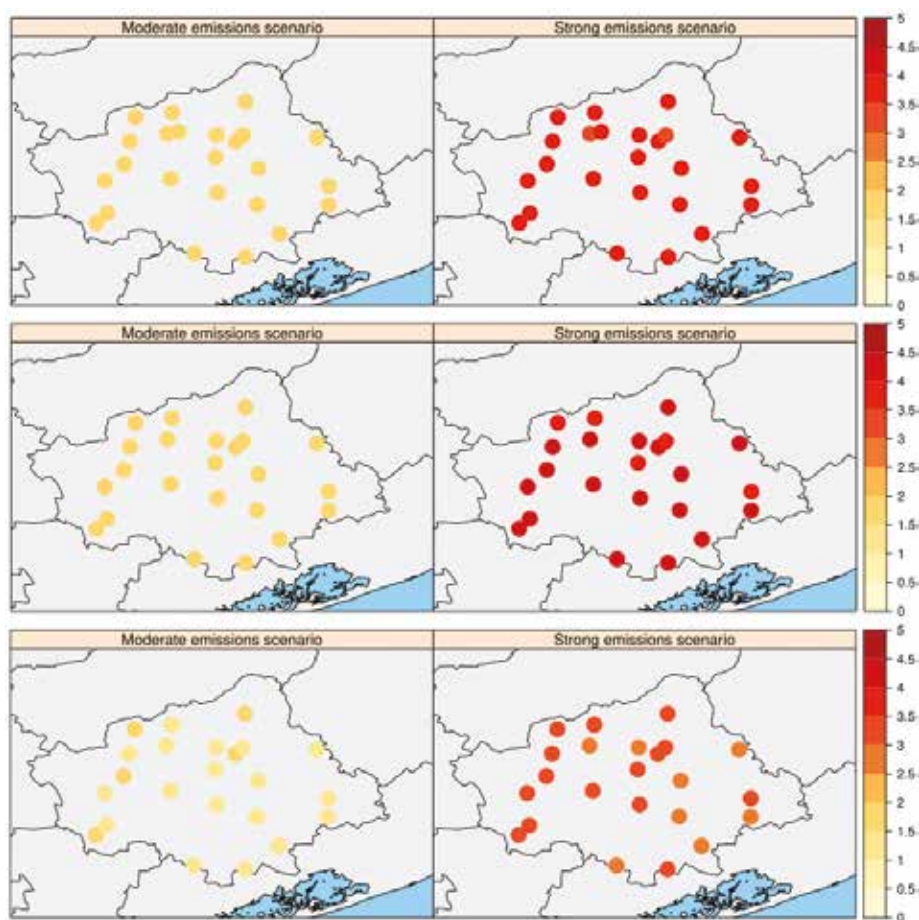


Figura 21

Segnali di cambiamento climatico per la temperatura media giornaliera (riquadri in alto), la temperatura massima giornaliera (riquadri centrali) e la temperatura minima giornaliera (riquadri in basso) in °C. Questo segnale è calcolato come differenza media tra il periodo 2071-2100 e il periodo 1990-2020, in due scenari di emissione (colonne). I valori corrispondono alla media dell'insieme multi-modello (la media dei sei modelli climatici considerati).

Si prevede che le precipitazioni annuali totali si ridurranno di circa il 15% nello scenario di emissioni più intense, mentre non si prevedono variazioni rilevanti in caso di emissioni moderate (Fig. 22, riquadro superiore). Si prevedono variazioni molto piccole per l'umidità relativa media giornaliera (riduzioni inferiori al 2% nello scenario di emissioni intense, Fig. 22 riquadro inferiore).

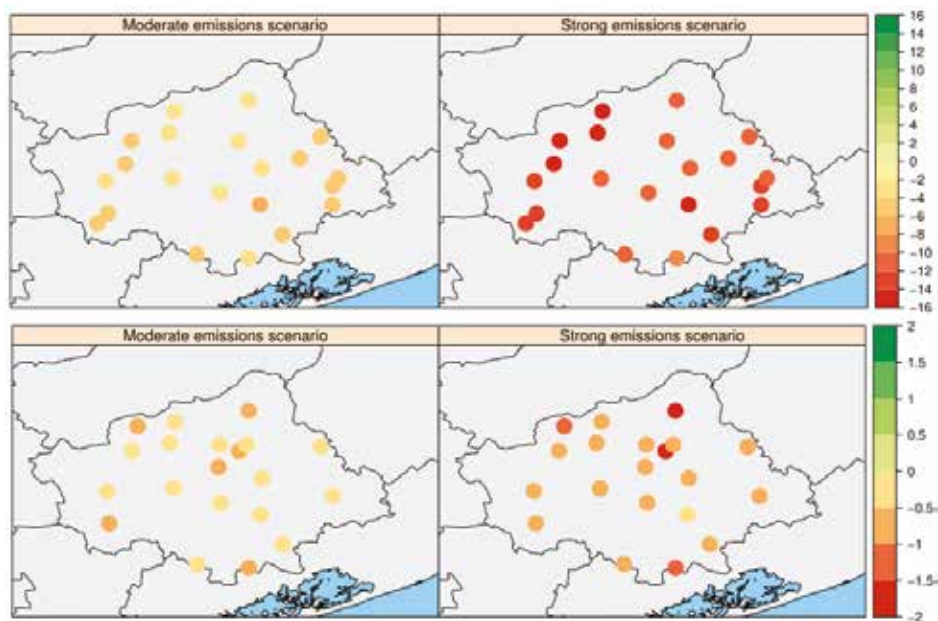


Figura 22

Come in Fig. 21, ma riferita alla precipitazione annua cumulata (riquadro superiore, espresso in percentuale) e all'umidità relativa (riquadro inferiore).

3.2 Pericoli climatici futuri rilevanti per la viticoltura

3.2/1 Panoramica generale

Secondo le proiezioni ottenute tramite il downscaling (Tabella 9), la stagione vitivinicola veneta diventerà probabilmente notevolmente più calda entro la fine del secolo, anche in condizioni di emissioni moderate, rispetto al periodo 1990-2020.

In particolare, la temperatura media giornaliera (T_{mean}) tra aprile e settembre potrebbe aumentare di circa $+1,8/+1,9$ °C rispettivamente in collina e pianura, e fino a $+4,2$ °C in uno scenario di emissioni più forti. Inoltre, si prevede che il numero di giorni con temperature superiori a 30 °C (TX30) quasi raddoppierà nello scenario moderato (circa 28-31 giorni aggiuntivi), e potrebbe persino triplicare, aumentando di circa 60 giorni, in quello più severo. Analogamente, si prevede che il numero di giorni con temperature superiori a 35 °C (TX35) aumenterà fino a 30-40 giorni aggiuntivi in uno scenario di emissioni elevate. Di conseguenza, le ondate di calore (HW30, HW35) diventano più frequenti, con un incremento significativo degli eventi di cinque giorni con temperature superiori a 30 °C (HW30), soprattutto nelle zone collinari soggette a emissioni più forti, mentre gli episodi di più giorni con temperature superiori a 35 °C (HW35) rimangono rari ma aumentano sostanzialmente rispetto ai livelli attuali.

Il numero di notti calde (TN18, TN20) mostra un forte incremento in entrambi gli scenari, raddoppiando o addirittura triplicando rispetto ai valori rilevati per il periodo di riferimento.

Al contrario, gli indici relativi alle precipitazioni diminuiscono per lo più, in particolare nel picco estivo (luglio e agosto). La frequenza di eventi piovosi superiori a 5 mm (PR5) diminuisce di 4-8 giorni (a seconda dello scenario), mentre i periodi di siccità consecutivi (CDD) si allungano fino a 1,4 giorni in condizioni di emissioni elevate. Alcuni mesi, come luglio e agosto, mostrano un forte calo delle precipitazioni cumulate (fino a -50%) nella maggior parte dei modelli e delle stazioni nello scenario più intenso, mentre quello moderato mostra una significativa riduzione a luglio. Analogamente, l'umidità relativa superiore all'85% (HU85) mostra una tendenza negativa robusta sia in collina sia in pianura. Nel complesso, questi risultati indicano un ambiente più caldo e secco per la viticoltura in Veneto entro la fine del secolo, evidenziando il potenziale per estremi caldi più frequenti e periodi di siccità prolungati, soprattutto se le emissioni globali di gas serra rimarranno elevate.

	Scenario di emissioni moderate		Scenario di emissioni elevate	
	Collina	Pianura	Collina	Pianura
Temperatura media giornaliera (Tmean, °C)	1,9	1,8	4,2	4,2
Numero di giorni con Tmax > 30 °C (giorni)	27,9	30,5	59,7	60,5
Numero di giorni con Tmax > 35 °C (giorni)	8,2	12,3	30,9	39,5
N. di eventi con almeno 5 gg con Tmax > 30 (# HWS)	1,5	1,3	2,0	1,1
N. di eventi con almeno 3 gg con Tmax > 35 (# HWS)	0,9	1,5	3,0	3,6
Numero di notti con Tmin > 18 °C (giorni)	27,9	25,0	54,1	52,3
Numero di notti con Tmin > 20 °C (giorni)	26,3	21,8	56,9	51,1
Numero di giorni con Precip > 5 mm (giorni)	-3,8	-4,2	-8,7	-8,1
N. medio di giorni consecutivi con Precip <1 mm (giorni)	0,4	0,5	1,2	1,4
Somma delle precipitazioni per aprile (%)	-3,3	-1,8	-6,7	5,3
Somma delle precipitazioni per maggio (%)	-1,0	-5,0	-14,8	-18,6
Somma delle precipitazioni per giugno (%)	1,6	-2,0	-14,0	-18,8
Somma delle precipitazioni per luglio (%)	-30,6	-30,2	-49,9	-45,7
Somma delle precipitazioni per agosto (%)	-22,7	-24,4	-53,1	-51,6
Somma delle precipitazioni per settembre (%)	-12,0	-12,1	-23,6	-24,1
N. di giorni con umidità relativa > 85% (giorni)	-6,5	-8,9	-11,0	-15,3

Tabella 9

Come nella Tabella 7, ma riferita alle variazioni degli indici climatici nel periodo aprile-settembre. Si noti che si riscontrano forti variazioni crescenti per gli indici relativi alla temperatura e al CDD, e in diminuzione per gli altri indici relativi alle precipitazioni e all'HU85 (numeri colorati).

3.2/2 Riepilogo tecnico

I cambiamenti delle variabili medie nel lungo periodo (Sezione 5.1) potrebbero non cogliere appieno gli impatti dei cambiamenti climatici su settori sensibili al clima come la viticoltura. Pertanto, è essenziale esaminare le variazioni future di indicatori specifici che rappresentino le condizioni rilevanti per il settore analizzato; in questo caso la viticoltura.

Questa sezione presenta l'evoluzione prevista degli indicatori mostrati nella Tabella 4 in due scenari di emissioni: moderato e intenso.

CAMBIAMENTI DI TEMPERATURA

Le variazioni previste della temperatura media giornaliera (T_{mean}) durante la stagione vegetativa (aprile-settembre) sono leggermente superiori alle variazioni medie annuali entro la fine del secolo (cfr. Fig. 23 e Fig. 21). L'evoluzione temporale dal 1990 al 2100 (Fig. 23, riquadri inferiori) rivela una tendenza al riscaldamento costante per tutto il secolo. Entrambi gli scenari seguono traiettorie di riscaldamento simili fino a metà secolo, dopodiché lo scenario di emissioni elevate porta a un riscaldamento sostanzialmente accelerato, raddoppiando all'incirca il tasso di riscaldamento rispetto allo scenario moderato. Questo andamento è coerente sia nelle stazioni collinari che in quelle di pianura.

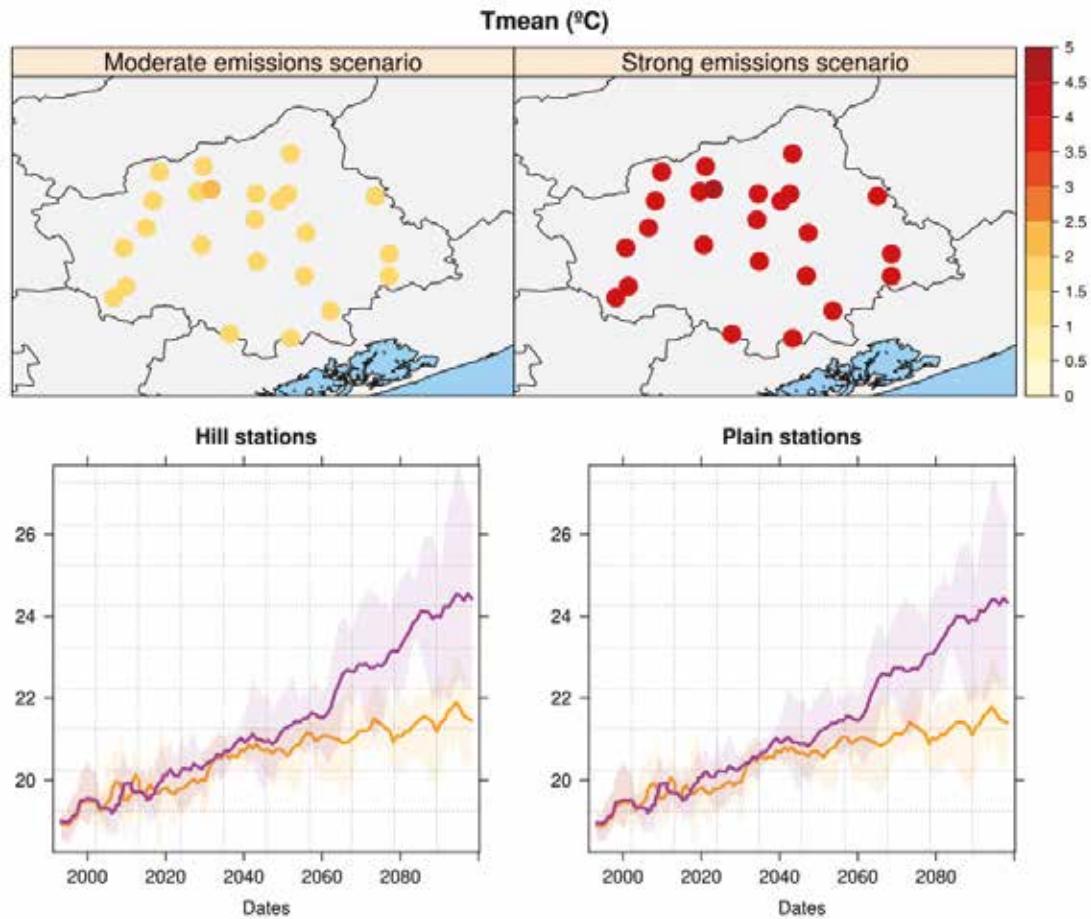


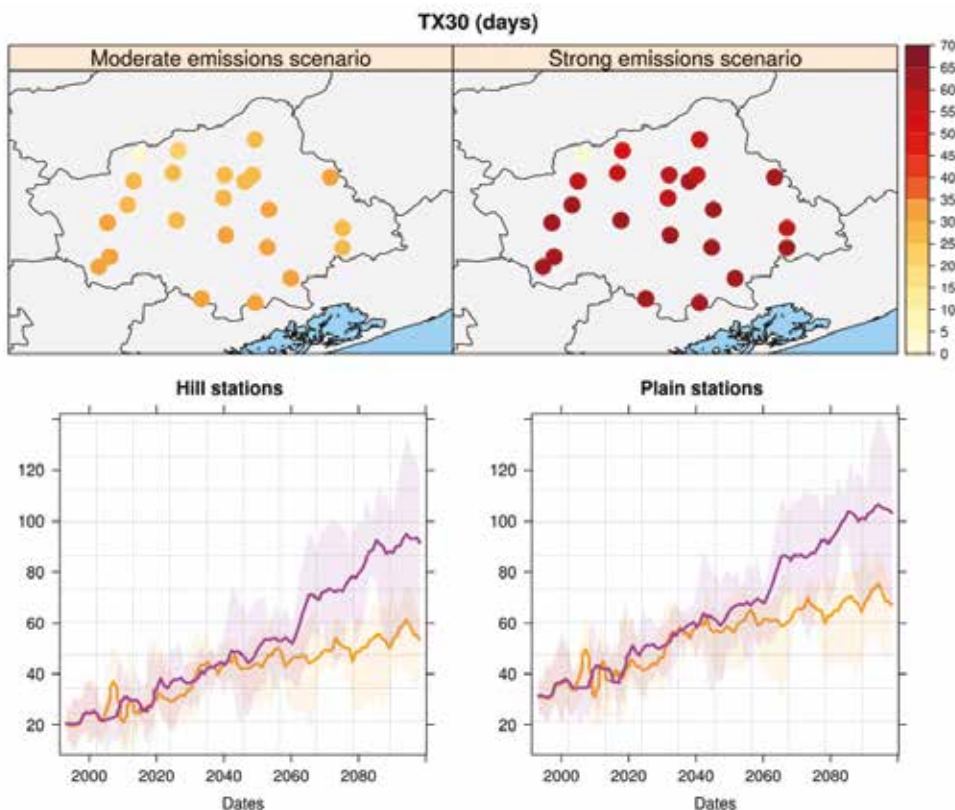
Figura 23

[Mappe] Segnale di cambiamento climatico per Tmean (2071-2100 rispetto al 1990-2020), in due scenari di emissione. I valori corrispondono alla media dell'insieme multi-modello (la media dei sei modelli climatici considerati). [Serie temporali] Evoluzione temporale di Tmean dal 1990 al 2100 (media tra le stazioni di collina -sinistra- e di pianura -destra- per gli scenari di emissioni moderate (arancione) ed elevate (viola). La linea ispessita rappresenta la media dell'insieme multi-modello, l'ombreggiatura rappresenta la dispersione del modello (intervallo completo di modelli). In tutti i casi, i risultati sono mediati spazialmente tra le stazioni selezionate di collina e di pianura (vedere le Tabelle 1 e 2 per maggiori dettagli) e sono limitati al periodo aprile-settembre.

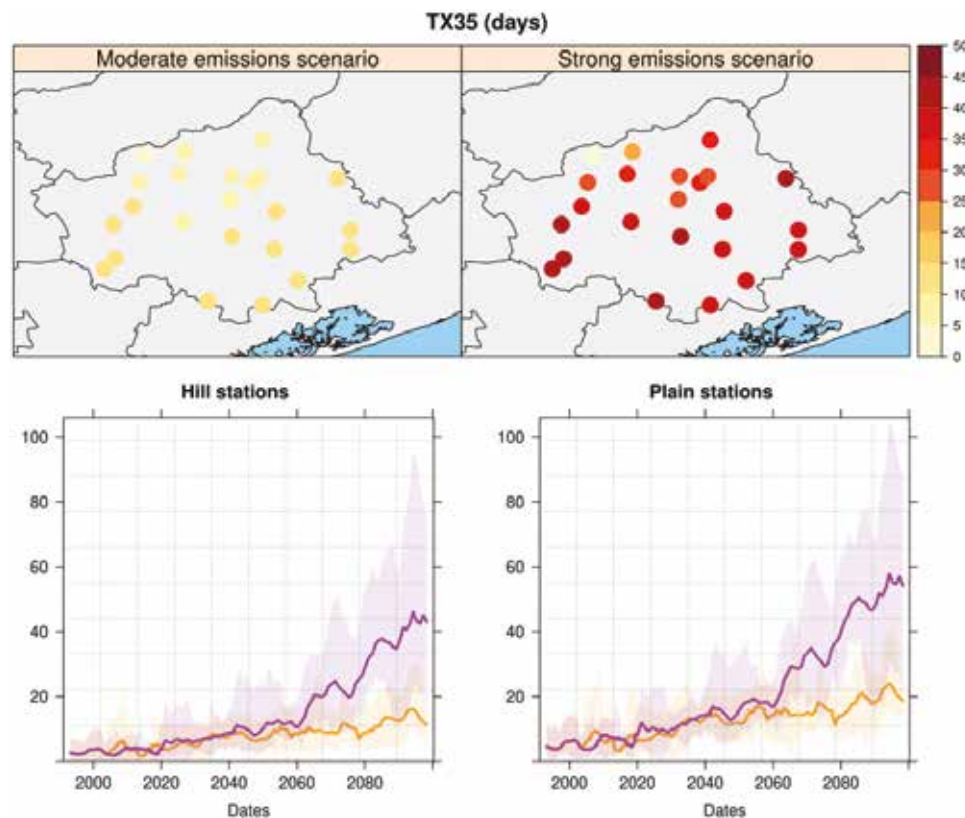
3.2/2 Riepilogo tecnico

SUPERAMENTI DELLE SOGLIE: TX30 E TX35

L'aumento della temperatura si traduce in un aumento della frequenza di TX30 (giorni con temperatura massima superiore a 30 °C) e TX35 (oltre 35 °C), indicatori critici per il settore vitivinicolo. In particolare, entro la fine del secolo, si prevede che TX30 aumenterà di circa 25 giorni nello scenario moderato e fino a 70 giorni nello scenario forte (Fig. 24). Ciò si traduce in quasi 90 giorni all'anno con temperature superiori a 30 °C nelle stazioni di collina e fino a 100 giorni nelle stazioni di pianura con emissioni elevate. Con emissioni moderate, questi numeri si riducono rispettivamente a circa 55 e 65 giorni. Anche TX35 mostra un netto aumento: fino a 10 giorni aggiuntivi con emissioni moderate e fino a 40 giorni con emissioni forti entro la fine del secolo (Fig. 25). Come per TX30, l'aumento è più pronunciato nelle stazioni di pianura e le differenze di scenario diventano evidenti a partire dal 2050.

**Figura 24**

Come Fig. 23 ma riferita a TX30 in aprile-settembre.

**Figura 25**

Come Fig. 23 ma riferita a TX35 in aprile-settembre.

FREQUENZA DELLE ONDATE DI CALORE: HW30 E HW35

Sebbene TX30 e TX35 rappresentino superamenti di soglia, non riflettono necessariamente la persistenza di condizioni di caldo estremo. HW30 e HW35 (ondate di calore con temperature massime giornaliere superiori rispettivamente a 30 °C e 35 °C) forniscono una misura della frequenza e della durata di condizioni di caldo prolungato.

Entrambi gli indici mostrano una tendenza crescente, con HW30 che raggiunge una media di 1-3 eventi all'anno (rispetto al periodo di riferimento) entro la fine del secolo (Fig. 26). Nelle stazioni di pianura, HW30 aumenta in modo simile in entrambi gli scenari, mentre le stazioni di collina registrano circa un evento aggiuntivo nello scenario di forti emissioni. HW35 (Fig. 27) mostra una maggiore coerenza spaziale, con un aumento medio di 3-4 eventi all'anno in tutte le stazioni entro il 2100 (in condizioni di forti emissioni). Tuttavia, l'incertezza rimane relativamente elevata per entrambi gli indici rispetto all'entità del cambiamento.

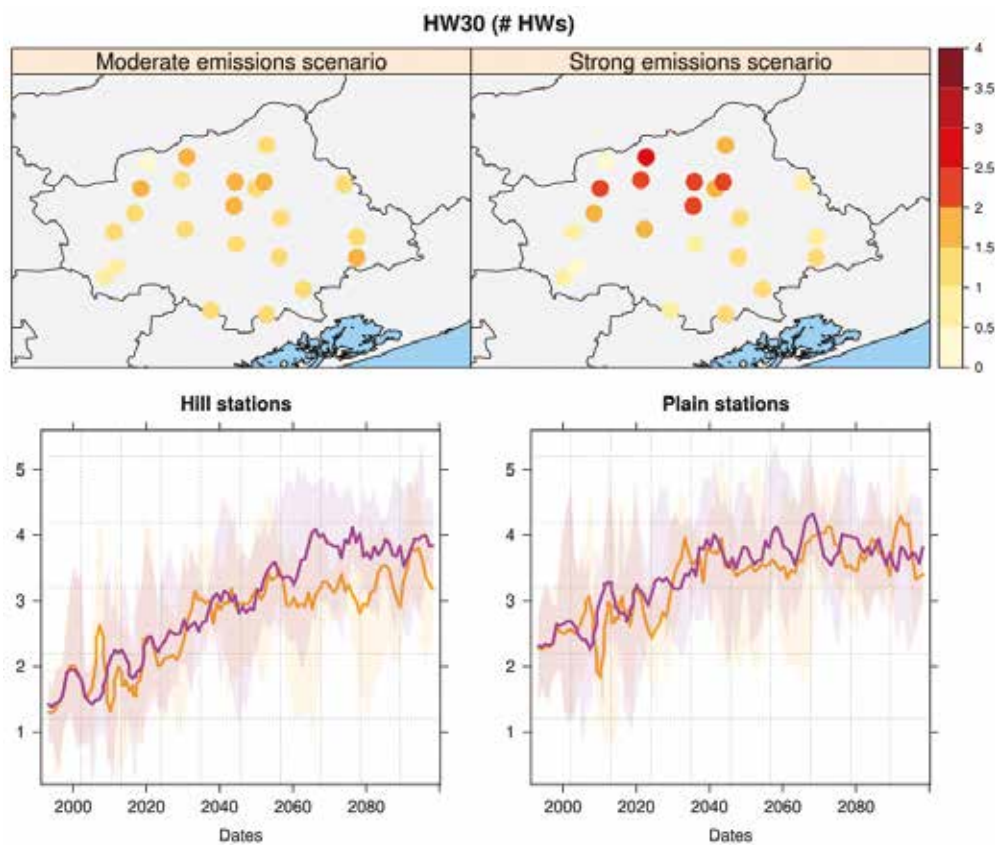


Figura 26

Come Fig. 23 ma riferita a HW30 in aprile-settembre.

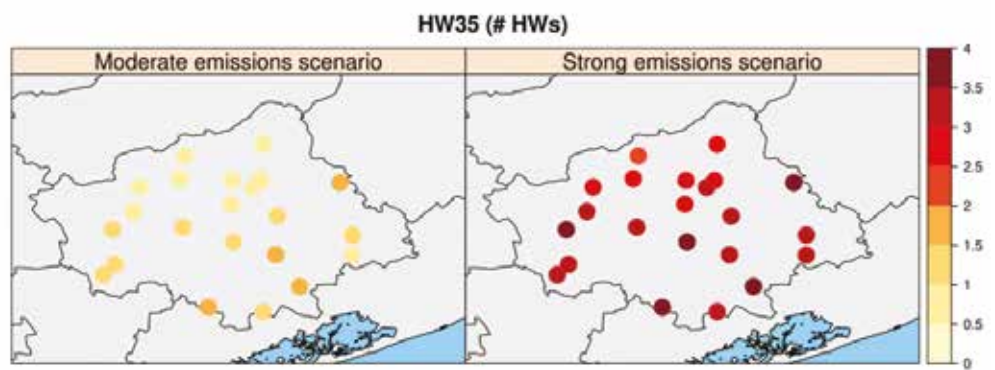


Figura 27

Come Fig. 23 ma riferita a HW30 in aprile-settembre.

SOGLIE MINIME DI TEMPERATURA: TN18 E TN20

Anche le soglie di temperatura minima sono critiche per lo sviluppo della vite. TN18 e TN20 (numero di giorni con temperatura minima superiore a 18 °C e 20 °C, rispettivamente) mostrano aumenti notevoli (Fig. 28). Entro la fine del secolo, TN18 potrebbe raggiungere circa 110 giorni nelle stazioni di collina e 95 in quelle di pianura in condizioni di emissioni elevate. TN20 potrebbe superare gli 80 giorni nelle stazioni di collina e rimanere appena al di sotto di 80 in quelle di pianura. Le differenze di scenario diventano più evidenti a partire dal 2050.

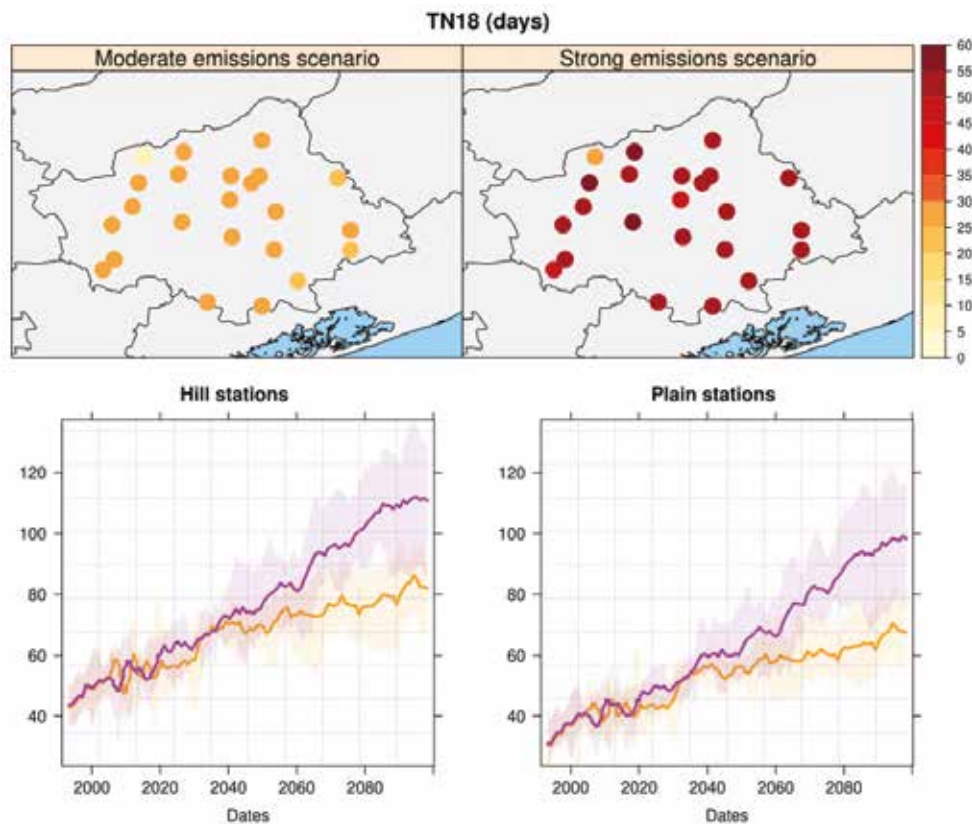


Figura 28

Come Fig. 23 ma riferita a TN18 in aprile-settembre.

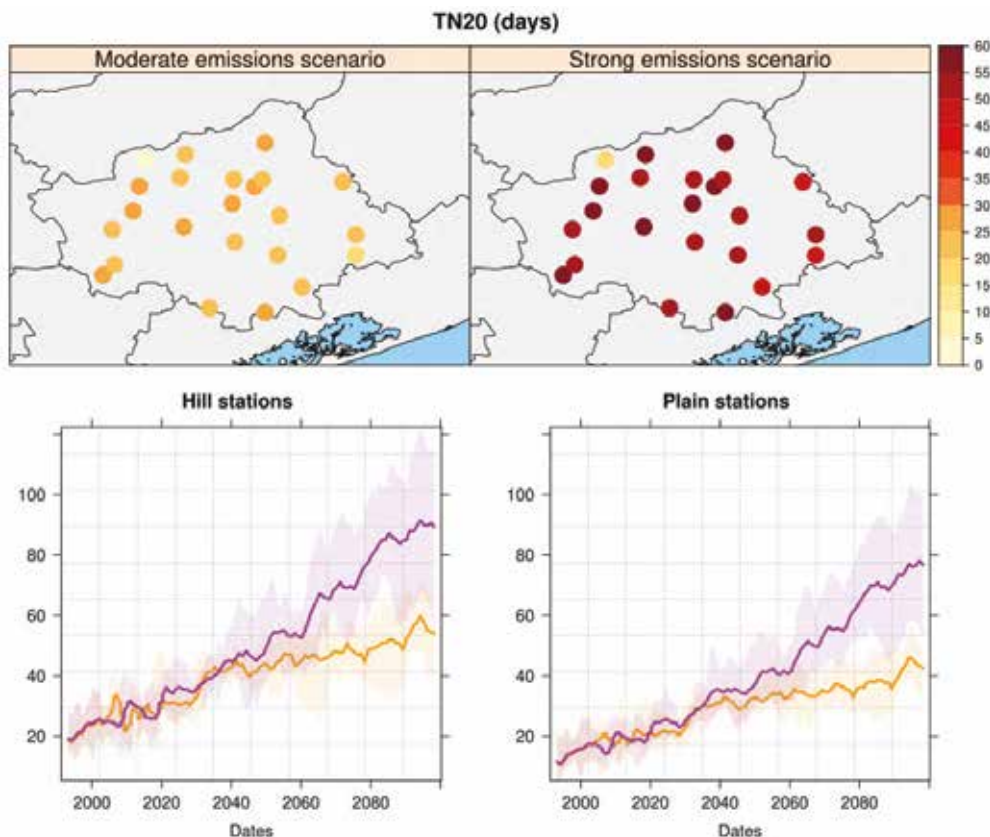


Figura 29

Come Fig. 23 ma
riferita a TN20 in
aprile-settembre.

INDICI DELLE PRECIPITAZIONI: PR5 E CDD

Le riduzioni previste delle precipitazioni totali (Sezione 5.1) si riflettono in indici derivati come PR5 (giorni con precipitazioni superiori a 5 mm) e CDD (giorni secchi consecutivi). Il PR5 diminuisce di circa 4 giorni in caso di emissioni moderate e fino a 10 giorni in caso di emissioni intense entro la fine del secolo (Fig. 30). Nelle stazioni di collina, ciò corrisponde a una riduzione rispettivamente da 35 a 32 o 26 giorni, e nelle stazioni di pianura da 32 a 28 o 24 giorni. Il CDD aumenta moderatamente in caso di emissioni intense (Fig. 31), con una media di 2 giorni senza pioggia aggiuntivi. Entro il 2100, le stazioni di collina potrebbero registrare un aumento da 3 a 5 giorni secchi consecutivi e le stazioni di pianura da 4 a 6.

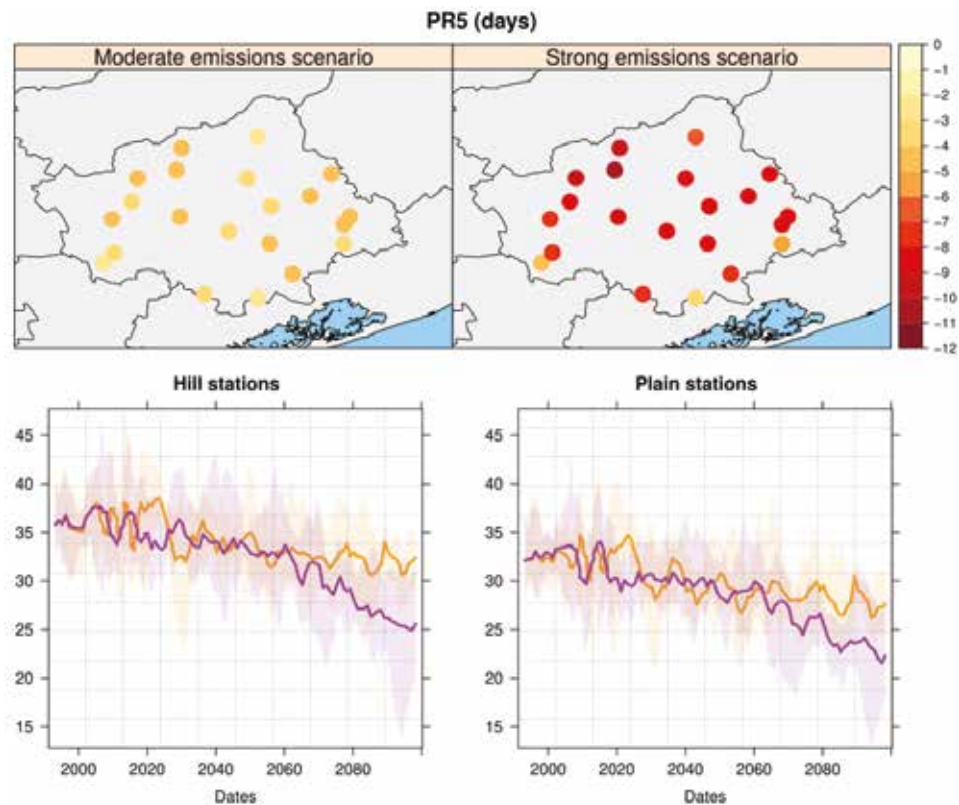


Figura 30

Come Fig. 23 ma
riferita a PR5 in
aprile-settembre.

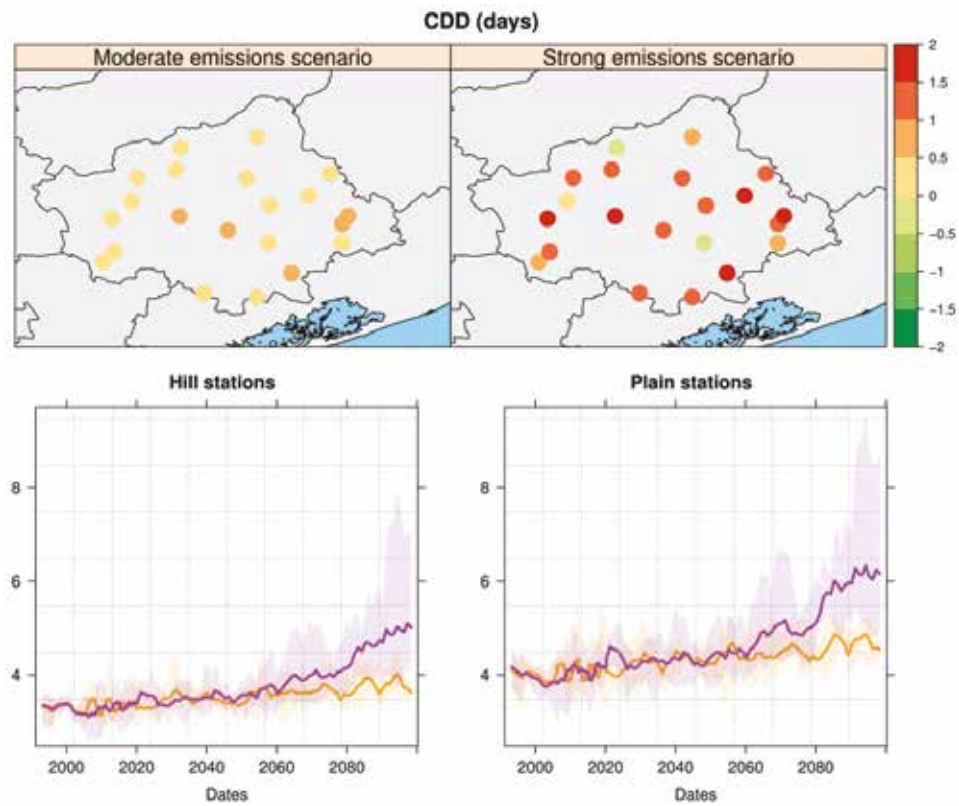


Figura 31

Come Fig. 23 ma
riferita a CDD in
aprile-settembre.

3.2/2 Riepilogo tecnico

TENDENZE STAGIONALI DELLE PRECIPITAZIONI

Le proiezioni mensili delle precipitazioni (Fig. 32 e 33) suggeriscono notevoli diminuzioni a luglio, agosto e settembre, mesi chiave per la crescita e la maturazione della vite.

Con emissioni moderate, si prevedono riduzioni nell'ordine di:

- Luglio: 20-40%
- Agosto: 20-30%
- Settembre: 10-20%

In caso di forti emissioni, le riduzioni si intensificano fino a:

- Luglio e agosto: 30-60%
- Settembre: 10-30%

Questi cambiamenti sono particolarmente pronunciati nelle stazioni collinari (Fig. 34), con segnali di siccità evidenti negli ultimi decenni del secolo. Nel complesso, la dispersione dell'insieme dei modelli climatici rimane maggiore delle differenze tra gli scenari di emissione.

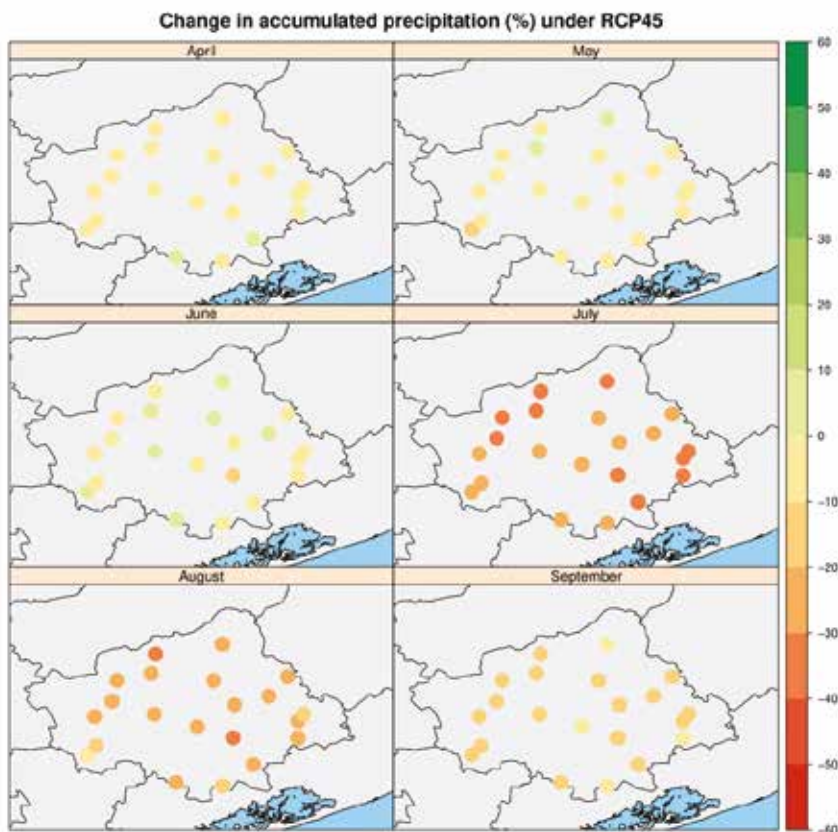


Figura 32

Variazione (in %, 2071-2100 rispetto al 1990-2020) delle precipitazioni mensili cumulate in aprile-settembre nello scenario di emissioni moderate.

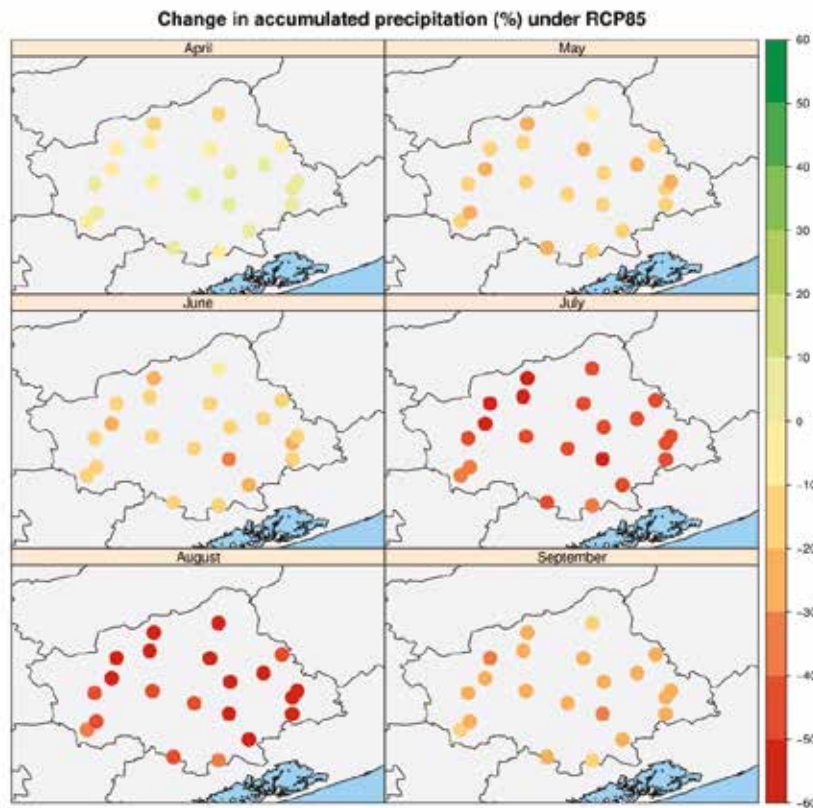


Figura 33

Come Fig. 32 ma riferita allo scenario di emissioni elevate.

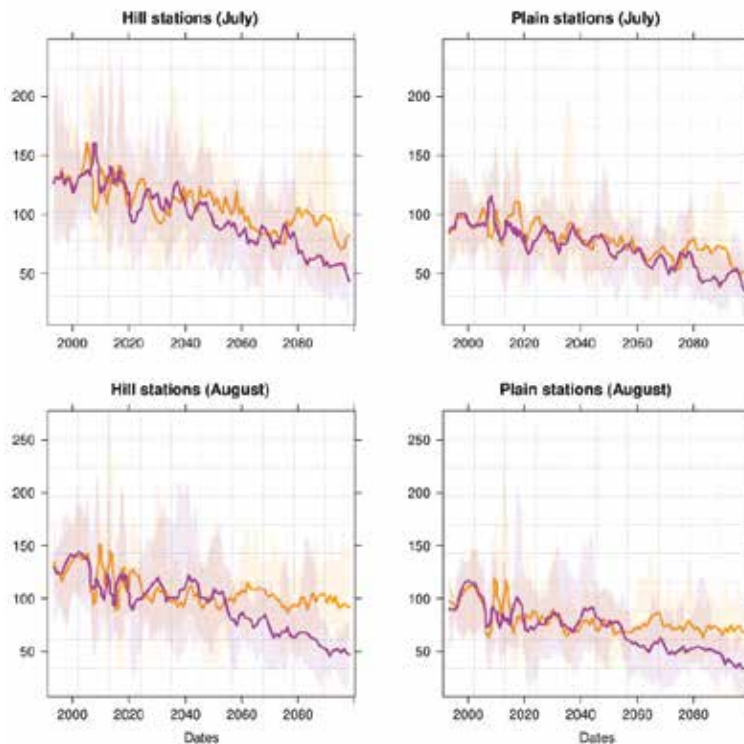


Figura 34

Precipitazioni cumulate previste in media (esprese in mm) a luglio (riquadri superiori) e agosto (riquadri inferiori), per le stazioni di collina e di pianura considerate (vedere le tabelle 1 e 2 per maggiori dettagli).

3.2/2 Riepilogo tecnico

SOGLIE DI UMIDITÀ RELATIVA: HU85

Mentre l'umidità relativa media giornaliera (Sezione 5.1) mostra variazioni minime, il superamento di soglie critiche come l'85% (HU85) diminuisce significativamente (Fig. 35). Si prevede una riduzione di 6-10 giorni in caso di emissioni moderate e di 8-16 giorni in caso di emissioni intense. Attualmente, l'HU85 si verifica circa 28 giorni/anno nelle stazioni di collina e 40 in quelle di pianura (Fig. 19, Sez. 4.2). Entro il 2100, si prevede che questi valori diminuiranno a:

- Stazioni di collina: 22 (scenario moderato) o 18 (scenario intenso) giorni.
- Stazioni di pianura: 35 (scenario moderato) o 27 (scenario intenso) giorni.

Differenze evidenti tra gli scenari inizieranno a manifestarsi a partire dagli anni 2060.

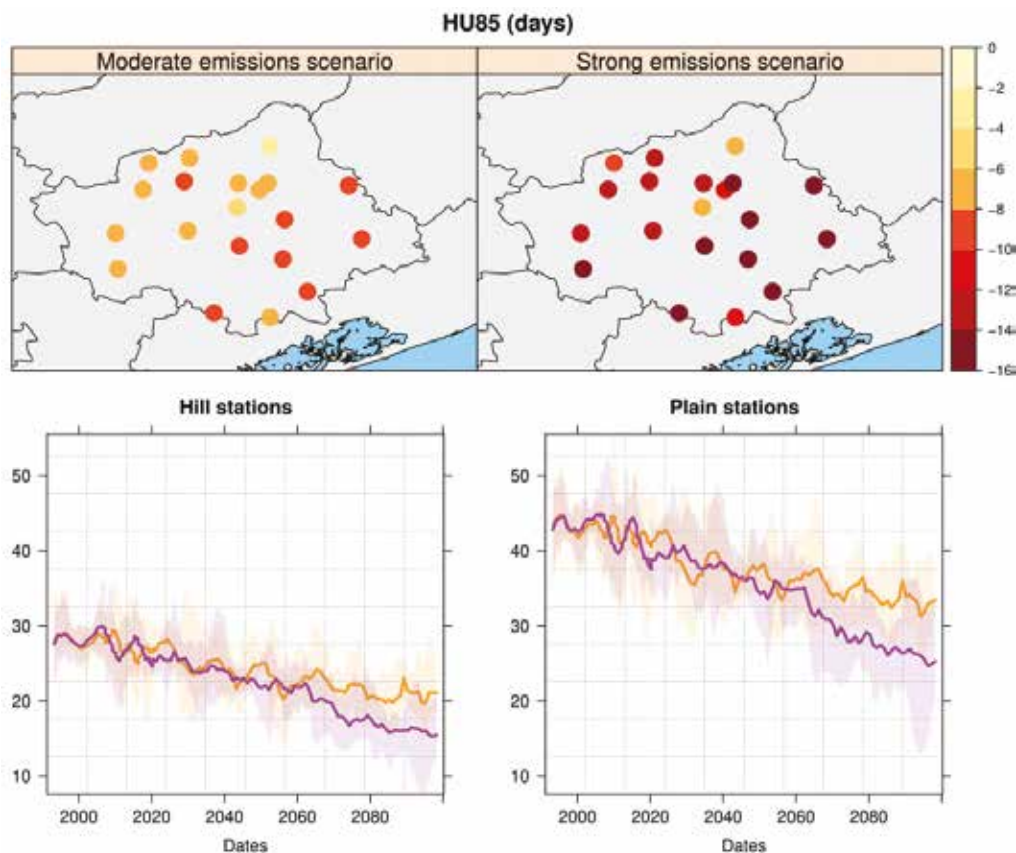


Figura 35

Come Fig. 23 ma riferita a HU85 in aprile-settembre.

Bibliografia

Baño-Medina, J., Manzanar, R., Cimadevilla, E., Fernández, J., González-Abad, J., Cofiño, A. S., and Gutiérrez, J. M.: Downscaling multi-model climate projection ensembles with deep learning (DeepESD): contribution to CORDEX EUR-44, *Geosci. Model Dev.*, 15, 6747–6758, <https://doi.org/10.5194/gmd-15-6747-2022>, 2022.

Brands, S., Herrera, S., Fernández, J. et al. How well do CMIP5 Earth System Models simulate present climate conditions in Europe and Africa?. *Clim Dyn* 41, 803–817 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1742-8>

Gutiérrez, J. M., D. San-Martín, S. Brands, R. Manzanar, and S. Herrera, 2013: Reassessing statistical downscaling techniques for their robust application under climate change conditions. *J. Climate*, 26, 171–188, doi:10.1175/JCLI-D-11-00687.1.

Gutiérrez, J.M., Maraun, D., Widmann, M., Huth, R., Hertig, E., Benestad, R., Roessler, O., Wibig, J., Wilcke, R., Kotlarski, S., San Martín, D., Herrera, S., Bedia, J., Casanueva, A., Manzanar, R., Iturbide, M., Vrac, M., Dubrovsky, M., Ribalaygua, J., Pórtol, J., Rätty, O., Räisänen, J., Hingray, B., Raynaud, D., Casado, M.J., Ramos, P., Zerenner, T., Turco, M., Bosshard, T., Štěpánek, P., Bartholy, J., Pongracz, R., Keller, D.E., Fischer, A.M., Cardoso, R.M., Soares, P.M.M., Czernecki, B. and Pagé, C. (2018) An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods for Europe: overall results from the VALUE perfect predictor cross-validation experiment. *International Journal of Climatology*, 39, 3750–3785. <https://doi.org/10.1002/joc.5462>.

Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al. The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc.* 2020; 146: 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

Maraun D, Widmann M, Gutiérrez JM. Statistical downscaling skill under present climate conditions: A synthesis of the VALUE perfect predictor experiment. *Int J Climatol.* 2019; 39: 3692–3703. <https://doi.org/10.1002/joc.5877>

San-Martín, D., R. Manzanar, S. Brands, S. Herrera, and J. M. Gutiérrez, 2017: Reassessing Model Uncertainty for Regional Projections of Precipitation with an Ensemble of Statistical Downscaling Methods. *J. Climate*, 30, 203–223, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0366.1>.

Wilby, R., S. Charles, E. Zorita, B. Timbal, P. Whetton, and L. Mearns, 2014: Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Tech. rep.

ALLEGATO 1 | Osservazioni

Il set originale di dati osservati includeva 30 stazioni ARPAV e 6 stazioni Condifesa. Tutte hanno una risoluzione temporale sub-giornaliera (le stazioni Condifesa hanno una risoluzione di 3 ore, tranne una che ha una risoluzione di 2 ore e un'altra di 6 ore; ARPAV ha una risoluzione oraria). Tuttavia, il lavoro è stato eseguito su base giornaliera poiché i dati del modello sono disponibili su scale temporali giornaliere. Pertanto, sono state calcolate la temperatura media, minima e massima giornaliera, nonché l'umidità relativa media giornaliera, e per le precipitazioni è stata ottenuta la somma giornaliera. I valori giornalieri sono stati calcolati solo se non vi erano dati mancanti in nessuno dei valori sub-giornalieri. Pertanto, il numero di valori mancanti varia per ciascuna stazione e variabile climatica nel periodo di analisi, 1991-2020.

Abbiamo considerato il sottoinsieme di stazioni con meno del 34% di dati mancanti per variabile (ovvero 10 su 30 anni, Fig. A1). Si noti inoltre che alcune stazioni Condifesa hanno registrato l'occorrenza delle precipitazioni (variabile binaria) anziché la quantità di precipitazione. Queste sono state escluse dall'analisi. Il sottoinsieme finale era costituito da 24 stazioni per le temperature (20 da ARPAV e 4 da Condifesa), 21 stazioni per le precipitazioni (tutte da ARPAV) e 20 stazioni per l'umidità relativa (17 da ARPAV e 3 da Condifesa).

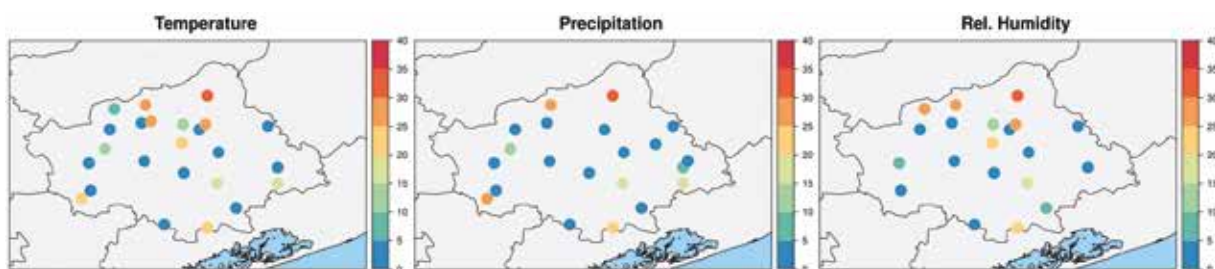


Figura A1

Percentuale di giorni mancanti nel periodo 1991-2020 per temperatura media giornaliera, precipitazioni cumulate giornaliere e umidità relativa media giornaliera.

ALLEGATO 2 | Metodologia di downscaling

SCREENING DEI PREDITTORI

Abbiamo considerato diverse configurazioni di predittori di diversa complessità e con variabili differenti (vedi Tabella A1). Si noti che P6 è stato utilizzato da Gutiérrez et al. (2019) nella più ampia valutazione di metodi di downscaling empirico-statistico su stazioni europee, prendendo in considerazione le Componenti Principali (PC) che spiegano il 95% della varianza totale. Nel dominio considerato (44°N-48°N, 5°W-15°W) per i dati di rianalisi (ERA5, Hersbach et al. 2020), sono necessarie 15 PC per mantenere il 95% della varianza spiegata per P8 (set di predittori selezionato). ERA5 è sviluppato su una griglia di 25 km x 25 km, ma è stato ridimensionato a una risoluzione più grossolana (200 km x 200 km) per coerenza con i dati forniti dai modelli climatici globali considerati (vedi Tabella 8).

Predittore	Variabili
P1	U850, V850, Z850, T850, Q850
P2	U700, V700, Z700, T700, Q700
P3	U500, V500, Z500, T500, Q500
P4	Z500, Z850, T500, T700, T850
P5	Z500, Z850, T500, T700, T850, T2m
P6	Z500, Z850, T500, T700, T850, Q500, Q850, T2m
P7	Z500, Z850, T500, T700, T850, Q500, Q700, Q850, T2m
P8	U500, U700, U850, V500, V700, V850, Z500, Z850, T500, T700, T850, Q500, Q850, T2m

Tabella A1

Set di predittori considerati. U, V: rispettivamente componenti del vento verso est e verso nord, Z: altezza geopotenziale, Q: umidità specifica, T: temperatura dell'aria. I numeri indicano i livelli verticali nell'atmosfera, ovvero i livelli di 500, 700, 850 hPa e infine 2 m rappresenta 2 metri (superficie).

Allegato 2 | Metodologia di downscaling

PROCEDURA DI VALIDAZIONE INCROCIATA

Per evitare il sovra adattamento del modello e trovare la migliore configurazione predittiva per gli indici di interesse, abbiamo considerato dati indipendenti per calibrare e testare il metodo statistico. In particolare, abbiamo utilizzato una struttura di validazione incrociata a 5 livelli, in cui il periodo di 30 anni è stato suddiviso casualmente in 5 livelli. Ogni livello (gruppo di 6 anni) è stato oggetto di previsione sulla base del metodo calibrato sui restanti 4 livelli (24 anni). Questa procedura è stata ripetuta 5 volte per coprire l'intero periodo di analisi. Si vedano le Figure A2-A7 per i risultati della valutazione nell'esperimento di validazione incrociata per P8 (set di predittori selezionato alla fine).

METODI DI DOWNSCALING

Inizialmente, è stato utilizzato il metodo degli analoghi poiché fornisce previsioni fisicamente coerenti per tutte le variabili dipendenti. Tuttavia, presenta un limite ben noto, poiché non è in grado di estrapolare oltre il clima osservato. Per testarne l'idoneità a ridimensionare gli indicatori climatici selezionati, abbiamo condotto un secondo esperimento, in cui i 6 anni più caldi (considerando la temperatura media in tutte le stazioni) sono stati previsti utilizzando i restanti 24 anni (più freddi) per la calibrazione (ovvero una struttura di validazione incrociata su misura a due livelli), al fine di simulare un mondo in riscaldamento. I nostri risultati hanno indicato che il numero di notti tropicali nei 6 anni più caldi è stato sottostimato dal metodo degli analoghi, ma meglio rappresentato dalla regressione lineare in questo esperimento (vedi Fig. A8). Pertanto, il metodo degli analoghi è stato utilizzato per precipitazioni e umidità e la regressione lineare multipla per temperatura media, massima e minima.

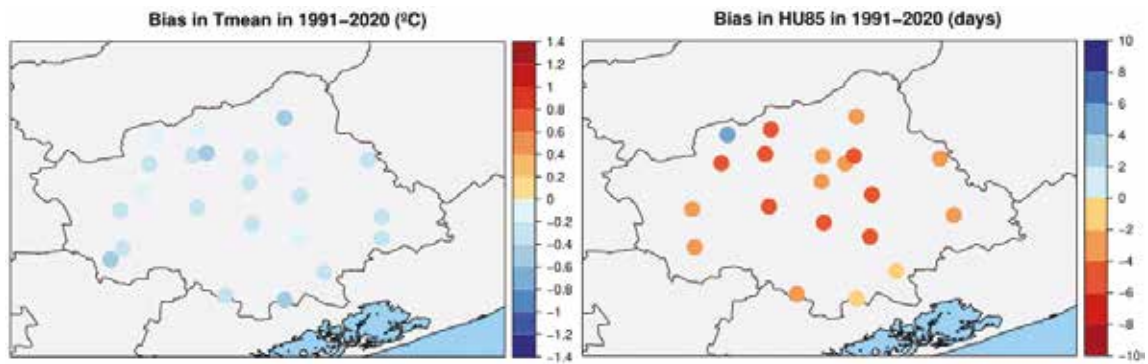


Figura A2

Distorsione media in Tmean (in °C, a sinistra) e HU85 (in giorni) nel periodo aprile-settembre per il periodo 1991-2020 nell'esperimento di validazione incrociata. Si riscontra una lieve sottostima complessiva di Tmean e HU85 (fino a 5 giorni in meno rispetto a quanto osservato, cfr. Fig. 10 e 19).

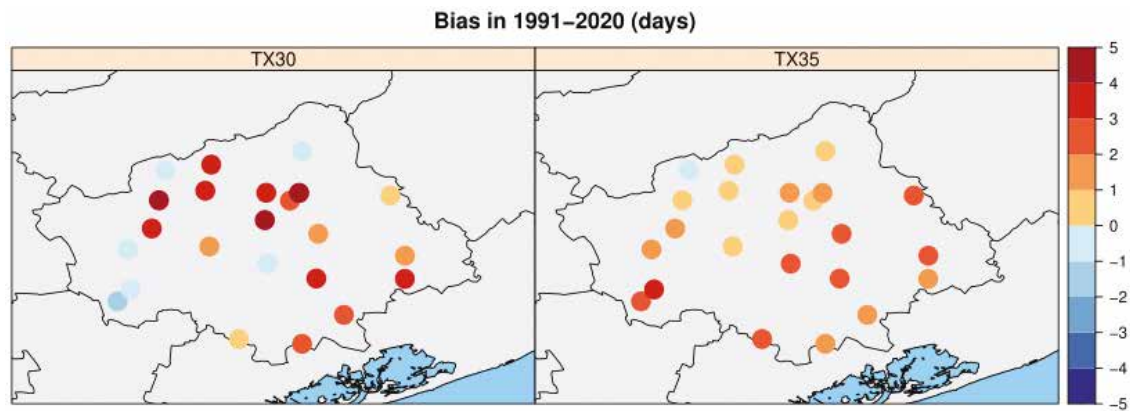
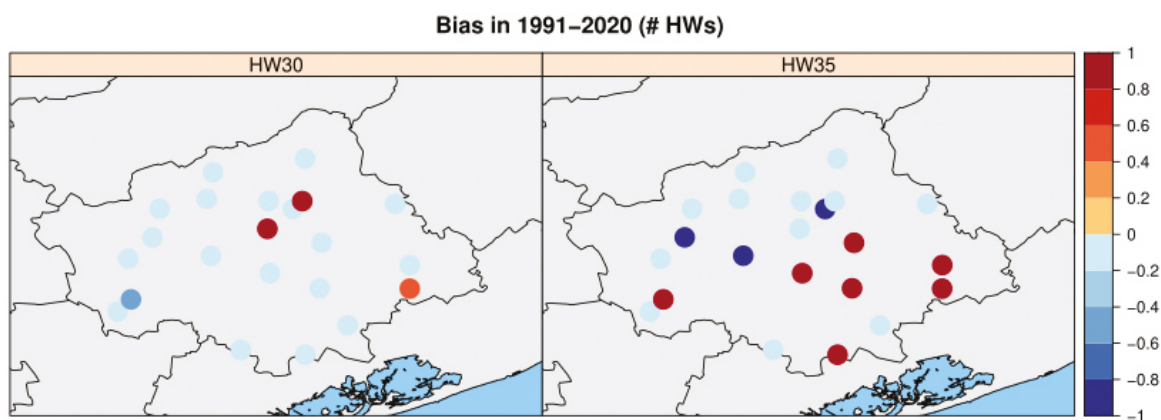
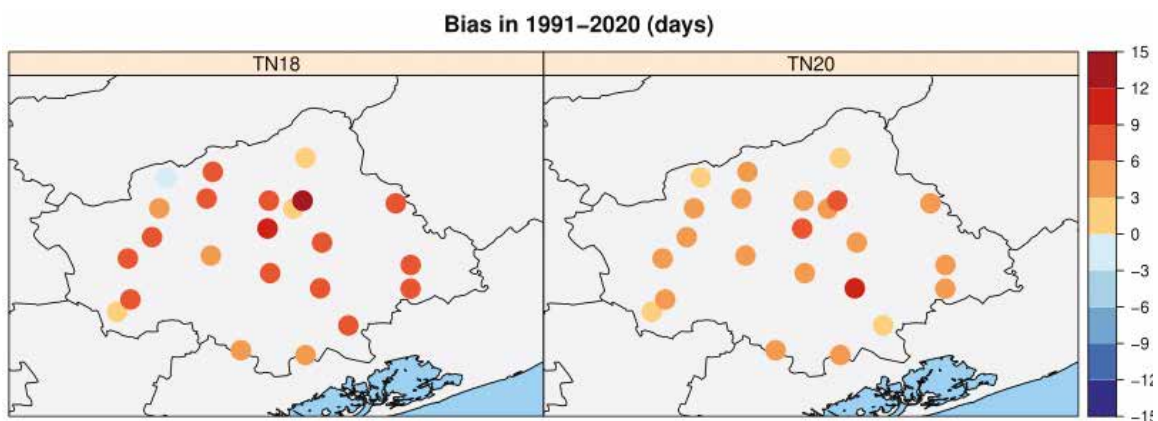


Figura A3

Distorsione media in TX30 e TX35 (giorni) nel periodo aprile-settembre tra 1991 e 2020 nell'esperimento di validazione incrociata. Si riscontra una piccola sovrastima fino a 5 giorni per TX30 e fino a 2 giorni per TX35 (piccola rispetto ai valori osservati, cfr. Fig. 11 e 12).

**Figura A4**

Distorsione media nel numero di ondate di calore nel periodo aprile-settembre tra 1991 e 2020 nell'esperimento di validazione incrociata. Le distorsioni maggiori si verificano per HW35, pari a circa più/meno un'ondata di calore. Si noti che questo evento si verifica raramente nel clima osservato (nemmeno tutti gli anni, cfr. Fig. 13 e Tabella 6).

**Figura A5**

Distorsione media in TN18 e TN20 (giorni) nel periodo aprile-settembre tra 1991 e 2020 nell'esperimento di validazione incrociata. Entrambi i rischi sono sovrastimati, fino a 10 giorni per TN18 e 6 giorni per TN20 (cfr. Fig. 14 e 15).

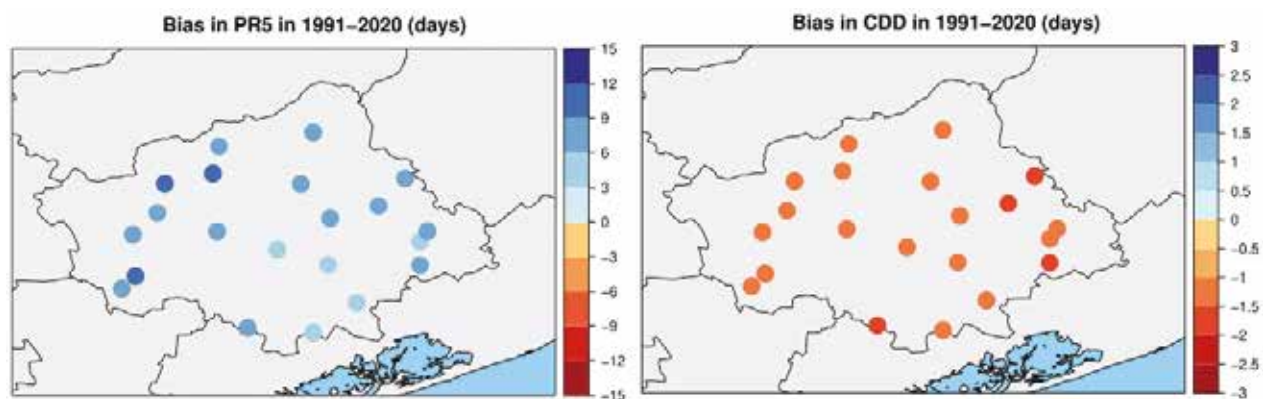


Figura A6

Distorsione media per PR5 e CDD nel periodo aprile-settembre tra 1991 e 2020 nell'esperimento di validazione incrociata. PR5 è leggermente sovrastimato fino a 10 giorni (si noti che i valori osservati variano tra 30 e 40 giorni) e il numero di giorni asciutti consecutivi è leggermente sottostimato (circa un giorno in meno rispetto a quanto osservato, cfr. Fig. 16).

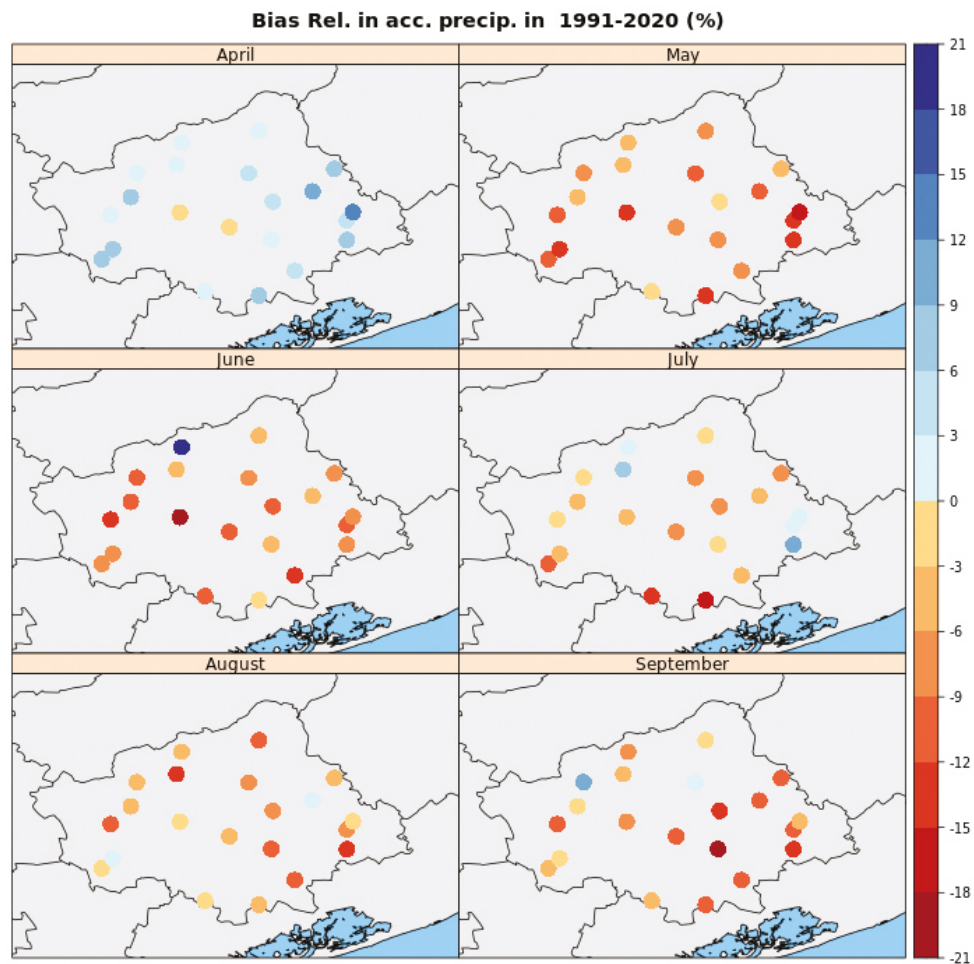


Figura A7

 Distorsioni relative (in %) nelle precipitazioni mensili cumulate (aprile-settembre).
 Nel complesso, si riscontra una certa sottostima per tutti i mesi, tranne che per aprile.
 Le distorsioni sono inferiori al 20% (cfr. Fig. 17).

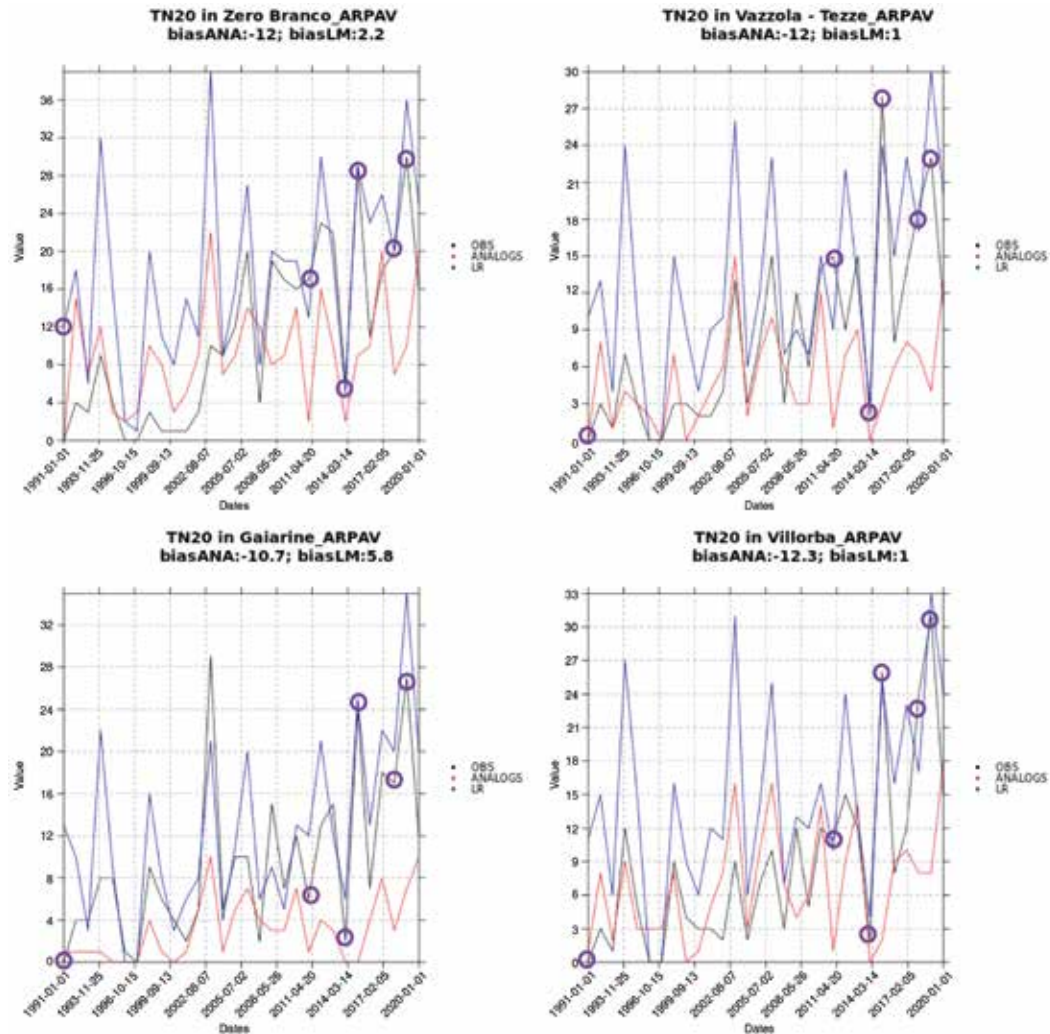


Figura A8

Evoluzione del numero di notti tropicali (TN20) per il periodo 1991-2020 riferita a quattro stazioni selezionate. Le osservazioni (in nero) vengono confrontate con le previsioni ottenute con il metodo analogico (in rosso) e la regressione lineare (in blu). In questo esperimento, i 6 anni più caldi (considerando la temperatura media in tutte le stazioni), ovvero 1991, 2011, 2014, 2015, 2018, 2019 (cerchi viola), vengono previsti utilizzando i restanti 24 anni (e più freddi) per la calibrazione, e viceversa. Le distorsioni in TN20 per i 6 anni più caldi (rappresentati con cerchi viola) sono mostrate nei titoli. La riduzione della distorsione con la regressione lineare rispetto al metodo analogico è evidente.



Consorzio di Tutela



Foto

Copertina: Massimo Doro

Interno del volume: Arcangelo Piaì

Banca immagini: pag.4, pag. 52

Impaginazione grafica

Barbara Pontello | Pontedilana

Stampa

Tipografia Faggionato

Il riuso, la redistribuzione e l'adattamento dei dati climatici e delle analisi qui presentati sono consentiti, previa corretta attribuzione degli autori e citazione esplicita della fonte



Pubblicazione stampata su carta certificata FSC®
Edizione 2026_02





Consorzio di Tutela



PROSECCO SUPERIORE
DAL 1876