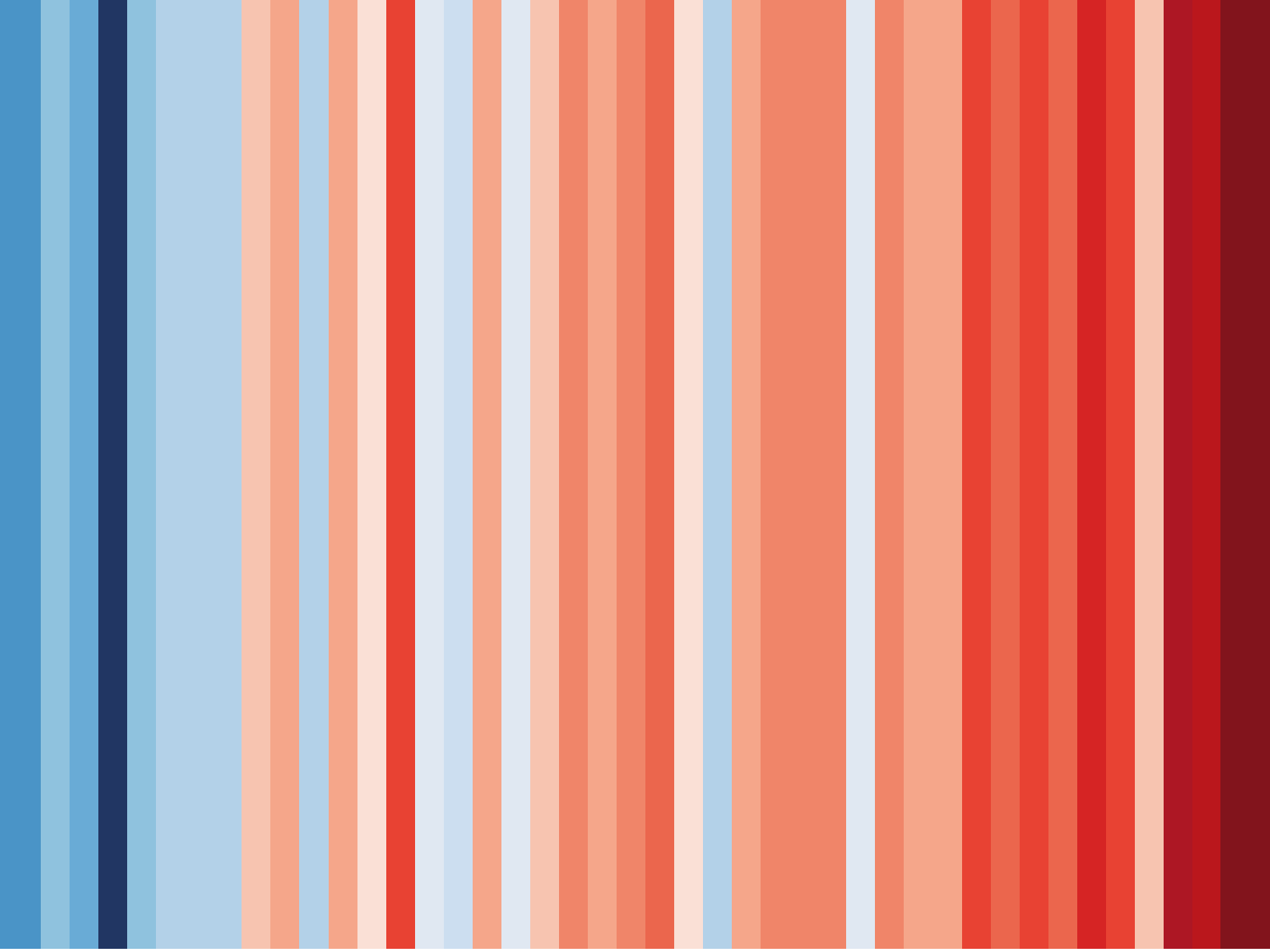


STRATEGIA DI ADATTAMENTO CLIMATICO

Primo report di monitoraggio climatico di Roma Capitale

ROMA

PIANO clima ROMA

cmcc Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici

Il **monitoraggio climatico** del Comune di Roma è il risultato della collaborazione tecnico-scientifica tra Roma Capitale e la Fondazione CMCC.

Questa sinergia ha portato alla redazione del presente report e alla realizzazione di un servizio interattivo accessibile su Dataclime, piattaforma gestita dal CMCC e consultabile previa registrazione gratuita.

dataclime.com

Autori

Paola Mercogliano, Alfredo Reder, Giuliana Barbato, Alessandro Bonfiglio, Giuseppe Giugliano, Davide Dansero, Mattia Scalas, Antonella Mele, Arianna Acierno

Contenuti e grafiche a cura di Fondazione CMCC

cmcc
Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici

Giugno 2025

ROMA

PIANO Clima ROMA

Indice

Indice 2

Premessa 4

Introduzione 6

Contesto e obiettivi del report 9

Riferimenti normativi e strategici 11

Metodologia 13

- Fonti dati 13
  - Stazioni meteorologiche 14
  - Fonte dataset VHR-REA_IT del CMCC 15
  - Fonte dati satellitari 16

Approccio al monitoraggio climatico e creazione di indicatori 16

Strumenti e tecnologie utilizzati 21

- Calcolo della Temperatura Superficiale 21

Analisi Climatiche del 2024 21

- Indicatori climatici da stazioni meteorologiche 22
- Indicatori climatici da dati climatici ad alta risoluzione 33
- Risultati da dati satellitari 59

Contributi alla Piattaforma 66

- Sintesi dei dati caricati sulla piattaforma Dataclime 66
- Indicazioni sull'uso e accesso ai dati 69

Conclusioni 76

Indice delle figure 78

Indice delle tabelle 82

Bibliografia 83

Premessa

La prima **Strategia di Adattamento climatico di Roma** approvata dall'Assemblea capitolina il 14 gennaio 2025 ha individuato le priorità, gli obiettivi e le misure per preparare la città allo scenario di impatti già in corso e di quelli che potranno intensificarsi come conseguenza dei processi di surriscaldamento del Pianeta. Il lavoro di elaborazione del documento ha visto il **coinvolgimento di tutti gli enti scientifici e di ricerca per ricostruire gli impatti in corso e i rischi per il territorio di Roma**, **i dati meteoclimatici e la valutazione degli scenari futuri di cambiamento climatico.**

La Strategia individua **quattro priorità principali da affrontare: piogge intense e alluvioni** che mettono a rischio quartieri e infrastrutture; **la sicurezza degli approvvigionamenti idrici** in uno scenario di riduzione delle precipitazioni e periodi più lunghi di siccità; l'adattamento dei quartieri alle **crescenti temperature** con conseguenze sulla salute delle persone; gli impatti sul litorale costiero dei **processi di erosione e di fenomeni di piogge e trombe d'aria sempre più violenti**, in uno scenario di innalzamento del livello del mare.

Per rispondere a queste sfide la Strategia individua gli obiettivi e le misure di adattamento indispensabili di fronte agli impatti in corso e a quelli prevedibili come conseguenza degli scenari climatici al 2050.

Una delle misure più importanti per accompagnare il percorso di attuazione della Strategia è la creazione di un **sistema di monitoraggio con l'obiettivo di comprendere l'evoluzione dei processi in corso** attraverso l'individuazione di un sistema di indicatori climatici – in linea con il **Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici** (**PNACC**) – e di definire una profilazione climatica che possa supportare le attività di adattamento e capire quali debbano essere adeguate e implementate.

Il primo rapporto di monitoraggio climatico della città di Roma è frutto della **collaborazione tecnico-scientifica tra Roma Capitale e la Fondazione CMCC** (**Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici**), e nasce con l'obiettivo di supportare il Comune nello sviluppo di strumenti efficaci per affrontare le sfide dell'adattamento ai cambiamenti climatici in ambiente urbano. La creazione di una **piattaforma online periodicamente aggiornata** consente di analizzare i rischi legati al cambiamento climatico e di approfondire in modo interattivo i diversi dati e indicatori del territorio comunale.

La piattaforma integra diverse fonti di dati per offrire una visione completa del clima attuale e della sua evoluzione.
In particolare, consente di monitorare gli indicatori climatici previsti dalla Strategia di

Adattamento di Roma Capitale e di individuare le aree più vulnerabili, come quelle soggette a isole di calore urbano.

Il servizio è composto da quattro sezioni principali, ognuna basata su una diversa fonte di dati:

- Stazioni meteorologiche
- Dataset ad alta risoluzione sviluppato dal CMCC
- Immagini satellitari
- Proiezioni climatiche

La piattaforma sarà aggiornata semestralmente per garantire che i risultati siano sempre allineati agli ultimi sviluppi e presentati in modo chiaro e accessibile.

Obiettivo di Roma Capitale è da un lato di **fornire uno strumento interattivo di informazione a disposizione dei cittadini** per comprendere i processi in corso e approfondire, ad esempio, i cambiamenti nella crescita delle temperature o nell'andamento delle piogge che sono da tempo evidenti nei quartieri della Capitale. Ma dall'altro è anche di **mettere a disposizione della comunità scientifica analisi aggiornate** che consentano di continuare il lavoro di ricerca e confronto che ha visto coinvolti enti di ricerca, istituzioni e università nella costruzione della Strategia di adattamento e che si vuole continuare con la sua attuazione per rafforzare resilienza e sicurezza di spazi urbani, territori e infrastrutture.

1 Introduzione

Introduzione

Questo documento rappresenta il primo rapporto di monitoraggio annuale realizzato nell'ambito della collaborazione tecnico-scientifica tra la **Fondazione CMCC** e **Roma Capitale**, finalizzata al co-sviluppo di strumenti di ricerca a supporto del Comune nella sfida dell'adattamento ai cambiamenti climatici in linea con le indicazioni della **Strategia di Adattamento ai Cambiamenti Climatici** approvata dalla giunta capitolina nel gennaio 2025.

Nello specifico, la collaborazione tecnico-scientifica tra Roma Capitale e Fondazione CMCC ha portato allo sviluppo di un **servizio climatico dedicato a supporto dell'adattamento al cambiamento climatico**, che permette di **visualizzare**, **monitorare** e **interpretare indicatori climatici** legati ai principali pericoli climatici che impattano sulla Capitale. I **report annuali**, di cui questo documento rappresenta il primo della serie, sono uno strumento a corredo e completamento dei contenuti presenti sulla piattaforma *Dataclime* nella convinzione che l'accesso a **informazioni climatiche chiare e accessibili** possa offrire una base solida e affidabile per la diffusione di conoscenza alla cittadinanza e per la pianificazione di futuri interventi di adattamento da parte del comune e degli altri soggetti coinvolti. Nel ciclo di **adattamento ai cambiamenti climatici**, questo documento e la piattaforma si inseriscono nella fase di **monitoraggio e valutazione**: azioni che trasformano la città, come l'aumento della superficie verde, vengono identificate e possono modificare il valore degli indicatori migliorando la capacità di adattamento complessiva della città.

Attraverso un approccio integrato al monitoraggio climatico, la piattaforma e il report mirano a fornire strumenti utili per supportare il processo di adattamento al cambiamento climatico della città. Coinvolgendo attivamente esperti e cittadini sia nel design che nella consultazione dei dati, la piattaforma cerca di promuovere un **processo di diffusione di consapevolezza climatica.**

Il **cambiamento climatico**, inteso come aumento delle temperature, variazione dei regimi di precipitazione e intensificazione degli eventi estremi, è una realtà con cui la città di Roma e i suoi cittadini devono imparare a convivere attraverso **politiche e azioni di adattamento non più rimandabili**.

Il 2024, come già il 2023, è stato l'anno più caldo mai registrato sia a livello globale che europeo. Lo rileva il programma *Copernicus*, il sistema di osservazione della Terra dell'Unione Europea, nel suo *European State of the Climate Report 2024* (**Figure 1, 2**).

Il riscaldamento globale procede a ritmi sempre più accelerati. Sempre secondo *Copernicus*, il 2024 è stato il **primo anno a superare la soglia di +1,5°C di temperatura media annua globale** rispetto al periodo preindustriale (1850–1900).

Questo valore supera il limite più ambizioso fissato dall'**Accordo di Parigi (COP21, 2015)**, che mira a contenere l'aumento delle temperature globali al di sotto di **1,5°C.**

L'Europa si conferma tra i continenti con il più rapido aumento delle temperature. Nel 2024, la temperatura media europea è risultata superiore di 1,47°C rispetto al periodo di riferimento 1991–2020, e addirittura di 2,92°C rispetto all'epoca preindustriale, registrando quindi un divario quasi doppio rispetto alla media globale (**Figura 3**).

Il Panel Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC) ha individuato il **bacino del Mediterraneo** come uno degli *hotspot* del riscaldamento globale, ovvero tra le aree del pianeta più vulnerabili agli effetti del cambiamento climatico. In questa regione si osservano infatti tendenze particolarmente marcate nell'aumento delle temperature marine e terrestri, rendendo il Mediterraneo una **zona prioritaria per le misure di adattamento**. Come Paese al centro del Mediterraneo, l'**Italia** è a sua volta notevolmente esposta agli effetti del cambiamento climatico, con i pericoli derivati dagli eventi estremi che rappresentano un rischio per infrastrutture, asset economici e salute delle persone. I contesti urbani, come **Roma**, amplificano a loro volta l'entità di questi rischi sia per caratteristiche intrinseche al tessuto urbano che ne aumentano la vulnerabilità (come il fenomeno dell'**isola urbana di calore**), sia per la grande concentrazione di **popolazione** e **attività**.

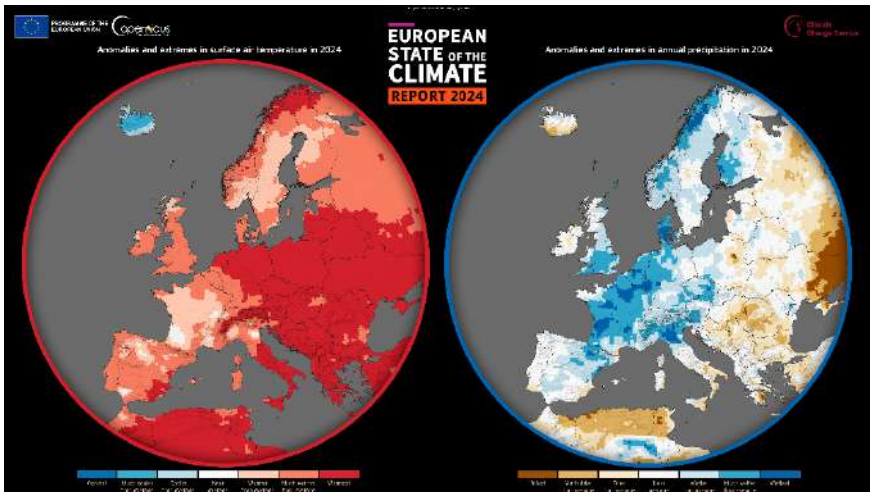


Figura 1 – Anomalie ed estremi nella temperatura superficiale e nella precipitazione annuale in Europa per il 2024. Dati ERA5 (1979-2024), periodo di riferimento 1991-2020. Credit: C3S/ECMWF.

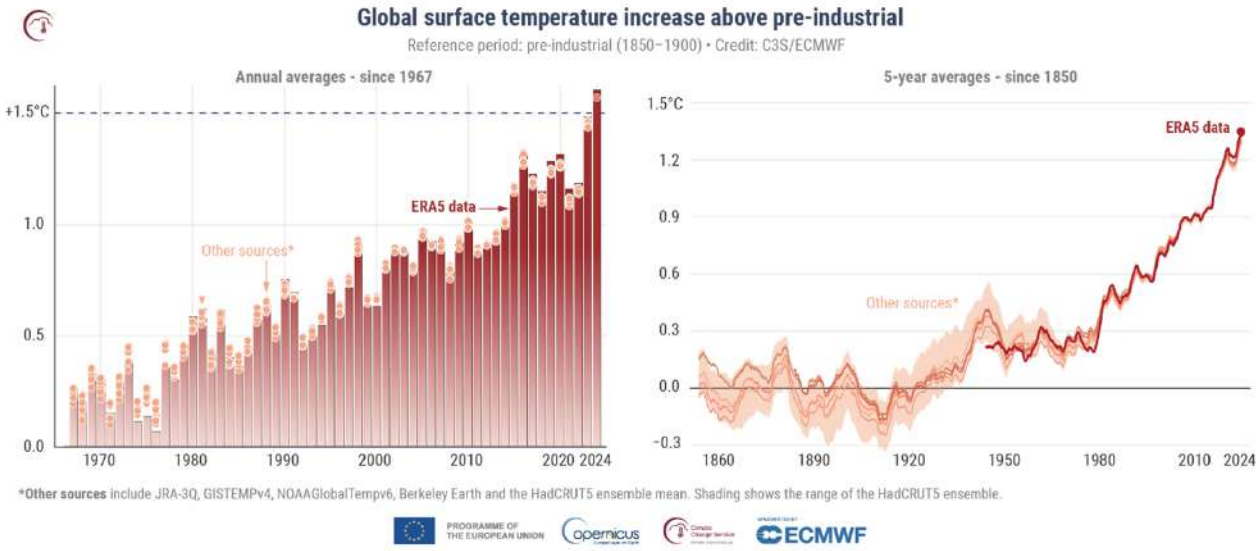


Figura 2 – Aumento della temperatura globale rispetto al periodo 1850-1900, sulla base di diversi set di dati sulla temperatura globale, mostrati come medie annuali dal 1967 e quinquennali dal 1850. Credit: C3S / ECMWF.

Key temperature statistics for 2024

Region	Anomaly (vs 1991–2020)	Actual temperature	Rank (out of 85 years)
Globe	**+0.72°C** (+1.60°C vs pre-industrial)	15.10°C	**1st highest** 2nd - 2023
Europe	**+1.47°C**	10.69°C	**1st highest** 2nd - 2020
Arctic	**+1.34°C**	-11.37°C	**4th highest** 1st - 2016
Extra-polar ocean	**+0.51°C**	20.87°C	**1st highest** 2nd - 2023

The European region is defined as 25°W-40°E, 34°-72°N. The extra-polar ocean region is defined as 60°N-60°S.
Statistics for *globe*, *Europe* and *the Arctic* refer to surface air temperatures, statistics for *extra-polar ocean* refer to the sea surface temperature. Temperatures for Europe and the Arctic are **over land only**.

Data source: ERA5 • Credit: C3S/ECMWF

Figura 3 – Statistiche chiave sulla temperatura per il 2024. Le statistiche per il globo, l'Europa e l'Artico si riferiscono alle temperature dell'aria superficiale, mentre le statistiche per gli oceani extrapolari si riferiscono alle temperature della superficie del mawre. Fonte dei dati: ERA5. Credits: C3S / ECMWF.

2 Contesto e obiettivi del report

Contesto e obiettivi del report

Il primo report di monitoraggio climatico fa parte della Convenzione Attuativa di Cooperazione Tecnico-Scientifica tra **Roma Capitale** e il **Centro euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC).** Tale convenzione biennale ha come obiettivo lo sviluppo di attività congiunte di ricerca finalizzate alla creazione di strumenti scientifici in grado di supportare le attività di adattamento al cambiamento climatico, attraverso il monitoraggio di variabili meteo-climatiche.

Il report si colloca nel contesto della **Strategia di Adattamento Climatico di Roma Capitale**, la quale mira a definire priorità, obiettivi e misure operative per adattare il territorio agli impatti climatici già in atto e a quelli attesi entro il 2050, secondo le proiezioni climatiche più aggiornate. La Strategia è stata redatta coinvolgendo enti di ricerca pubblici e privati e basandosi su un ampio ventaglio di conoscenze scientifiche necessarie a comprendere gli impatti in corso e futuri, in modo da comprendere i rischi e le vulnerabilità del territorio, delle persone, dell'economia.

La Strategia raccomanda l'individuazione di sistemi di monitoraggio efficaci e l'utilizzo di indicatori climatici quali strumenti imprescindibili per affrontare con consapevolezza le trasformazioni in corso. In questo contesto, la piattaforma e il primo report di monitoraggio climatico rappresentano degli strumenti scientifici e divulgativi volti a fornire alla cittadinanza una panoramica aggiornata e affidabile sul cambiamento climatico nel territorio capitolino con riferimento all'anno **2024**.

Il documento si avvale del servizio di monitoraggio climatico sviluppato sulla piattaforma *Dataclime* del **CMCC**, concepito per rendere più accessibili e comprensibili i dati climatici a diverse tipologie di utenza.

Il servizio consente il monitoraggio di alcune tra le principali variabili meteorologiche, quali la **temperatura** e le **precipitazioni**, attraverso l'uso integrato di indicatori climatici. Questi ultimi sono calcolati a partire da una combinazione di dati provenienti da **stazioni meteorologiche locali,** da **immagini satellitari** e da **modelli climatici**. Questo approccio multilivello consente un'analisi approfondita e dettagliata delle condizioni atmosferiche della città.

La **Figura 4** presenta la struttura del sistema di monitoraggio climatico, articolata in tre componenti principali: le fonti di dati utilizzate come input, le modalità di analisi basate su indicatori climatici e variabili derivate, e infine la restituzione dei risultati, resa disponibile attraverso questo report e la piattaforma digitale dedicata.

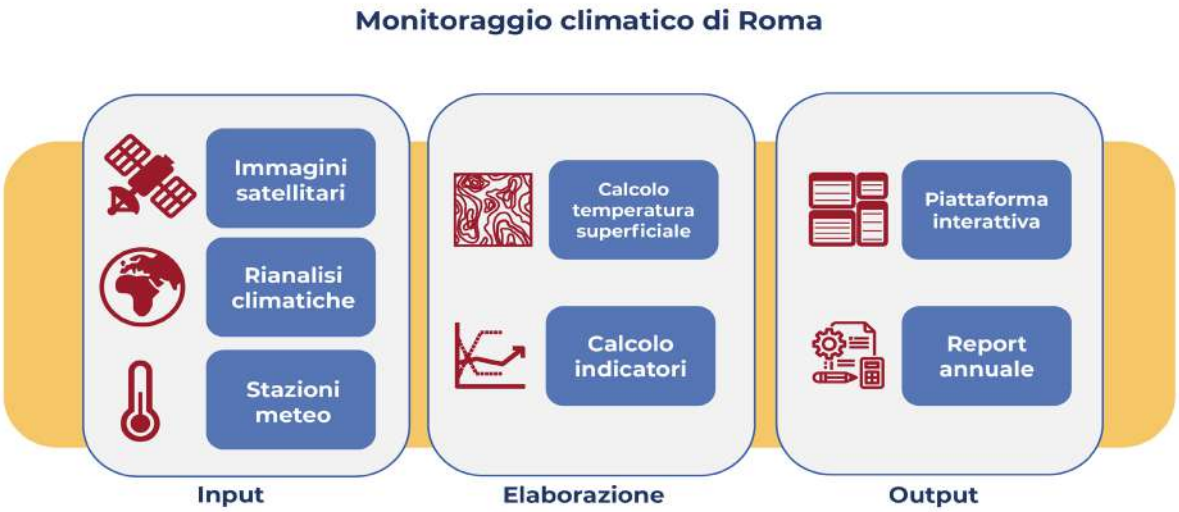


Figura 4 – Schema metodologico della attività svolte nell'ambito della costruzione del report di monitoraggio e della piattaforma interattiva.

Oltre a fornire un quadro aggiornato delle dinamiche climatiche in corso, questo lavoro intende anche sensibilizzare la cittadinanza sull'importanza della conoscenza del clima urbano e sull'utilità di strumenti digitali per supportare scelte informate in ambito ambientale, urbano e sociale. Infine, si propone anche come **riferimento scientifico** per il monitoraggio continuo dell'andamento climatico di Roma, in linea con gli obiettivi e le azioni delineati nella Strategia di Adattamento.

3 Riferimenti normativi e strategici

Riferimenti normativi e strategici

Il presente report si inquadra all'interno di una serie di riferimenti normativi su scala europea, nazionale, regionale e metropolitana.

Sul piano europeo, il 24 febbraio 2021, la **Commissione Europea**, attraverso la Comunicazione "*Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*" ha adottato la **Strategia dell'UE sull'Adattamento ai Cambiamenti Climatici.** Questa Strategia delinea una visione a lungo termine per rendere l'Unione una società resiliente al clima, pienamente adattata agli impatti dei cambiamenti climatici entro il 2050. Essa mira a rafforzare la capacità di adattamento dell'UE e del mondo, riducendo al minimo la vulnerabilità agli effetti del cambiamento climatico, in linea con **l'Accordo di Parigi** e **la Legge europea sul clima**, che traduce in legge l'obiettivo stabilito nel **Green Deal europeo**. La legge riconosce l'adattamento come un elemento chiave della risposta globale a lungo termine ai cambiamenti climatici e impone agli Stati membri e all'Unione di potenziare la propria capacità di adattamento, rafforzare la resilienza e ridurre la vulnerabilità ai cambiamenti climatici. Introduce inoltre l'obbligo di predisporre e attuare strategie nazionali di adattamento.

Un fondamentale strumento per il monitoraggio e il supporto dell'adattamento ai cambiamenti climatici in Europa è la piattaforma *Climate-ADAPT*, frutto del partenariato tra la Commissione europea e l'**Agenzia europea dell'ambiente** (AEA). *Climate-ADAPT* è gestito dall'AEA con il sostegno del Centro tematico europeo sugli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici (ETC/CCA).

Nell'ambito delle iniziative di ricerca e sviluppo, le **5 Missioni dell'Unione Europea** definiscono una serie di obiettivi e un ruolo innovativo per la ricerca finanziata dall'Unione Europea, con nuove forme di governance, collaborazione e impatto. In particolare, la missione "**Città climaticamente neutre e intelligenti**" ha due obiettivi specifici: rendere 100 città intelligenti e a impatto climatico zero entro il 2030 e garantire che queste città fungano da poli di sperimentazione e innovazione per consentire a tutte le città europee di seguire l'esempio entro il 2050. Roma Capitale è uno dei nove comuni italiani selezionati da questa missione. In questo contesto il comune dovrà stilare il **Contratto Città Clima** (CCC), strumento di governance collaborativa per incentivare il processo di neutralità climatica delle città europee. Questo "contratto" con la città dovrà includere gli impegni strategici, le azioni e gli investimenti.

1. Gli Impegni di Neutralità Climatica nascono da un processo di co-creazione con gli attori locali, regionali e nazionali.

È in questo contesto che le città delineano la loro ambizione per il 2030, le modalità per realizzarla e gli impegni specifici assunti dalle parti interessate nel contratto.

2. Il Piano d'Azione identifica i punti di forza e le lacune delle strategie, delle politiche e dei piani già esistenti a livello cittadino. Da questa analisi viene costruito un portafoglio di interventi coordinato con il Piano di Investimenti per raggiungere l'obiettivo al 2030.

3. Il Piano di Investimenti sviluppa un piano economico e finanziario a lungo termine volto a mobilitare strategicamente le risorse pubbliche e definire le modalità per attrarre capitali privati al fine di finanziare i percorsi delle città verso la neutralità climatica.

A livello nazionale la **Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici** (SNAC) del 2015 analizza lo stato delle conoscenze scientifiche sugli impatti e sulla vulnerabilità ai cambiamenti climatici per i principali settori ambientali e socioeconomici in Italia e presenta un insieme di proposte e criteri d'azione per affrontare le conseguenze di tali cambiamenti e ridurne gli impatti. L'obiettivo generale dell'adattamento è stato declinato nella SNAC in obiettivi specifici da perseguire, indicando come elementi di importanza primaria per attuare un'efficace strategia di adattamento. Il **Piano nazionale di adattamento climatico** (PNACC) del 2023 è il seguito attuativo della SNAC. L'obiettivo principale del PNACC è fornire un quadro di indirizzo nazionale per l'implementazione di azioni finalizzate a minimizzare i rischi derivanti dai cambiamenti climatici, a migliorare la capacità di adattamento dei sistemi socioeconomici e naturali, e a trarre vantaggio dalle eventuali opportunità che si potranno presentare con le nuove condizioni climatiche.

A livello Regionale, la Strategia di Adattamento Climatico di Roma Capitale si coordina con la **Strategia di Sviluppo Sostenibile: il Contributo dell'Adattamento ai Cambiamenti Climatici** (SRSvS) predisposta dalla regione Lazio.

Il presente report origina dalle azioni previste nell'ambito della **Strategia di Adattamento Climatico di Roma Capitale**, presentata il 23 gennaio del 2024 e approvata nel gennaio del 2025. La Strategia si prefigge di preparare la città agli impatti, presenti e futuri fino al 2050, del cambiamento climatico e rappresenta uno **strumento per individuare le priorità di intervento**, mantenendo al contempo flessibilità di fronte all'incertezza e alla non linearità degli impatti da affrontare. È il risultato di un processo di consultazione e dialogo tra il comune e diversi attori istituzionali, sociali ed economici coinvolti a vario titolo nel percorso di adattamento.

4 Metodologia

Metodologia

Fonti dati

Al fine di garantire precisione, accuratezza e completezza dei dati, **questo report integra fonti di diversa origine ad accesso pubblico**. In particolare, vengono utilizzati i dati puntuali derivati dalle **osservazioni delle stazioni meteorologiche** presenti sul territorio romano, **i dati grigliati ad altissima risoluzione realizzato dal CMCC** (**VHR-REA_IT**, Raffa et al. 2021, Adinolfi et al. 2023), basato su *downscaling* della rianalisi ERA5 di ECMWF e un **campione di immagini satellitari** combinando l'accuratezza dell'osservazione diretta con l'ampiezza di copertura spaziale e temporale dei modelli e delle osservazioni remote.

La diversa natura di questi dati richiede una particolare **attenzione nell'interpretazione dei risultati**. Le stazioni meteorologiche, anche se numerose, coprono solo un'area limitata della città e in maniera puntuale, mentre i dati su griglia basati su rianalisi climatica del CMCC e i dati satellitari si riferiscono all'intera area del Comune di Roma. Di conseguenza, il confronto tra fonti differenti può generare discrepanze anche rilevanti nei risultati, soprattutto considerando l'estensione del territorio comunale e la presenza di marcate differenze microclimatiche al suo interno.

Stazioni meteorologiche

I dati rilevati delle stazioni meteorologiche sono stati utilizzati per calcolare gli indicatori climatici presentati in questo report. L'elaborazione di questi indicatori ha richiesto l'impiego di serie giornaliere di temperatura e precipitazione rilevate da **25 pluviometri e 6 termometri** appartenenti alla **rete di stazioni di monitoraggio gestita dall'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale (AUBAC)**. I dati relativi al 2024 sono stati ottenuti attraverso il *Webgis Digital Twin* sviluppato e gestito da AUBAC[1].

1 La consultazione dei dati da stazioni meteorologiche presenti sul portale gestito da AUBAC è accessibile al seguente link: https://webgis.abdac.it/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=c59f7b386ca24729852cf2dcf8e2f936

Per il calcolo del **periodo di riferimento 1991-2020**, indispensabile per l'analisi comparativa, sono stati utilizzati i dati disponibili e scaricabili sul **Sistema nazionale per l'elaborazione e diffusione di dati climatici (SCIA)** gestito dall'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA)[2].

In **Tabella 1** sono riportati i nomi e la tipologia per tutte le stazioni meteorologiche utilizzate come fonte dati per questo report e per la piattaforma.

Nome	Tipologia	Nome	Tipologia
Collegio Romano	Pluviometro	Collegio Romano	Termometro
Roma Macao	Pluviometro	Roma Macao	Termometro
Aniene a Lunghezza	Pluviometro	Roma Sud	Termometro
Fosso di Pratolungo	Pluviometro	Roma Monte Mario	Termometro
Flaminio	Pluviometro	Massimina	Termometro
Roma Nord	Pluviometro	Roma EUR	Termometro
Ottavia	Pluviometro		
Capannacce	Pluviometro		
Acqua Acetosa	Pluviometro		
Monte Mario	Pluviometro		
Roma Est	Pluviometro		
Cassiodoro	Pluviometro		

2 La consultazione dei dati dal sistema nazionale per l'elaborazione e diffusione di dati climatici SCIA è accessibile al seguente link: https://scia.isprambiente.it/servertsdailyutm/serietemporalidaily400.php

Eleniano	Pluviometro		
Aurelio	Pluviometro		
Ostiense	Pluviometro		
Casilino	Pluviometro		
Eur	Pluviometro		
Roma Sud	Pluviometro		
Acilia	Pluviometro		
Falcognana	Pluviometro		
Ostia	Pluviometro		
Roma Bufalotta	Pluviometro		
Rosolino Pilo	Pluviometro		
Roma Monte Mario	Pluviometro		
Roma EUR	Pluviometro		

Tabella 1 – Nomi e tipologia delle stazioni meteorologiche utilizzate come fonti dati del report. Credits: AUBAC.

Fonte dataset VHR-REA_IT del CMCC

Insieme ai dati forniti dalle stazioni meteorologiche è stato utilizzato il dataset VHR-REA_IT ad altissima risoluzione (circa 2 km) realizzato dal CMCC (Raffa et al; 2021, Adinolfi et al. 2023) e basato su rianalisi. I dati di rianalisi sono dataset meteorologici che rappresentano una **ricostruzione coerente e omogenea dello stato dell'atmosfera nel passato**, ottenuta combinando le osservazioni reali con modelli numerici di simulazione atmosferica. Uno dei principali punti di forza dell'utilizzo di questi dati è la possibilità di realizzare una **mappatura completa e ad alta risoluzione spaziale**, nonché di costruire serie temporali su base annuale e mensile e mappe stagionali, utili a identificare le tendenze temporali degli indicatori climatici e la loro variazione

Nel dettaglio, il dataset VHR-REA IT è ottenuto localizzando dinamicamente la rianalisi ERA5 attraverso il modello regionale climatico (RCM) COSMO-CLM (Rockel at al. 2008), sviluppato dalla *CLM Assembly* con cui la Fondazione CMCC collabora. ERA5 rappresenta la quinta rianalisi globale prodotta dal Centro Europeo per le Previsioni Meteorologiche a Medio Termine (E*uropean Center Medium Weather Forecast*, ECMWF) e fornisce dati dal 1979 ai giorni nostri con risoluzione spaziale di circa 31 km e risoluzione temporale di un'ora.

Fonte dati satellitari

Le immagini satellitari sono state utilizzate per il monitoraggio della temperatura superficiale e acquisite dal satellite **Landsat 8 con risoluzione spaziale di 30 metri**. Il satellite trasporta due strumenti: l'*Operational Land Imager* (OLI) e il *Thermal InfraRed Sensor* (TIRS). La manipolazione dei dati provenienti dai due sensori consente di visualizzare la distribuzione spaziale della temperatura superficiale, fondamentale per caratterizzare l'isola di calore urbana, ovvero quel fenomeno tipico delle aree maggiormente urbanizzate in cui si rileva una temperatura più alta nell'area urbana rispetto alla campagna circostante. I dati di temperatura superficiale sono disponibili con una frequenza di circa 16 giorni (legata al ciclo di sorvolo del satellite sull'area).

Approccio al monitoraggio climatico e creazione di indicatori

L'**analisi climatica** presentata in questo report fornisce una rappresentazione dettagliata del clima attuale e delle sue tendenze future per la città di Roma, attraverso una lista di **indicatori climatici** opportunamente selezionati sulla base del contesto locale nell'ambito della Strategia di adattamento di Roma Capitale e in linea con quelli identificati a livello nazionale dal Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico (PNACC 2023). Questi indicatori, basati su temperatura e precipitazione, permettono di determinare e investigare l'evoluzione di specifiche caratteristiche del clima (ondate di calore, piogge intense, siccità meteorologica) in termini di variazione di frequenza, magnitudo ed intensità.

Gli indicatori sono stati selezionati in base alla loro compatibilità con le variabili disponibili, ricavate sia dalle stazioni meteorologiche che dal dataset ad alta risoluzione del CMCC. Tali indicatori consentono di analizzare sia i **valori medi** (ad esempio, l'andamento annuale e stagionale della temperatura e delle precipitazioni), sia i **valori estremi**, ovvero eventi che si discostano significativamente dalla media climatologica di riferimento e che presentano una bassa probabilità di accadimento. In particolare, gli **indicatori climatici** sono ampiamente utilizzati per descrivere l'intensità e la frequenza di tali eventi estremi, con un focus specifico su episodi di precipitazioni intense e ondate di calore o freddo, risultando fondamentali per la definizione di strategie di adattamento climatico a scala urbana.

Gli indicatori utilizzati per questo report e per il servizio climatico sono riassunti nella seguente **Tabella 2** che comprende il nome dell'indicatore, la descrizione di come viene calcolato e il pericolo climatico a cui viene associato. Gli acronimi utilizzati per richiamare gli indicatori sono in lingua inglese.

Indicatore [unità di misura]	Descrizione	Pericolo climatico rappresentato
TG – Temperatura media giornaliera [°C]	Media della temperatura giornaliera	Aumento delle temperature
WSDI – Indice di durata dei periodi di caldo [giorni]	Numero di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile della temperatura massima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi	Ondate di caldo
HUMIDEX4 – Indice di disagio termico elevato classe 4 [giorni]	Misura del calore percepito che risulta dall'effetto combinato dell'umidità e della temperatura. Categoria 4: numero di giorni in cui l'indice HUMIDEX è compreso tra 40°C e 45°C	Disagio termico
HUMIDEX5 – Indice di disagio termico estremo classe 5 [giorni]	Misura del calore percepito che risulta dall'effetto combinato dell'umidità e della temperatura. Categoria 5: numero di giorni in cui l'indice HUMIDEX è maggiore di 45°C	Disagio termico

SU95p – Giorni estivi [giorni]	Numero di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 29.2°C. Tale soglia è stata definita per il territorio italiano (PNACC)	Disagio termico
HDDs – Gradi/giorno di riscaldamento [GG]	Somma di 18°C meno la temperatura media giornaliera, se la temperatura media giornaliera è minore di 15°C	Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffreddamento
CDDs – Gradi/giorno di raffrescamento [GG]	Somma della temperatura media giornaliera meno 21°C se la temperatura media giornaliera è maggiore di 24°C	Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffreddamento
TR – Notti tropicali [giorni]	Numero di giorni con temperatura minima giornaliera superiore a 20°C	Disagio termico
TR25 – Notti torride [giorni]	Numero di giorni con temperatura minima giornaliera superiore a 25°C	Disagio termico
HD – Giorni caldi [giorni]	Numero di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 30°C.	Ondate di caldo

HW – Ondate di caldo o Giorni torridi [giorni]	Numero di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 35°C.	Ondate di caldo
HWN – Numero ondate di calore [numero]	Numero di ondate di calore. L'ondata di calore è individuata dal superamento, per almeno 3 giorni consecutivi del 90° percentile della temperatura massima, valutato su una finestra mobile di 31 giorni nel trentennio di riferimento.	Ondate di caldo
CSDI – Indice di durata dei periodi di freddo [giorni]	Numero di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore al 10° percentile della temperatura minima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi.	Ondate di freddo
FD – Giorni con gelo [giorni]	Numero di giorni con temperatura minima giornaliera inferiore a 0°C.	Ondate di freddo
PRCPTOT – Precipitazione cumulata totale nei giorni piovosi [mm]	Cumulata (somma) della precipitazione giornaliera per i giorni con precipitazione maggiore/ uguale a 1 mm.	Dissesto geo-idrologico
R20 – Giorni con precipitazione intensa [giorni]	Numero di giorni in cui la precipitazione giornaliera supera i 20 mm	Dissesto geo-idrologico

RX1DAY – Massima precipitazione in 1-giorno [mm]	Valore massimo di precipitazione giornaliera per i giorni con precipitazione giornaliera maggiore o uguale a 1 mm	Dissesto geo-idrologico
SDII – Indice di intensità di precipitazione giornaliera [mm/giorno]	Somma della precipitazione giornaliera divisa per il numero di giorni in cui la precipitazione giornaliera è maggiore o uguale a 1 mm	Dissesto geo-idrologico
CDD – Giorni consecutivi secchi [giorni]	Numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera minore di 1 mm	Siccità
WD - Giorni caldi e secchi [giorni]	Numero di giorni con temperatura media giornaliera maggiore del 75° percentile della temperatura giornaliera, e con precipitazione giornaliera minore del 25° percentile di precipitazione giornaliera	Impatti su Salute, Agricoltura, Infrastrutture
WW - Giorni caldi e umidi [giorni]	Numero di giorni con temperatura media giornaliera maggiore del 75° percentile della temperatura giornaliera, e con precipitazione giornaliera maggiore del 75° percentile di precipitazione giornaliera	Impatti su Salute, Agricoltura, Infrastrutture
PET – Evapotraspirazione potenziale [mm]	Evapotraspirazione potenziale mensile calcolata secondo la formula di Thornthwaite.	Siccità

FWI – Indice di pericolo incendi [numero]	È un indice di pericolo da incendi basato su informazioni meteorologiche. Più è alto il valore dell'indice, più le condizioni meteorologiche favoriscono lo scoppio di incendi.	Incendi

Tabella 2 – Quadro generale degli indicatori di pericolo climatico adottati nel monitoraggio.

Strumenti e tecnologie utilizzati

Calcolo della Temperatura Superficiale

Il calcolo della temperatura superficiale è stato effettuato dalle immagini satellitari di Landsat 8 attraverso una serie di passaggi che combinano emissività della superficie e temperatura di brillanza. Dai sensori OLI-TIRS del satellite vengono estratte le bande spettrali 4,5 e 10: le prime due vengono utilizzate per ricavare il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), dal quale viene calcolata la proporzione di vegetazione e infine l'emissività della superficie. Dallaww banda 10 viene ricavata la radianza al top dell'atmosfera che una volta trasformata in temperatura di brillanza viene utilizzata insieme all'emissività per calcolare la **Temperatura Superficiale**.

La qualità del dato satellitare è influenzata dalla presenza di copertura nuvolosa. Per questo motivo, seguendo le indicazioni dello *United States Geological Survey* (USGV) e dalla *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), è stata stabilita una soglia di pixel come limite di qualità massimo accettabile al di sopra del quale il segnale satellitare viene considerato nullo e sostituito con un valore non numerico (NaN) che non incide sulle analisi.

5 Analisi Climatiche del 2024

Analisi Climatiche del 2024

Indicatori climatici da stazioni meteorologiche

La seguente sezione è dedicata ai risultati dal monitoraggio climatico attraverso le stazioni meteorologiche presenti sul territorio romano. Le **31 stazioni meteorologiche** – 25 pluviometri e 6 termometri – utilizzate come fonte dati per la seguente analisi coprono buona parte dell'area del Comune di Roma come riportato in **Figura 5**: si va dal pluviometro di Ostia a sud a quello Flaminio a nord, dal pluviometro di Aniene a Lunghezza al confine orientale del comune al termometro di Massimina a ovest e passando per numerosi termometri e pluviometri nelle aree centrali della città.

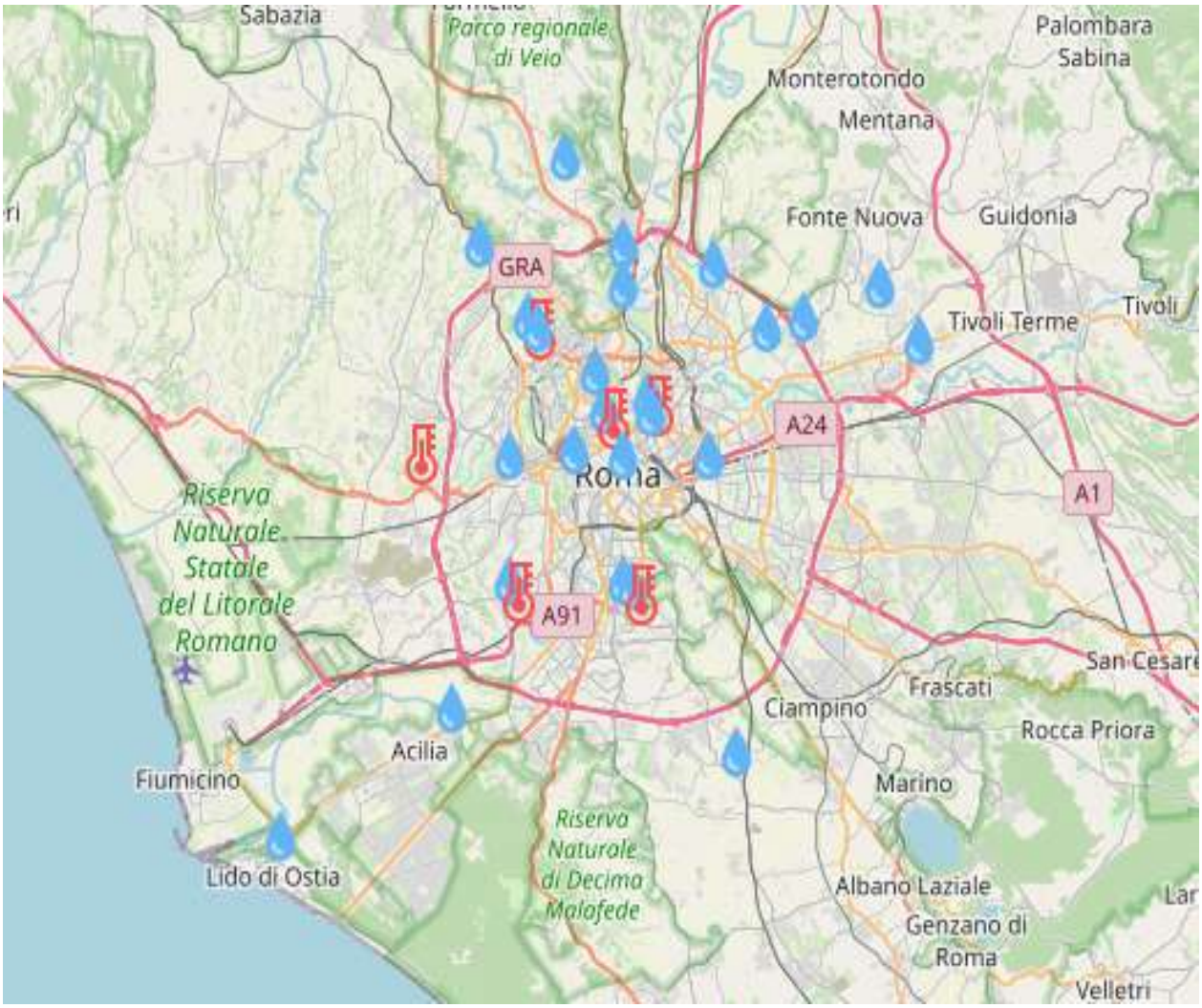


Figura 5 – Mappa delle stazioni meteorologiche romane.

La **Tabella 3** mostra i valori degli indicatori di temperatura calcolati a partire dai dati rilevati dalle stazioni meteorologiche distribuite sul territorio di Roma. I valori fanno riferimento all'anno 2024 e includono, per ciascun indicatore, la media tra le stazioni, il valore medio minimo e massimo osservato, la deviazione standard, nonché l'anomalia rispetto al periodo di riferimento 1991–2020.

Per il 2024 i termometri hanno riscontrato una **temperatura media giornaliera di 18,7°C**, con un'anomalia positiva di 1,9 °C. Per quanto riguarda i **Gradi giorno di raffrescamento** e i **Gradi giorno di riscaldamento**, indicatori che stimano il fabbisogno energetico per il condizionamento degli ambienti interni rispettivamente durante l'estate e l'inverno — è interessante osservare **un netto aumento dei valori di raffrescamento** e, al contrario, **una marcata riduzione di quelli di riscaldamento**. Gli indicatori legati al freddo, l'**Indice di durata dei periodi di freddo** e i **Giorni con gelo,** hanno riscontrato valori nulli per tutto il 2024, con anomalie rispettivamente di –4 giorni e –6 giorni.

Tutti gli indicatori rimanenti, legati a **periodi di caldo** — in particolare durante l'estate e in corrispondenza delle ondate di calore — **mostrano valori e anomalie positive.** Ciò evidenzia come il 2024 sia stato caratterizzato da condizioni termiche particolarmente elevate, con eventi estremi di caldo più frequenti e intensi rispetto alla media del periodo di riferimento.

	Media	Minima	Massima	Deviazione standard	Anomalia
TG – Temperatura media giornaliera [°C]	18,7	18,0	19,9	0,7	1,9
CDDs – Gradi/giorno di raffrescamento [GG]	582	469	723	91	207
HDDs – Gradi/giorno di riscaldamento [GG]	793	374	983	216	-334
CSDI – Indice di durata dei periodi di freddo [giorni]	0	0	0	0	-4
FD – Giorni con gelo [giorni]	0	0	0	0	-6
HD – Giorni tropicali [giorni]	76	64	83	7	14

HW – Ondate di caldo o Giorni torridi [giorni]	31	15	53	13	22
HWN – Numero ondate di calore [giorni]	2	0	3	1	1
SU95p – Giorni estivi [giorni]	82	73	91	6	9
TR – Notti tropicali [giorni]	68	46	83	14	30
TR25 – Notti torride [giorni]	9	0	22	8	8
WSDI – Indice di durata dei periodi di caldo [giorni]	21	6	43	15	17

Tabella 3 - valori degli indicatori di temperatura calcolati a partire dai dati rilevati dalle stazioni meteorologiche nel territorio di Roma

La **Tabella 4** riporta i risultati del monitoraggio relativi agli indicatori di precipitazione. Anche in questo caso, i dati fanno riferimento all'anno 2024 e includono, per ciascun indicatore, il valore medio tra le stazioni, la stazione con il valore minimo e il massimo registrato, oltre all'anomalia rispetto al periodo climatico di riferimento 1991–2020. Secondo i dati da stazioni, la precipitazione totale su Roma è stata di 584 mm, con un'anomalia di –132 mm rispetto al periodo 1991-2020. Per tutti gli indicatori che misurano precipitazioni intense, come i **Giorni con precipitazione intensa,** la **Massima precipitazione in 1 giorno** e l'**Indice di intensità di precipitazione giornaliera**, le anomalie rispetto alla media 1991-2020 sono negative. Infine, per l'indicatore di siccità, **Giorni consecutivi secchi**, sono stati misurati 46 giorni consecutivi senza pioggia con un'anomalia di 7 giorni rispetto al 1991-2020.

Questi risultati evidenziano come il 2024 sia stato, in generale, un anno r**elativamente poco piovoso secondo tutti gli indicatori considerati.**

	Media	Minima	Massima	Deviazione standard	Anomalia
PRCPTOT – Precipitazione cumulata totale nei giorni piovosi [mm]	584	449	679	57	-132
R20 – Giorni con precipitazione intensa [giorni]	7	2	12	2	-2
RX1DAY – Massima precipitazione in 1-giorno [mm]	42	25	84	13	-17
SDII – Indice di intensità di precipitazione giornaliera [mm/giorno]	9	7	10	1	-1
CDD – Giorni consecutivi secchi [giorni]	46	27	58	10	7

Tabella 4 - Valori degli indicatori di precipitazione calcolati a partire dai dati rilevati dalle stazioni meteorologiche nel territorio di Roma.

In **Figura 6**, sono riportati tutti gli indicatori calcolati a partire dai dati dei termometri considerati. La rappresentazione, in **formato radar**, mostra per ciascun indicatore di temperatura la posizione relativa degli anni dal 1991 al 2024 in base ai valori crescenti degli indicatori: l'ultima posizione (34) corrisponde all'anno con il valore più basso, mentre la prima posizione rappresenta l'anno con il valore più elevato. Ad esempio, per l'indicatore Temperatura media giornaliera, l'anno 2024, che ha registrato il valore più alto dell'intero periodo, occupa la prima posizione, mentre l'anno con la temperatura media più bassa si trova in ultima posizione. Lo stesso criterio di ordinamento è stato applicato a tutti gli altri indicatori. La linea nera evidenzia il 2024: per ciascun indicatore, il valore in rosso rappresenta la posizione occupata dal 2024 nella classifica ordinata.

Questo tipo di analisi permette di evidenziare come si colloca il 2024, in termini di temperature e di pericoli climatici, rispetto al periodo 1991-2024. Si osserva chiaramente come il 2024 detenga il primato per diversi indicatori legati al caldo, tra cui **Temperatura media giornaliera**, le **Ondate di caldo**, il **Numero di ondate di calore** e l'**Indice di durata dei periodi caldi**.

In base ai dati da stazioni meteorologiche, il **2024 è stato l'anno più caldo e con il maggior numero di ondate di calore dal 1991**. É stato anche il quarto anno per **Notti tropicali**, cioè notti con temperature minime maggiori di 20°C, e per **Gradi Giorno di raffrescamento**, cioè il quarto anno con fabbisogno termico di raffrescamento più alto del periodo. Considerando gli indicatori legati al freddo, invece, il 2024 si colloca agli ultimi posti della serie per **Giorni di Gelo**, il quale indica i giorni con temperature minime sotto lo 0°C in un anno, per l'**Indice di durata periodi di freddo**, che considera periodi di almeno sei giorni consecutivi di giorni freddi, e per **Gradi giorno di riscaldamento**, il quale indica il fabbisogno termico di riscaldamento per l'anno.

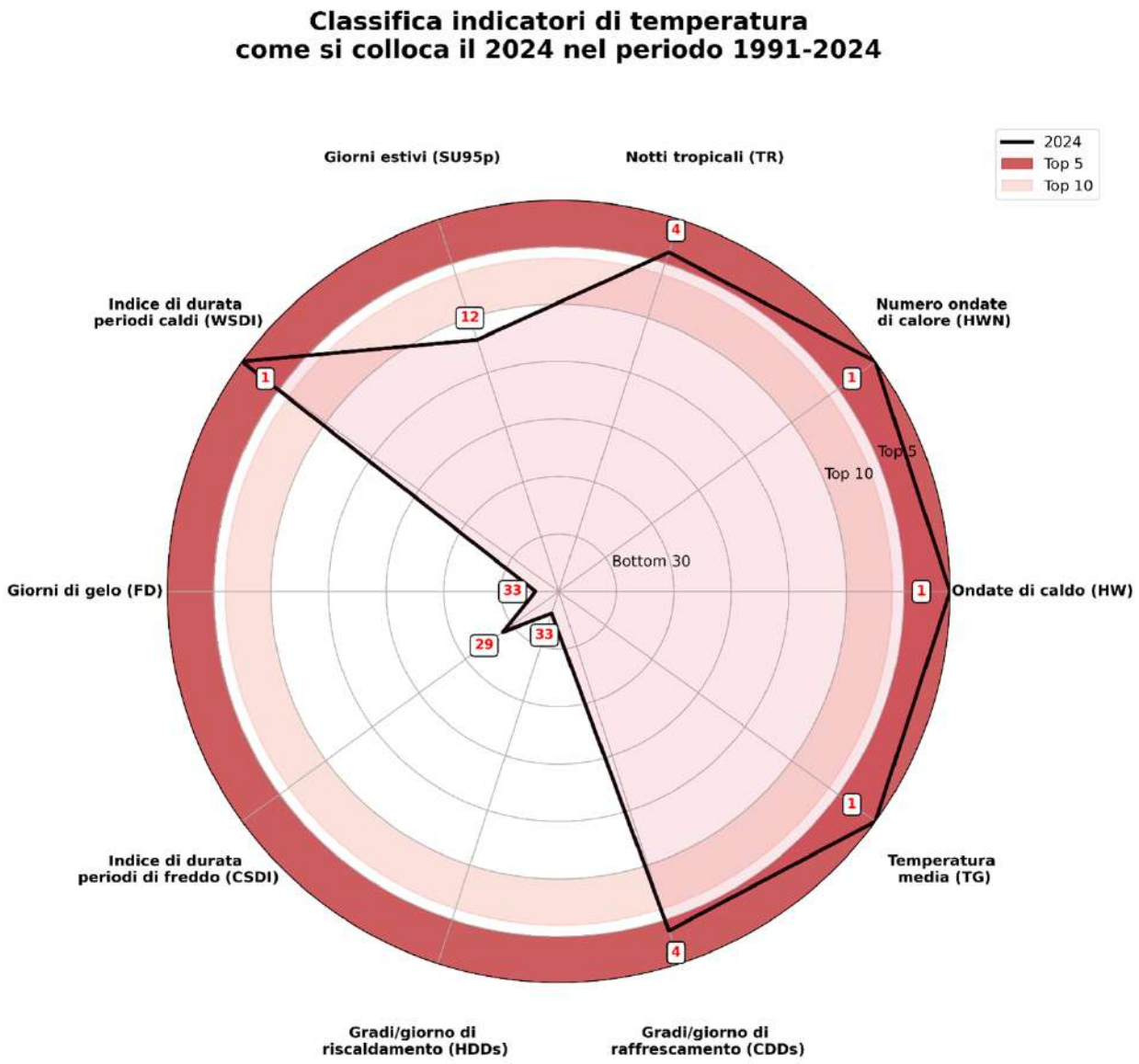


Figura 6 – Classifica degli indicatori di temperatura: il 2024 rispetto al periodo 1991-2024.

Similmente alla figura precedente, il radar in **Figura 7 rappresenta la classifica degli anni per ciascun indicatore di precipitazione, calcolato con i dati da pluviometri. Anche in questo caso, l'anno 2024 è evidenziato con la linea in blu**: per ogni indicatore, il valore in blu indica la posizione occupata dal 2024 nella classifica ordinata. Nel complesso, il 2024 si colloca in **posizioni intermedie** rispetto al periodo 1991–

2024. In particolare, risulta essere il **decimo anno** per l'indicatore **Giorni consecutivi secchi**, che misura la durata dei periodi siccitosi. Per gli altri indicatori, invece, il 2024 si posiziona **verso il fondo della classifica**, suggerendo che sia stato un anno **relativamente poco piovoso** rispetto alla media del periodo analizzato.

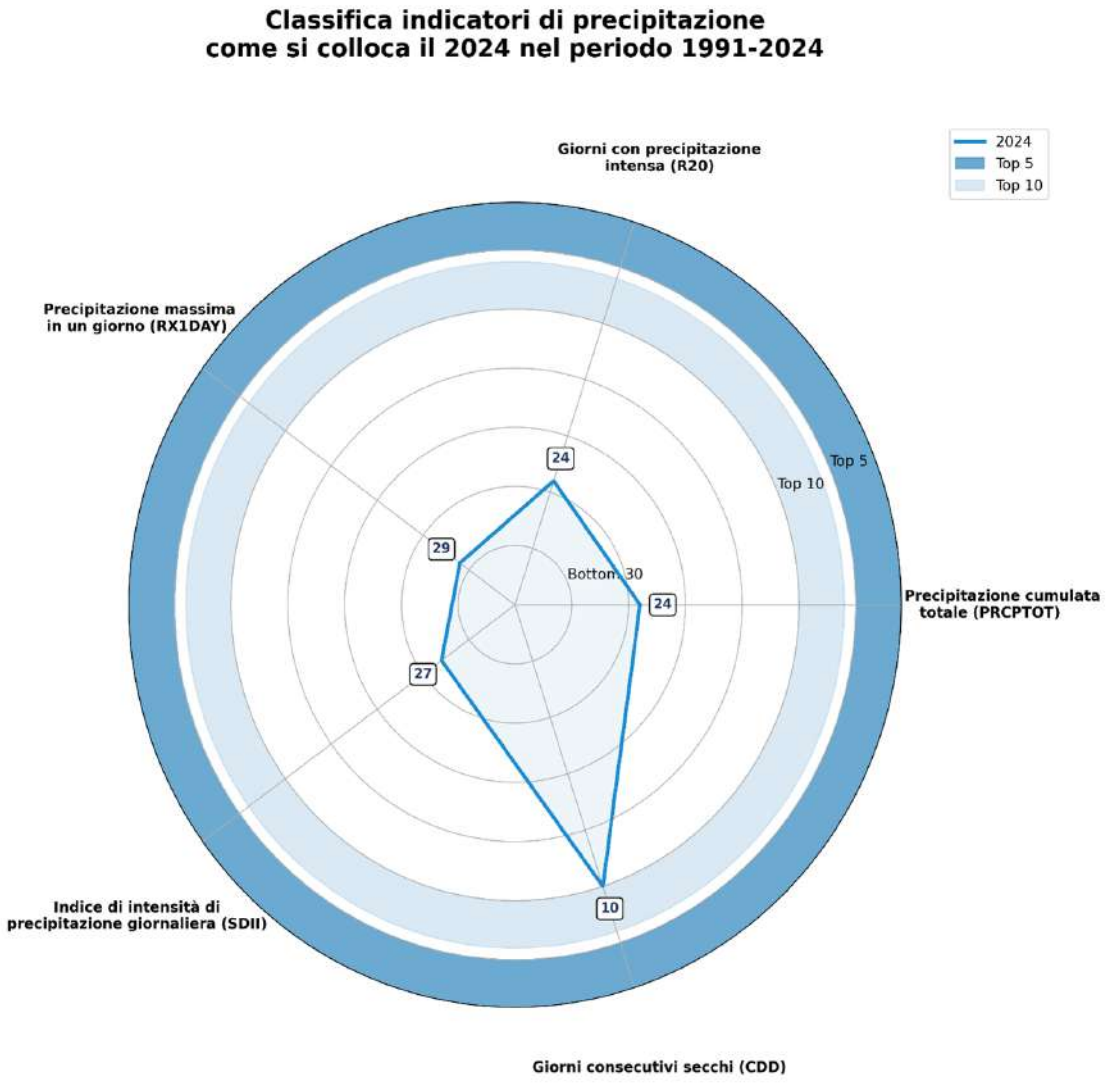


Figura 7 – Classifica degli indicatori di precipitazione: il 2024 rispetto al periodo 1991-2024.

Un primo risultato riguarda la **Temperatura media mensile,** la quale, come detto, ha registrato i valori più alti dal 1991. In **Figura 8 è raffigurato l'andamento mensile della temperatura media per il termometro di Roma Macao.** Le barre rosse indicano le osservazioni medie mensili mentre le barre tratteggiate in nero sono i valori medi per ciascun mese del periodo 1991-2020. Si osserva un **aumento delle temperature medie in quasi tutti i mesi**, con **scostamenti particolarmente marcati nei mesi estivi**, che risultano significativamente più caldi rispetto alla media climatologica.

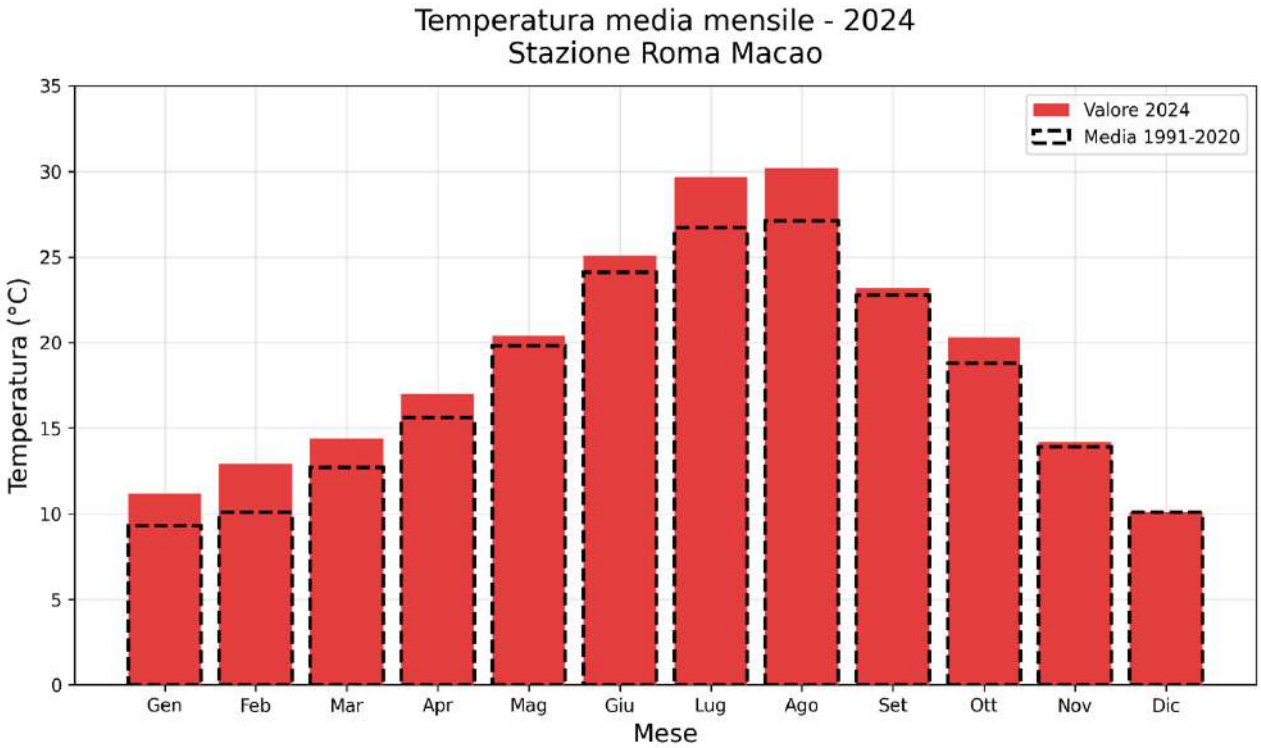


Figura 8 – Temperatura media mensile 2024 nella stazione Roma Macao.

La **Figura 9** di seguito riporta i valori mensili del 2024 e la media sul periodo 1991-2020 per l'indicatore **Notti tropicali**, le notti con temperature minime superiori ai 20°C per la **stazione di Monte Mario**, situata nella zona nord di Roma. Dalla figura si evidenzia come la **maggior parte delle notti tropicali sia concentrato tra i mesi di luglio e agosto**, con 28 notti tropicali per luglio e 29 per agosto. A giugno sono state registrate 8 notti tropicali mentre a settembre 10. Confrontando questi dati con la media per ogni mese del periodo 1991–2020 per la stessa stazione, annotata con le barre tratteggiate in nero, si osserva un **aumento significativo** del numero di notti tropicali in **tutti i mesi**, con un **particolare incremento a settembre**, che mostra valori nettamente superiori rispetto al clima di riferimento.

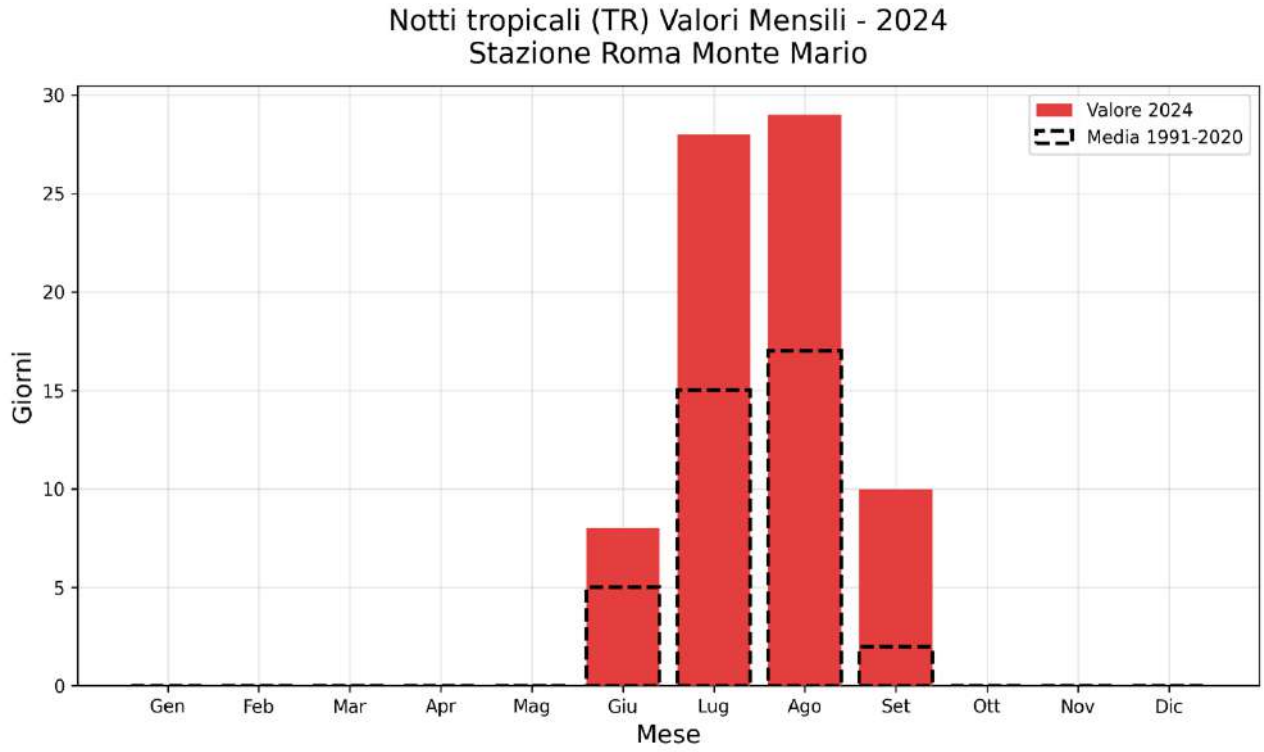


Figura 9 – Valori mensili dell'indicatore Notti Tropicali per il 2024 nella stazione Roma Monte Mario.

Guardando alle **Ondate di caldo** o **Giorni torridi**, cioè i numeri di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 35 °C, in **Figura 10**, sono riportati i valori mensili per la stazione meteorologica di **Roma Macao**. Per questo indicatore i valori raggiungono i 17 giorni per luglio e agosto per il 2024, quando la media 1991-2020, segnata in nero, si attesta a 5 e 6 giorni rispettivamente per questa stazione. Si nota quindi un notevole incremento per l'anno passato, fino a tre volte il numero di giorni torridi rispetto al periodo precedente.

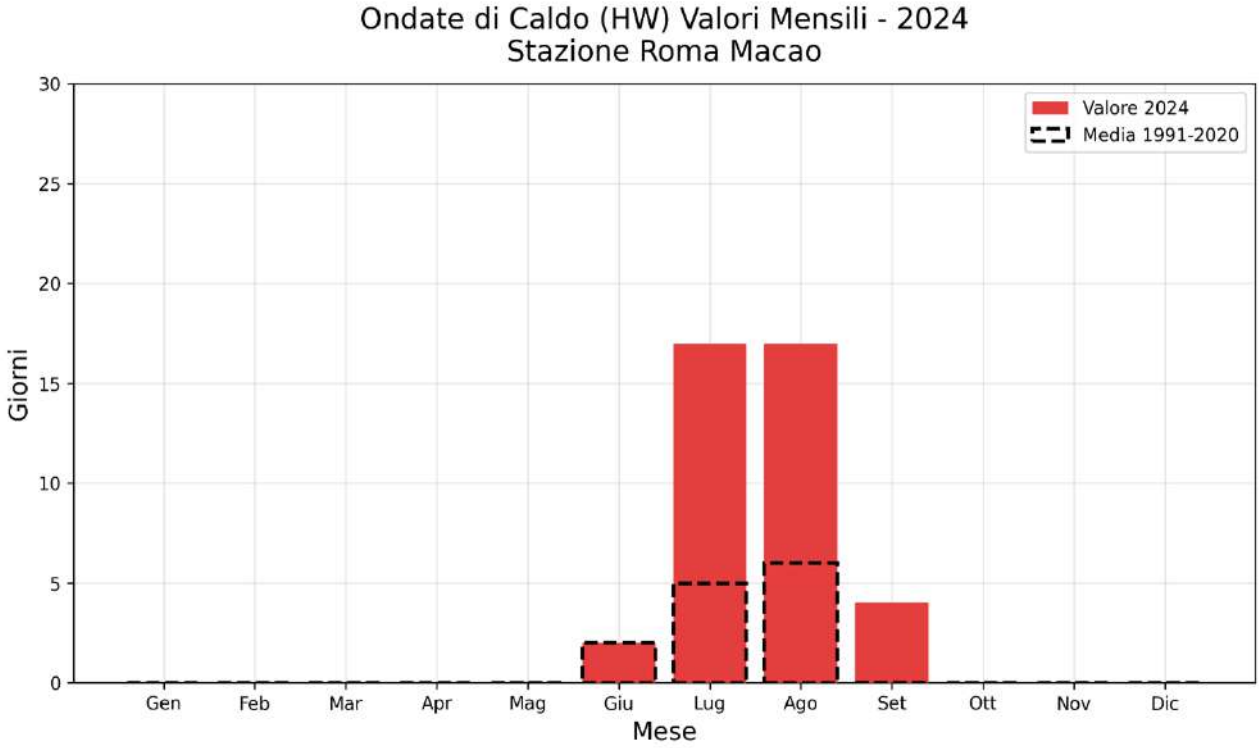


Figura 10 – Valori mensili dell'indicatore Ondate di Caldo per il 2024 nella stazione Roma Macao.

Passando ora ai dati da pluviometri, la **Figura 11 mostra la precipitazione cumulata totale mensile** per la stazione meteorologica di **Eleniano** per il 2024, in blu, e rispetto alla media del periodo 1991-2020, in nero. Si osserva come i valori di precipitazione siano **minori** per i **mesi invernali ed estivi**, mentre per alcuni mesi, quali **marzo, settembre e ottobre**, il 2024 è stato **più piovoso** rispetto alla media del periodo precedente. Da notare come a **novembre, in media il mese più piovoso dell'anno per Roma, siano state registrare precipitazioni quasi nulle per questa stazione.**

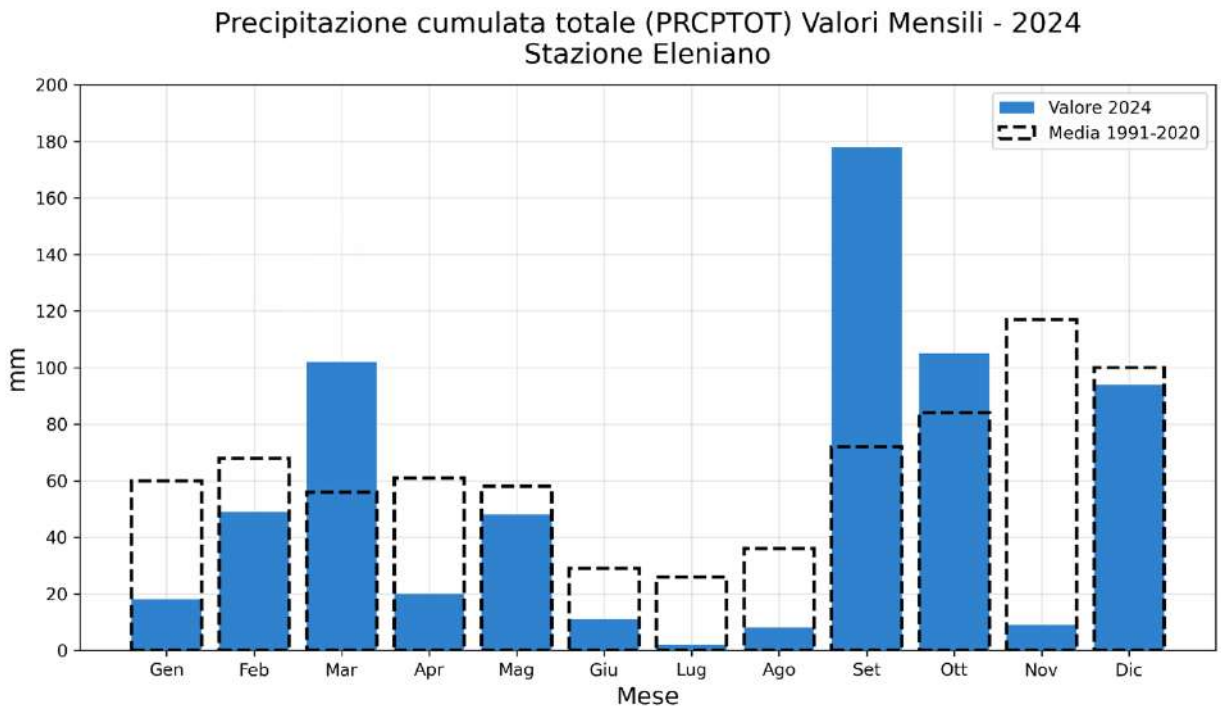


Figura 11 – Valori mensili dell'indicatore Precipitazione cumulata totale per il 2024 nella stazione Eleniano.

Prendendo in esame l'indicatore **Giorni con precipitazione intensa** – ovvero i giorni in cui le precipitazioni superano i 20 mm – la **Figura 12** mostra i valori mensili registrati nel 2024 presso la stazione di **Falcognana**, confrontati con la media del periodo 1991–2020, rappresentata con il tratteggio in nero.

Nel 2024, il mese con il maggior numero di giorni di precipitazione intensa è stato **marzo**, con **4 giorni** sopra la soglia dei 20 mm. I mesi di **maggio, settembre e dicembre** hanno registrato **2 giorni ciascuno**, mentre il mese di **novembre**, **non ha registrato alcun giorno con precipitazioni intense**. Questo risulta in contrasto con la media climatologica del periodo 1991–2020, secondo cui **novembre conta mediamente 2 giorni di precipitazioni intense**.

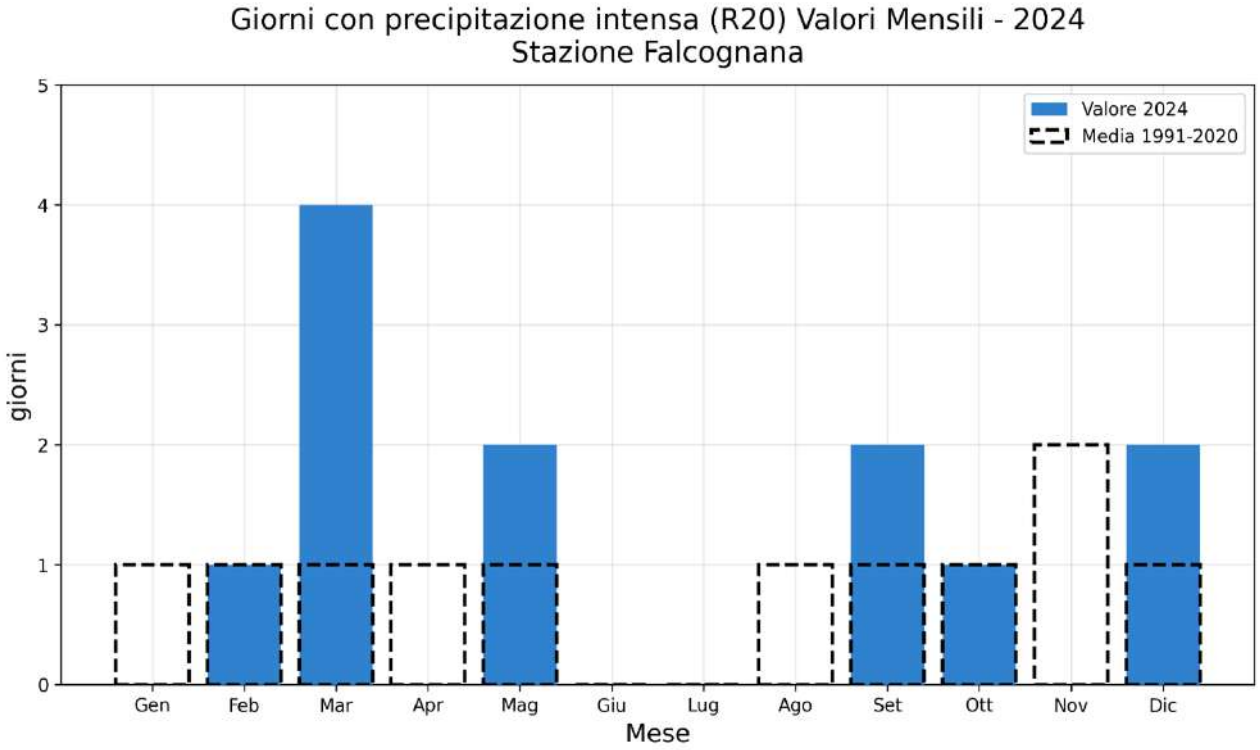


Figura 12 – Valori mensili dell'indicatore Giorni con precipitazione intensa per il 2024 nella stazione Falcognana.

In questa sede sono stati riportati solo alcuni risultati per specifiche stazioni meteorologiche, selezionate in quanto ritenute rappresentative dell'andamento meteoclimatico di Roma nel 2024. **Per un'analisi più approfondita e per consultare i dati delle altre stazioni, si invita a visitare la piattaforma Dataclime, dove sono disponibili dashboard dedicate per ciascuna stazione.**

I risultati del monitoraggio evidenziano come il **2024 sia stato l'anno più caldo dal 1991**, con temperature elevate e numerosi eventi di caldo estremo. In particolare, le **ondate di calore**, fenomeni potenzialmente impattanti per la salute delle persone, sono state particolarmente frequenti durante i mesi estivi, mostrando un **aumento rispetto al periodo climatologico di riferimento 1991–2020**.

Per quanto riguarda le precipitazioni, il 2024 ha mostrato un **andamento anomalo rispetto alla media climatica**, con un **picco di piogge nel mese di settembre** e un **novembre insolitamente secco**, caratterizzato da quasi totale assenza di precipitazioni.

In generale, il numero di **giorni con precipitazione intensa** (oltre 20 mm giornalieri) è stato elevato, confermando una maggiore variabilità e intensità degli eventi meteorologici estremi.

Questa analisi basata su un'estesa rete di stazioni meteorologiche distribuite sul territorio consente una rappresentazione significativa, seppur non esaustiva, dell'andamento meteo-climatico del Comune di Roma. **L'integrazione di ulteriori strumenti di monitoraggio, e in particolare di nuovi termometri, permetterebbe una migliore copertura spaziale e l'accuratezza del sistema di osservazione.**

Indicatori climatici da dati climatici ad alta risoluzione

Questa sezione è dedicata all'analisi degli indicatori calcolati utilizzando i dati dal dataset VHR-REA_IT del CMCC. I dati derivati da questo modello sono estremamente utili per rappresentare spazialmente i valori degli indicatori, poiché offrono una copertura continua e omogenea del territorio. Inoltre, a differenza dei dati raccolti dalle stazioni di monitoraggio, i dati del modello mantengono un'elevata uniformità spaziale, permettendo una rappresentazione dettagliata e precisa delle variabilità ambientali su larga scala.

La **temperatura media**, rappresentata insieme alla sua anomalia in **Figura 13** e **Figura 14**, per il 2024 è stata la più elevata del periodo in esame, in linea con i risultati da monitoraggio da stazioni. Il valore medio per l'anno passato si attesta sui 19,7°C calcolato su tutto il territorio comunale. Questo valore è estremamente superiore alla media 1991-2020, di 2,5°C più alta, come riportato in Figura 14, la quale rappresenta l'anomalia annua su tutto il periodo di analisi. Questa figura mostra come, a partire dal 2014, i valori siano stati costantemente positivi. In particolare, nel **triennio 2022-2024 la temperatura media è stata sempre superiore di almeno 1°C** rispetto al periodo di riferimento 1991-2020.

Anche esaminando la **temperatura media mensile** in **Figura 15** si osserva come per quasi tutti i mesi e con l'unica eccezione di dicembre, la temperatura media è stata superiore alla media 1991-2020, riportata in tratteggio nero in figura. Si nota, in particolare, come sia nei mesi invernali di gennaio e febbraio sia in quelli estivi di luglio e agosto, la temperatura sia stata nettamente superiore alla media. **L'anomalia maggiore è stata rilevata a febbraio, che è risultato 3,8°C più caldo** rispetto al periodo di riferimento.

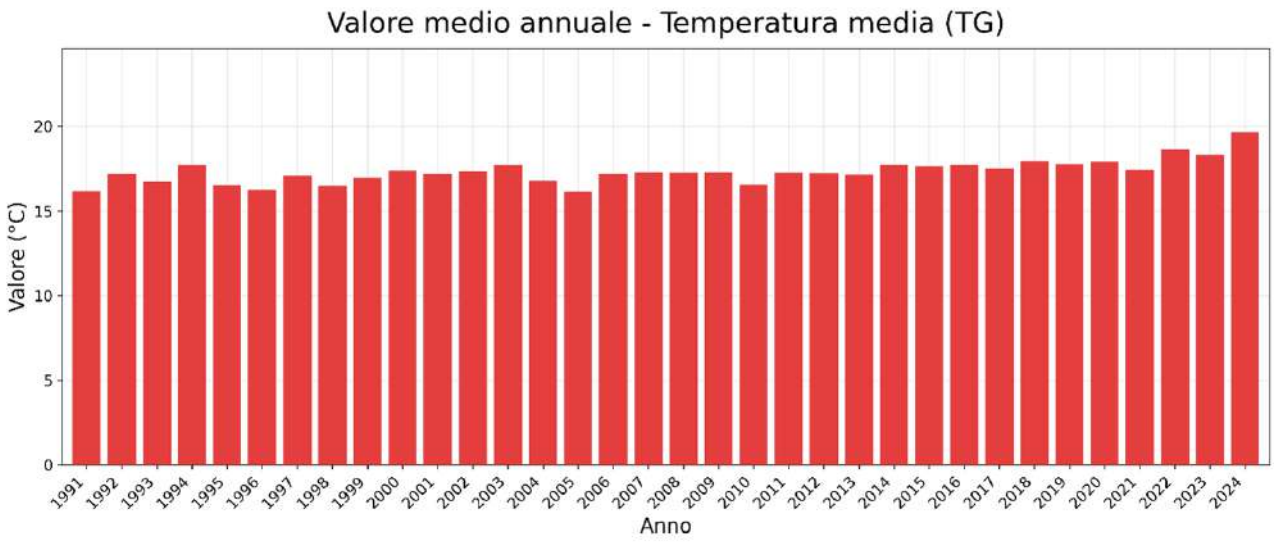


Figura 13 – Valori medio annuale della Temperatura Media da VHR-REA_IT.

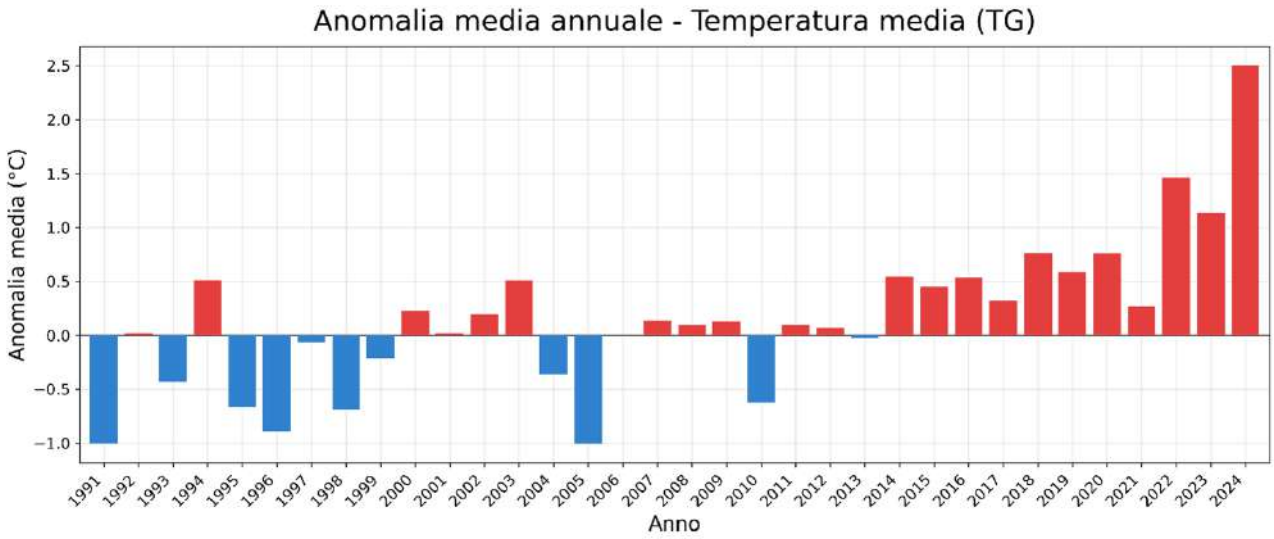


Figura 14 – Anomalia media annuale della Temperatura Media da VHR-REA_IT.

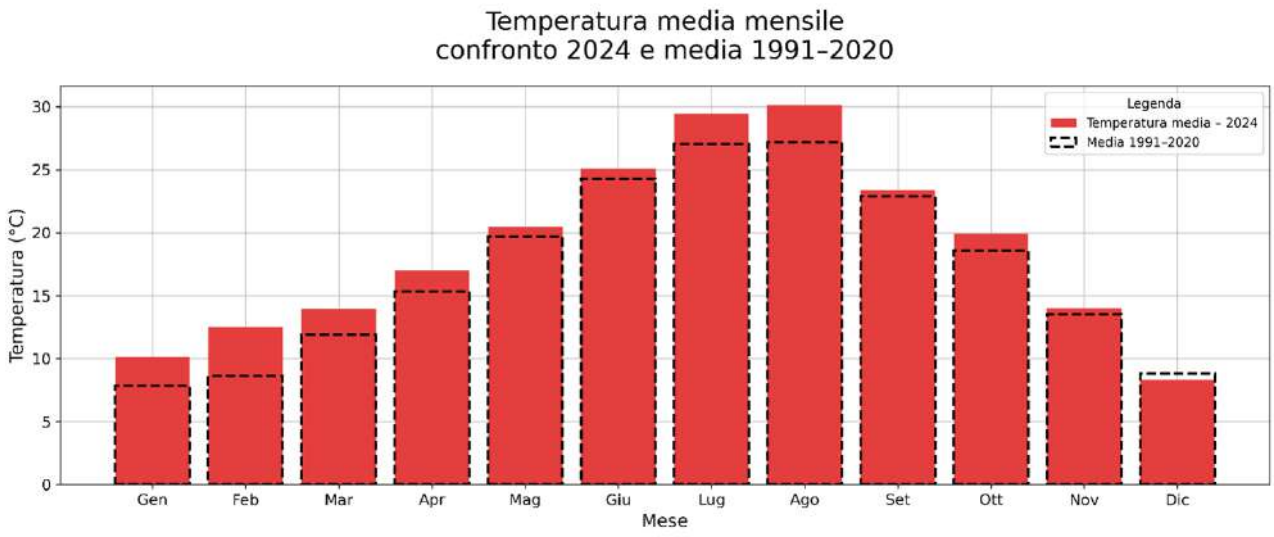


Figura 15 – Valori medi mensili della Temperatura Media da VHR-REA_IT.

Di seguito vengono presentate figure con i risultati per alcuni indicatori di precipitazione e temperatura sia in termini di valori che di anomalie per il 2024 insieme agli andamenti stagionali e alla distribuzione spaziale sul territorio del Comune di Roma. Le stagioni sono state analizzate facendo riferimento alle **stagioni meteorologiche**: **inverno** (dicembre, gennaio, febbraio), **primavera** (marzo, aprile, maggio), **estate** (giugno, luglio, agosto) e **autunno** (settembre, ottobre, novembre).

L'indicatore **Notti tropicali** si calcola sommando il numero di giorni con temperatura minima giornaliera maggiore di 20°C.

La **Figura 16** mostra il valore medio annuale per lo stesso indicatore su tutto il periodo, dal 1991 al 2024. Si rilevano valori medi che negli ultimi anni non scendono sotto a 80 notti tropicali in un anno, con il 2024 che ne vede 91.

Considerando l'anomalia media annua, riportata in **Figura 17**, si evince una chiara tendenza crescente di notti tropicali sul territorio romano. Dopo l'anno 2012, infatti, l'anomalia è positiva per ogni anno, con valori che per il 2024 si attestano sui 16 giorni in più di notti tropicali su tutto il territorio del Comune di Roma rispetto alla media del 1991-2020. In questo contesto, il 2024 non si distingue in modo significativo rispetto agli anni immediatamente precedenti: il 2022, infatti, risulta essere l'anno con il valore assoluto e l'anomalia più elevati dell'intero periodo considerato.

In **Figura 18** è rappresentata l'anomalia media stagionale per il 2024. Si notano forti anomalie positive concentrate in estate, con valori molto elevati su tutto il territorio ma specialmente per alcune aree settentrionali.

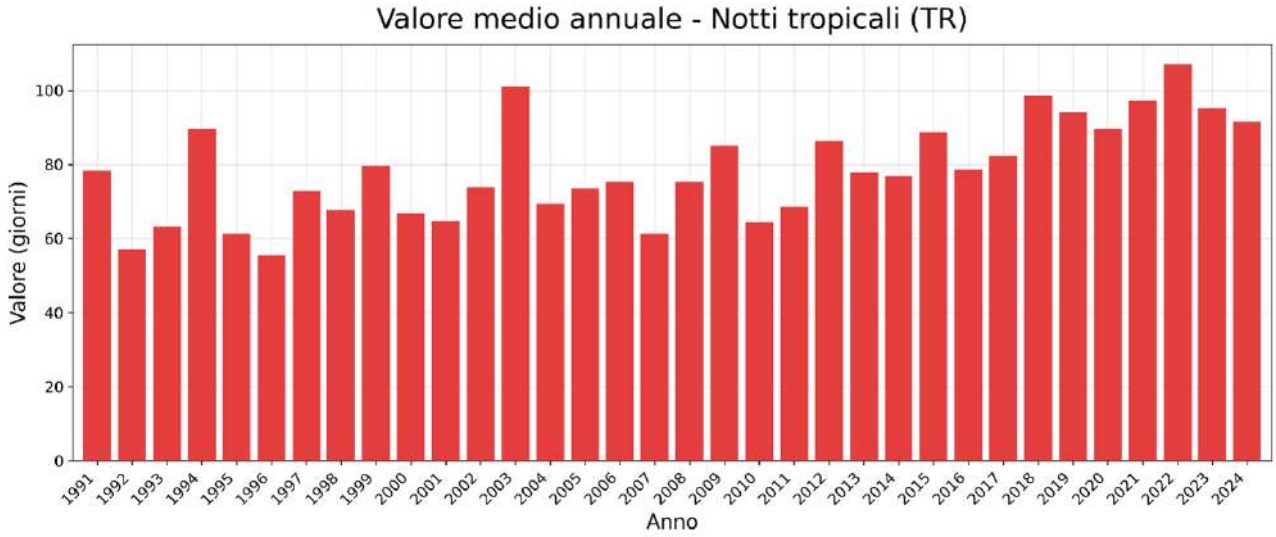


Figura 16 – Valore medio annuale dell'indicatore Notti Tropicali, da VHR-REA_IT.

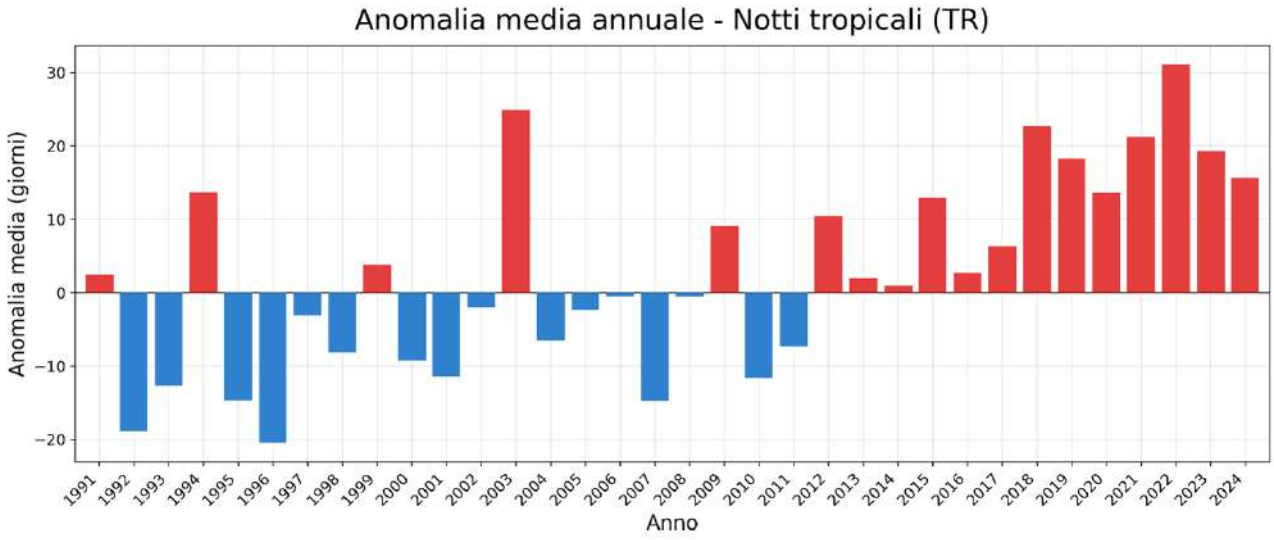


Figura 17 – Anomalia media annuale dell'indicatore Notti Tropicali, da VHR-REA_IT.

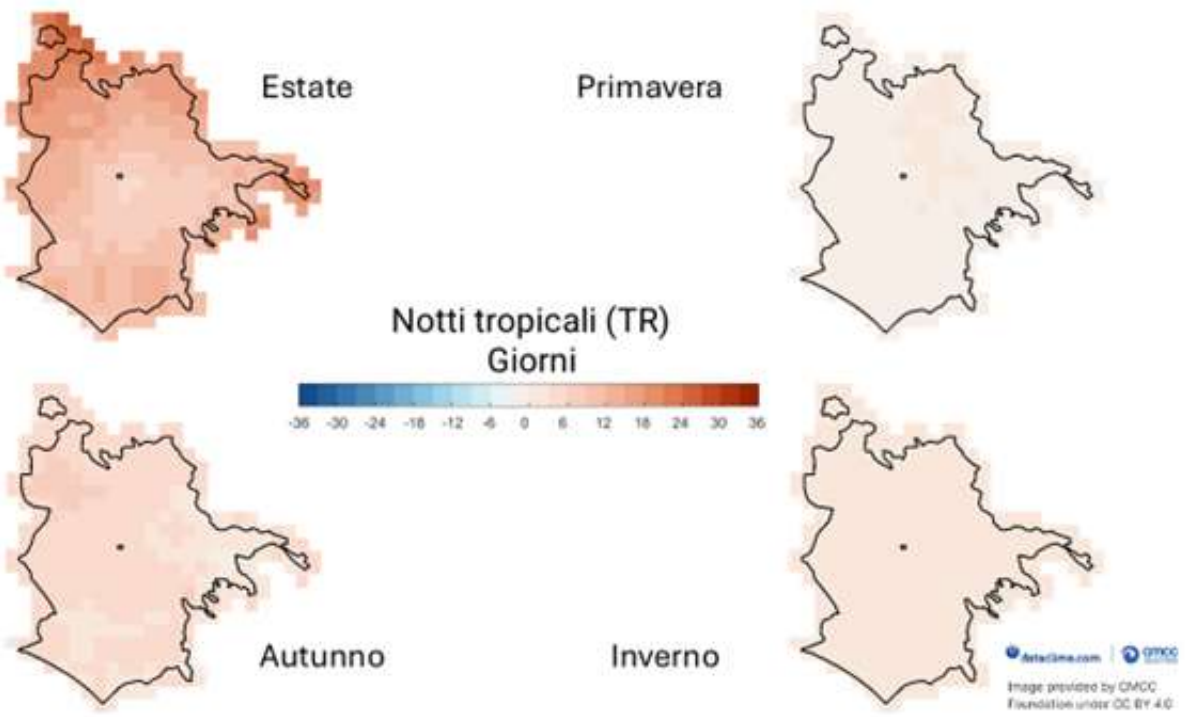


Figura 18 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Notti Tropicali, da VHR-REA_IT.

L'indicatore **Notti torride**, si calcola in modo simile all'indicatore precedente ma con una soglia di temperatura minima giornaliera più elevata, fissata a 25°C.

La **Figura 19** descrive l'andamento di questo indicatore per tutto il periodo in esame. In questo caso si nota come **il 2024 sia stato l'anno con più notti torride dal 1991, con 36 notti di caldo intenso.**

Come si evince dalla **Figura 20**, che riporta l'anomalia media annua sul periodo 1991-2020 per ogni anno, il 2024 è stato l'anno con l'anomalia positiva più elevata del periodo per le Notti torride, attestandosi intorno ai 30 giorni di anomalia. Anche in questo caso i valori degli anni recenti e in particolare del triennio 2022-2024 risultano nettamente sopra la media 1991-2020.

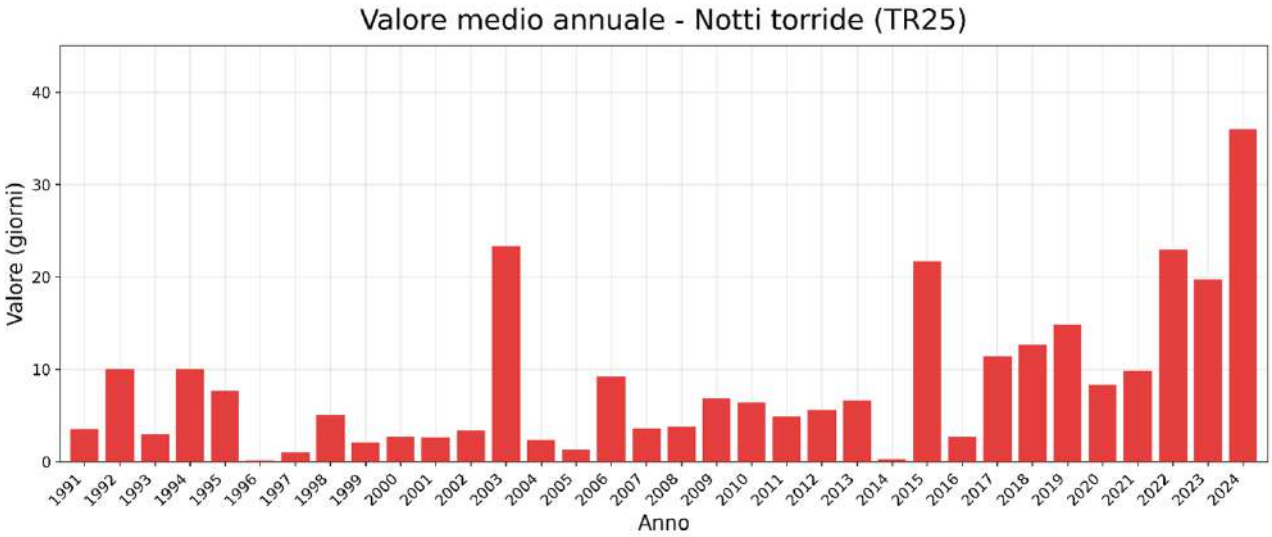


Figura 19 – Valore medio annuale dell'indicatore Notti Torride, da VHR-REA_IT.

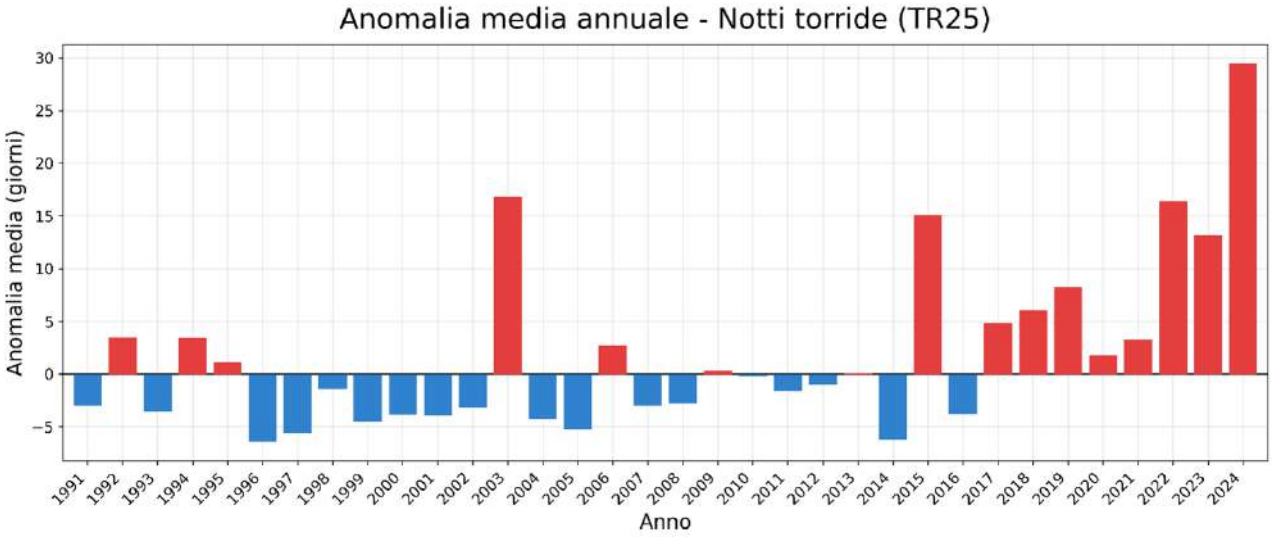


Figura 20 – Anomalia media annuale dell'indicatore Notti Torride, da VHR-REA_IT.

Anche per l'indicatore **Ondate di caldo** o **Giorni Torridi**, i giorni con temperatura massima giornaliera superiore ai 35°C, i valori per il 2024 sono stati elevati.

La **Figura 21** riporta i valori per l'indicatore dal 1991 al 2024, e si può notare come **il 2024, insieme al 2022 e al 2003 siano stati gli anni con più caldo estremo della serie, con 51 giorni di caldo intenso.**

La **Figura 22** raffigura l'anomalia media annua sul periodo per lo stesso indicatore. Anche in questo caso si osserva come **il 2024 sia stato un anno molto caldo con una forte anomalia positiva, tra le più elevate della serie.**

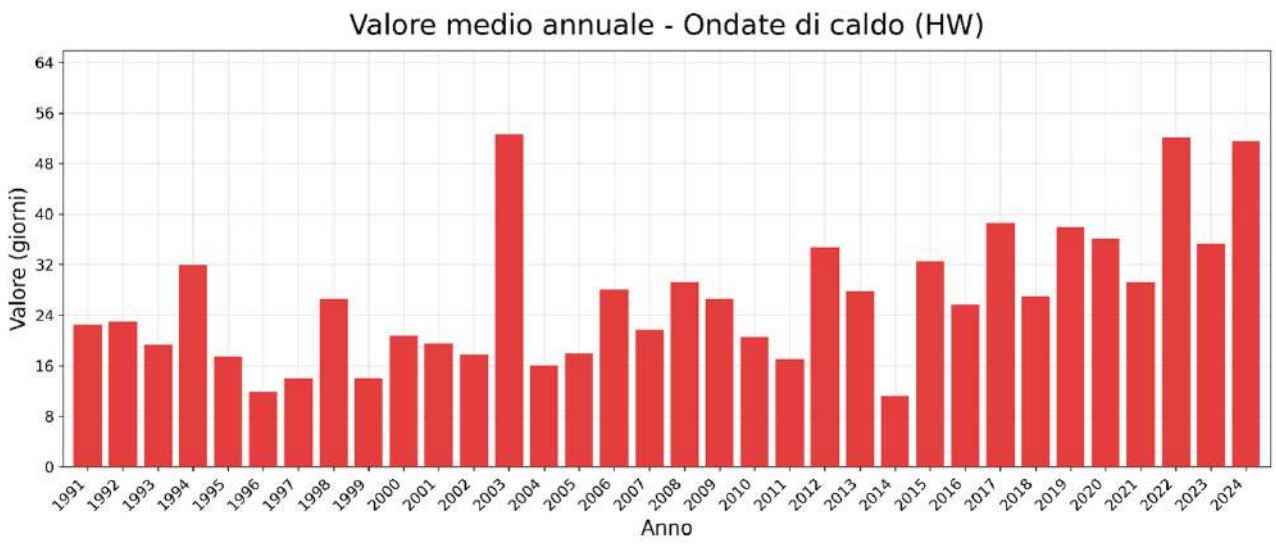


Figura 21 – Valore medio annuale dell'indicatore Ondate di caldo, da VHR-REA_IT.

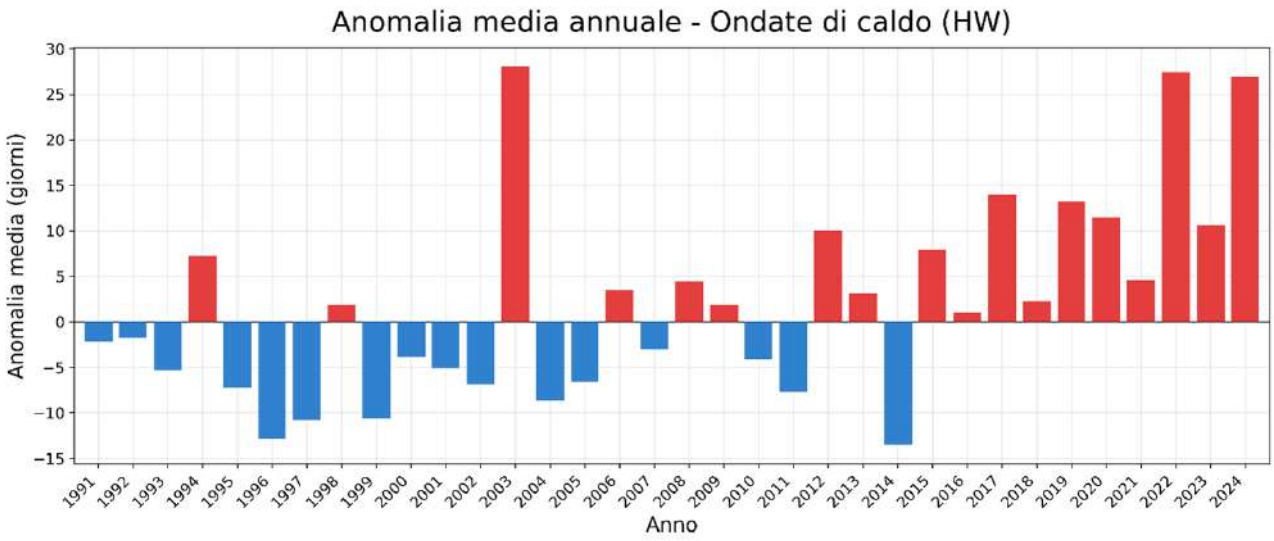


Figura 22 – Anomalia media annuale dell'indicatore Ondate di Caldo, da VHR-REA_IT.

L'indicatore **Numero di ondate di calore** considera quei periodi di almeno tre giorni consecutivi di caldo intenso, con temperatura massima che supera il 90° percentile, rappresentando così il numero di eventi di caldo intenso e prolungato.

La **Figura 23** riporta i valori per la **stagione estiva** per questo indicatore dal 1991. **Il 2024 ha visto circa 5 ondate di calore estivo, il valore più elevato di tutta la serie.**

La **Figura 24** mostra l'anomalia media per l'estate sul periodo per lo stesso indicatore di ondate di calore. Si può notare come il 2024 sia stato l'anno con l'anomalia più elevata della serie, intorno ai 4 giorni in più rispetto alla media 1991-2020. Queste due figure evidenziano come il 2003 – storicamente caratterizzato da forti episodi di ondate di caldo – e il triennio 2022-2024 risultino comparabili per numero di ondate di calore estive.

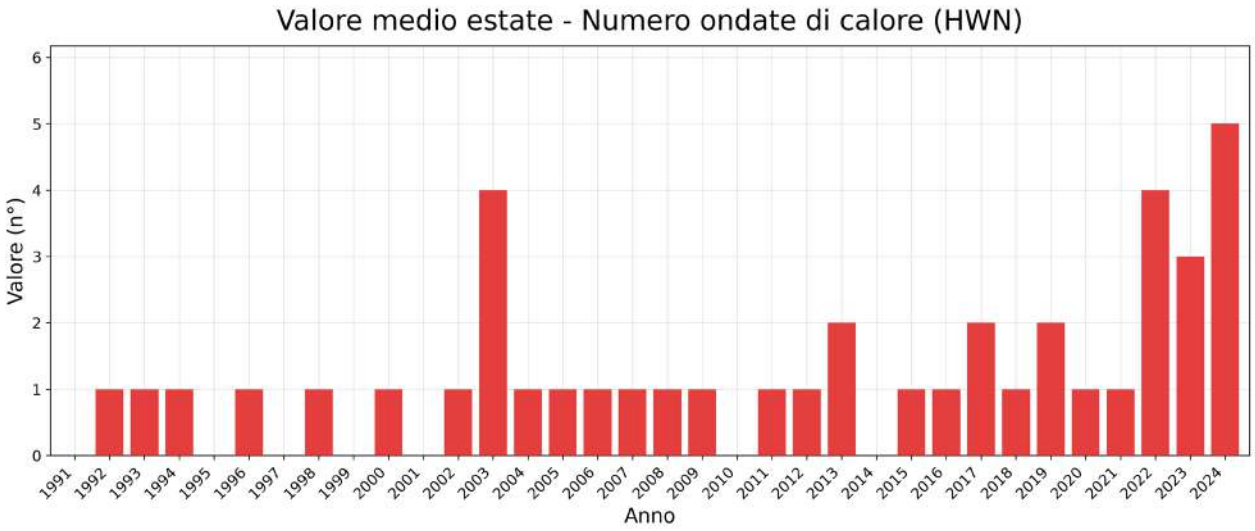


Figura 23 – Valore medio stagionale per l'estate dell'indicatore Numero ondate di calore, da VHR-REA_IT.

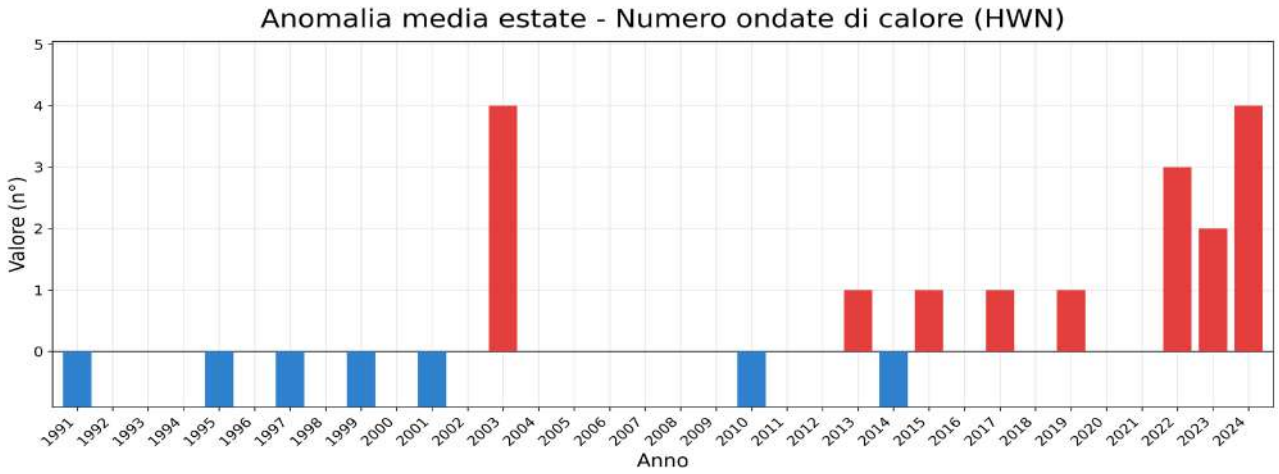


Figura 24 – Anomalia media stagionale per l'estate dell'indicatore Numero ondate di calore, da VHR-REA_IT.

L'Indice di durata dei periodi caldi è un indicatore di caldo "relativo", in quanto si basa sul conteggio dei giorni in cui la **temperatura massima giornaliera supera il 90° percentile** rispetto al periodo di riferimento, per almeno **sei giorni consecutivi**. In altre parole, il WSDI misura la durata dei periodi eccezionalmente caldi rispetto alla climatologia storica per quel determinato periodo dell'anno.

In **Figura 25 sono riportati i valori medi annuali** dell'indice per l'intero periodo di analisi. Per il **2024**, si contano **16 giorni** classificati come **relativamente molto caldi** secondo questo criterio.

Successivamente, in **Figura 26** è rappresentata anche l'**anomalia media annuale** del WSDI, che mostra una chiara tendenza a valori **positivi negli ultimi anni**: per il 2024 risultano **11 giorni in più** rispetto alla media del periodo di riferimento.

La Figura 27, invece, presenta l'**anomalia media stagionale** del WSDI per il 2024 sull'intero territorio del Comune di Roma. Tra le stagioni analizzate, è l'**inverno** a mostrare le **anomalie più marcate**, suggerendo che **la stagione invernale è si sta riscaldando più rapidamente rispetto alle altre**, in controtendenza rispetto all'immaginario comune che associa il cambiamento climatico principalmente all'estate.

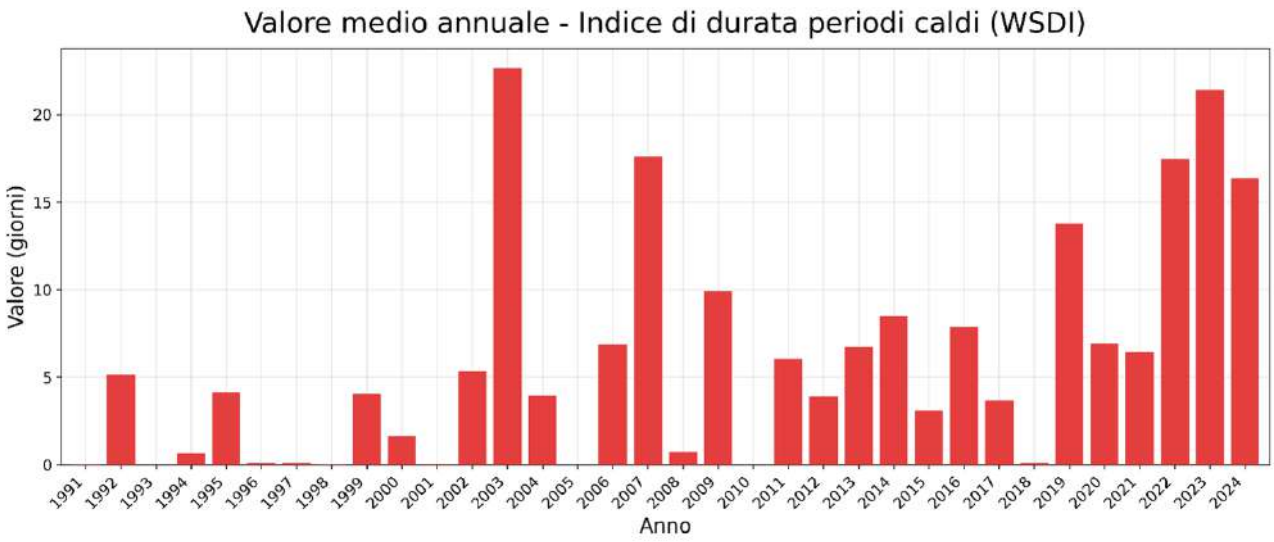


Figura 25 – Valore medio annuale dell'Indice di durata dei periodi caldi, da VHR-REA_IT.

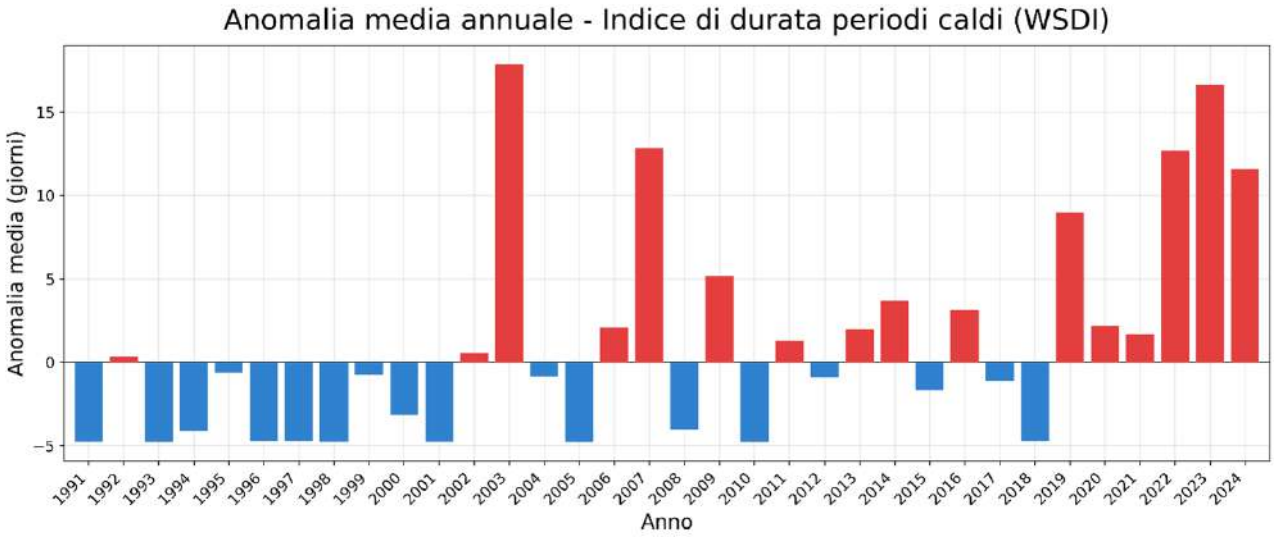


Figura 26 – Anomalia media annuale dell'Indice di durata dei periodi caldi, da VHR-REA_IT.

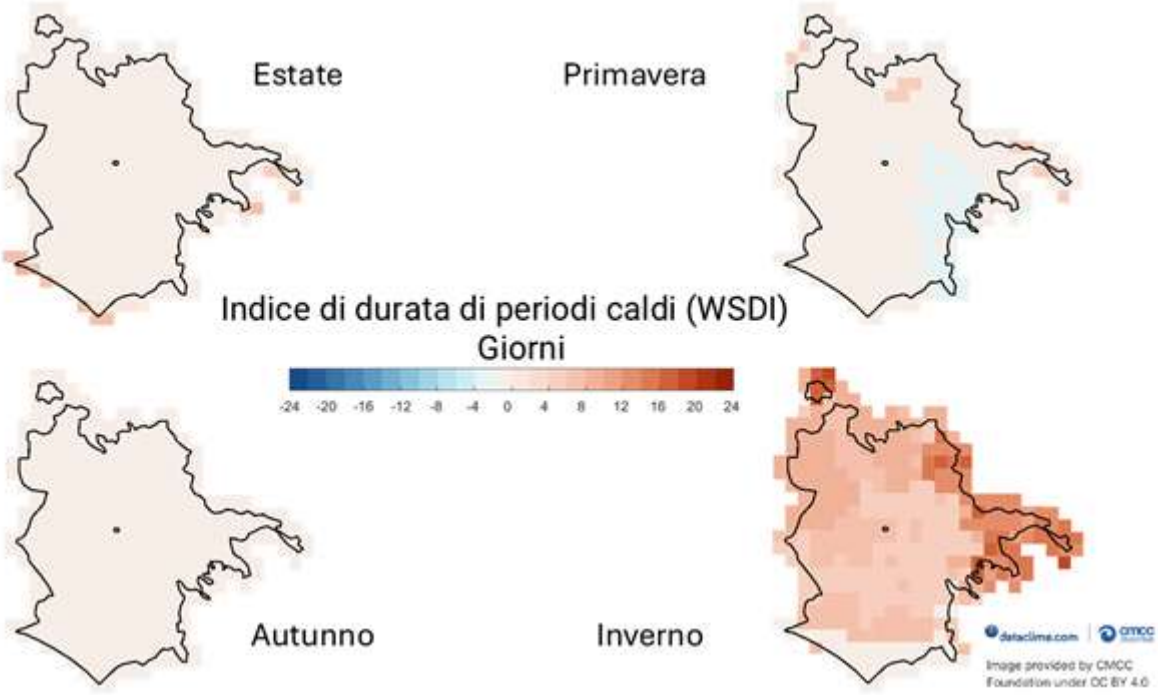


Figura 27 – Anomalia media stagionale dell'Indice di durata dei periodi caldi, da VHR-REA_IT.

Passando agli indicatori legati al freddo, il numero di **Giorni di gelo** rappresenta il conteggio dei giorni in cui la temperatura minima scende **sotto gli 0°C.** Si tratta di un indicatore utile per valutare la frequenza degli episodi freddi invernali.

La **Figura 28 mostra i valori medi annuali del periodo 1991-2024. Il dato relativo al 2024 si distingue per il valore quasi nullo**, segnalando che, secondo i dati da modello su tutto il territorio comunale, **i giorni di gelo sono stati praticamente assenti**.

La **Figura 29** presenta invece l'**anomalia media annua** dei giorni di gelo rispetto alla climatologia storica. Gli ultimi anni mostrano **anomalie fortemente negative**, a conferma di una tendenza evidente: **i giorni di gelo a Roma stanno diminuendo in modo marcato**.

Infine, **la Figura 30 riporta le anomalie stagionali** per il 2024 sull'intero territorio del Comune di Roma. I mesi invernali risultano particolarmente significativi: si rilevano **anomalie negative fino a 18 giorni in meno** in alcune aree del quadrante **settentrionale e orientale** della città, indicando un **indebolimento sempre più marcato degli episodi di freddo intenso**.

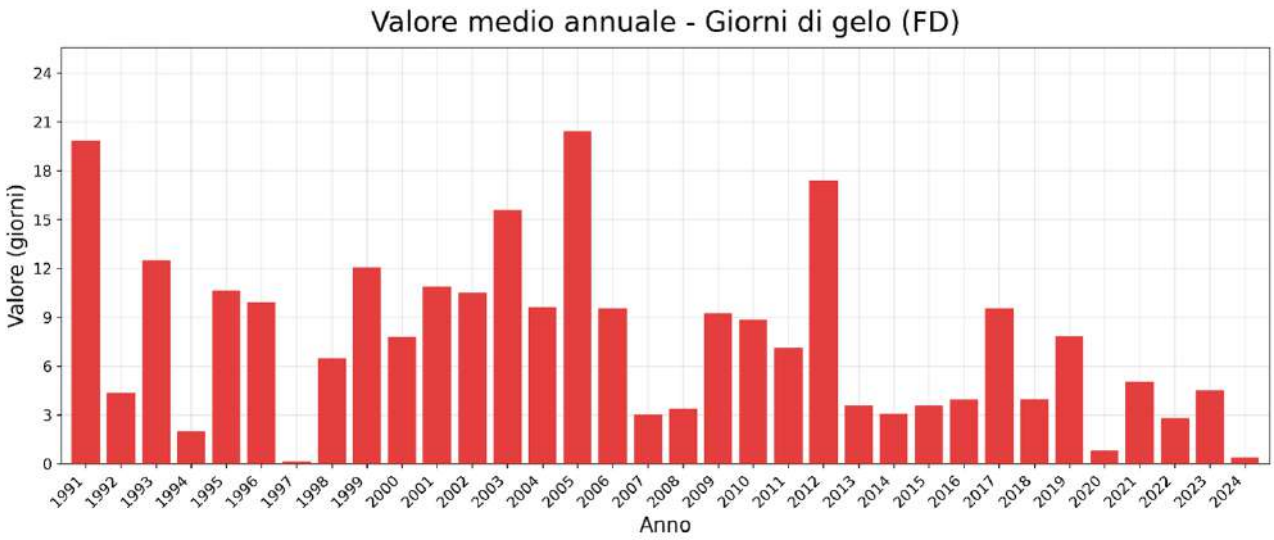


Figura 28 – Valore medio annuale dell'indicatore Giorni di gelo, da VHR-REA_IT.

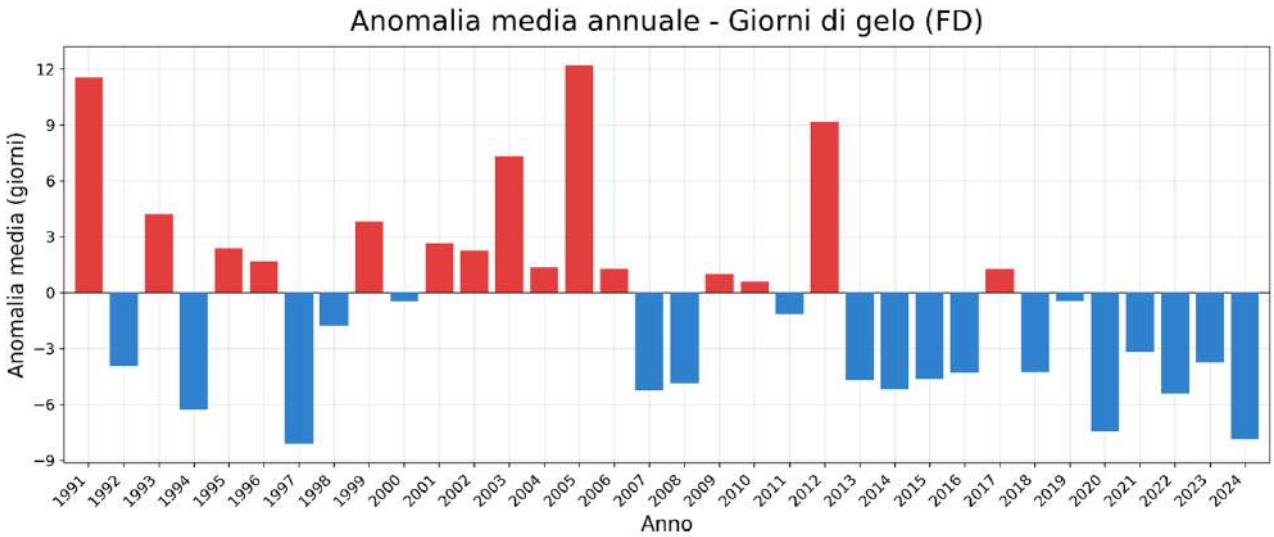


Figura 29 – Anomalia media annuale dell'indicatore Giorni di gelo, da VHR-REA_IT.

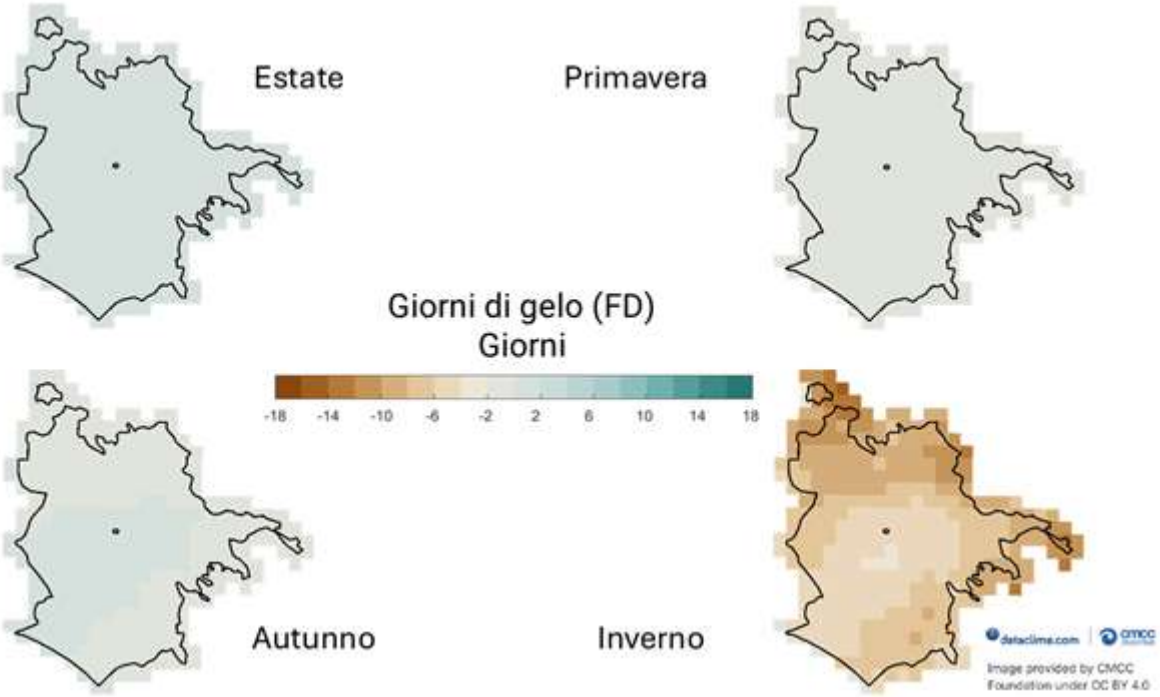


Figura 30 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Giorni di gelo, da VHR-REA_IT.

L'indicatore **Precipitazione totale** è calcolato come somma della precipitazione giornaliera per i giorni piovosi (con precipitazione di almeno 1 mm)[1].

Figura 31 illustra i valori medi annuali per tutta la serie 1991-2024. I Nel **2024** sono caduti circa **500 mm di pioggia per metro quadrato.** Come evidenziato in **Figura 32**, che mostra l'anomalia media annua, per il 2024 si nota un'**anomalia negativa contenuta**, indicando come sia stato un anno **lievemente meno piovoso rispetto alla media climatologica 1991–2020**. Questa condizione relativamente secca si riscontra anche nel periodo più recente 2022–2024.

In **Figura 33** sono riportate le anomalie stagionali per il 2024. Si osserva come la stagione **autunnale** abbia presentato **anomalie positive marcate**, con picchi fino a 250 mm in eccesso in alcune aree meridionali ed orientali della città. Le altre stagioni, al contrario, hanno mostrato anomalie negative di precipitazioni, in particolare l'inverno.

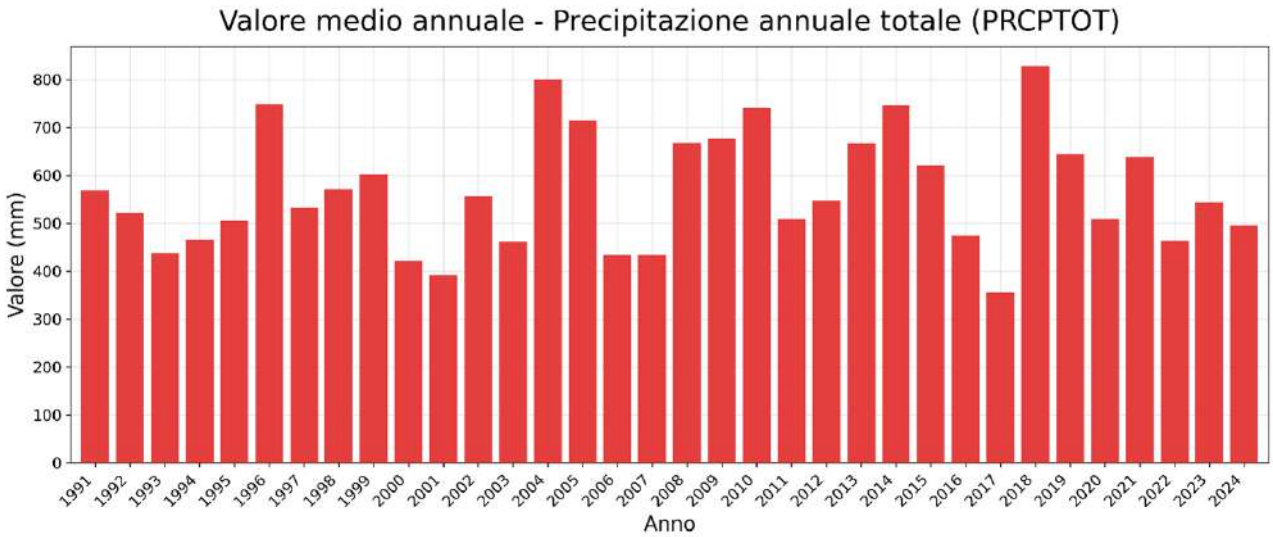


Figura 31 – Valore medio annuale dell'indicatore Precipitazione annuale totale, da VHR-REA_IT.

1 Nelle misure di precipitazione, l'unità di riferimento è il millimetro (mm). Anche nel caso dei dati di rianalisi VHR-REA, il millimetro di pioggia rappresenta convenzionalmente l'altezza dell'acqua accumulata al suolo e corrisponde a 1 litro per metro quadrato. Questo valore equivale alla quantità che verrebbe rilevata da un pluviometro.

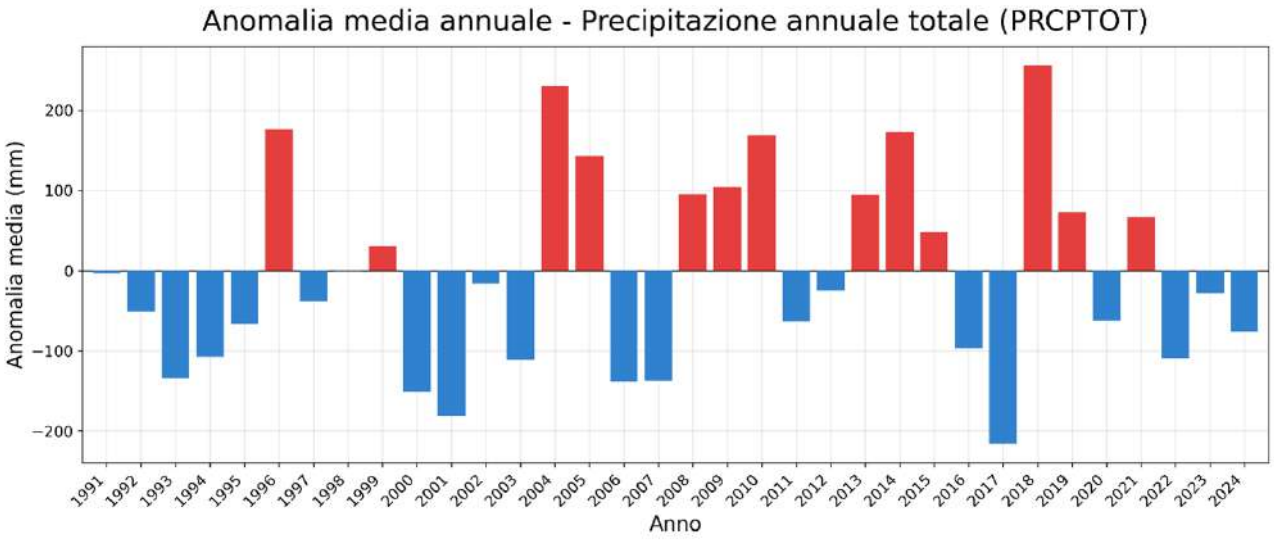


Figura 32 – Anomalia media annuale dell'indicatore Precipitazione annuale totale, da VHR-REA_IT.

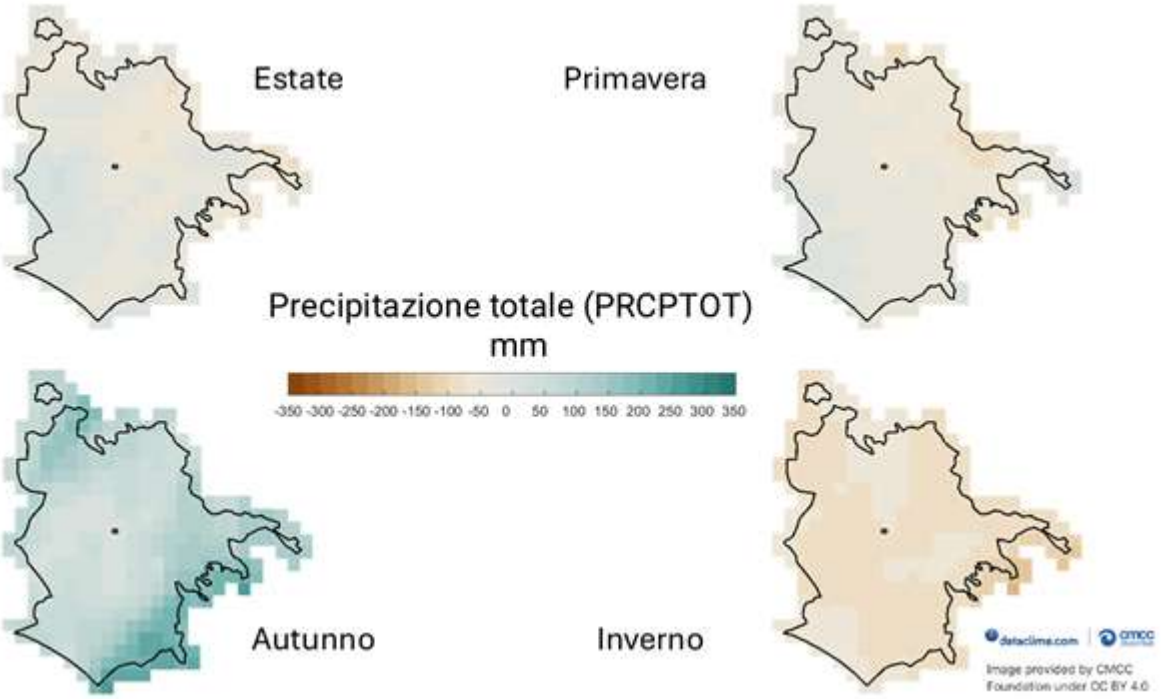


Figura 33 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Precipitazione annuale totale, da VHR-REA_IT.

L'indicatore **Giorni con precipitazione intensa** rappresenta il numero di giorni in cui la precipitazione giornaliera supera i 20 mm.

In **Figura 34** sono riportati i valori medi annui per questo indicatore. Sono stati calcolati circa 5 giorni di precipitazione intensa in media su tutta l'area di Roma.

Come evidenziato in **Figura 35**, la quale riporta l'anomalia media annua dell'indicatore, per il 2024 si osserva una leggera anomalia negativa, pari a meno di un giorno, suggerendo una sostanziale stabilità nel numero di giorni con precipitazioni intense rispetto alla media climatica del trentennio di riferimento.

La **Figura 36 illustra l'anomalia stagionale rispetto alla media del periodo di riferimento 1991–2020 sull'area del Comune di Roma nel** 2024. Si osserva una lieve riduzione in inverno, un moderato aumento in primavera ed estate, più marcato nelle aree settentrionali e meridionali del comune, e un incremento più evidente in autunno. Tuttavia, in tutte le stagioni, le **variazioni risultano generalmente contenute** e riferite a pochi giorni, segnalando una dinamica locale ma non estrema dell'indicatore.

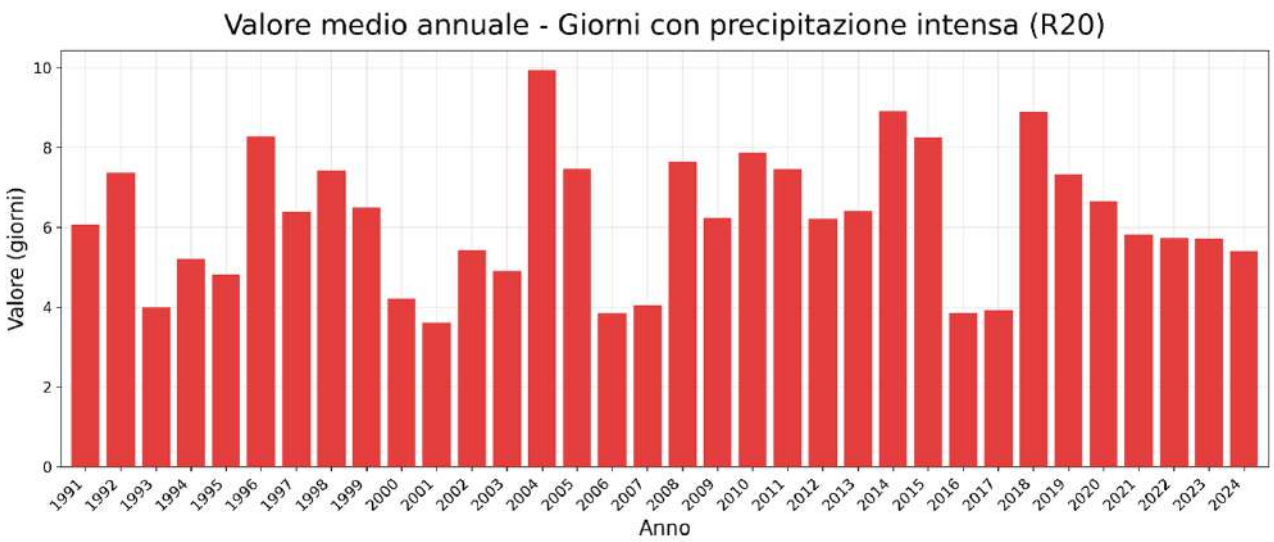


Figura 34 – Valore medio annuale dell'indicatore Giorni con precipitazione intensa, da VHR-REA_IT.

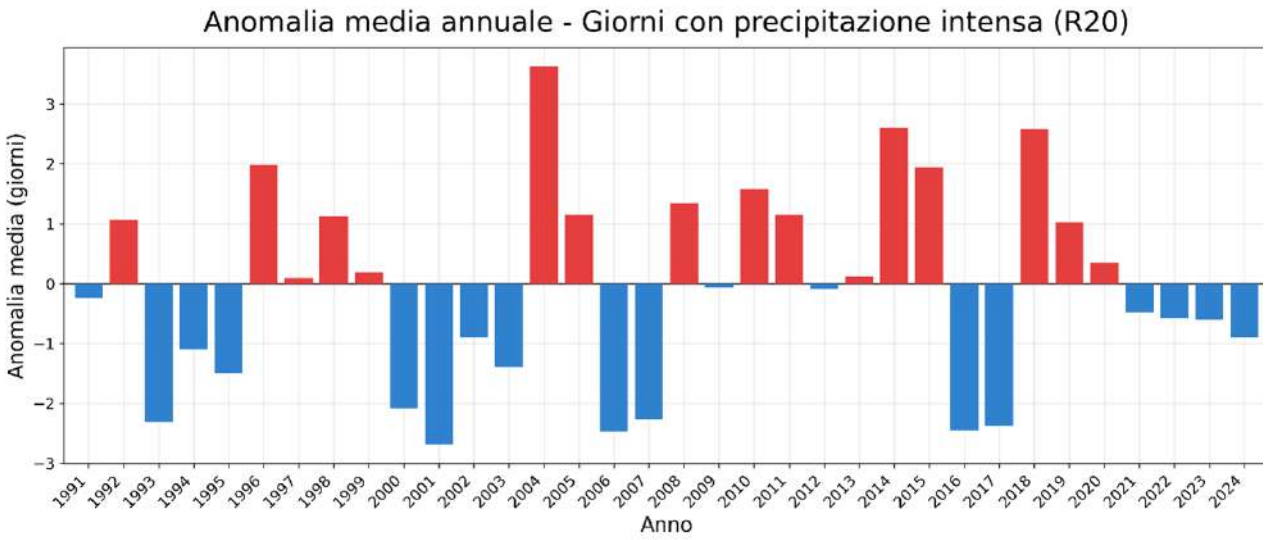


Figura 35 – Anomalia media annuale dell'indicatore Giorni con precipitazione intensa, da VHR-REA_IT.

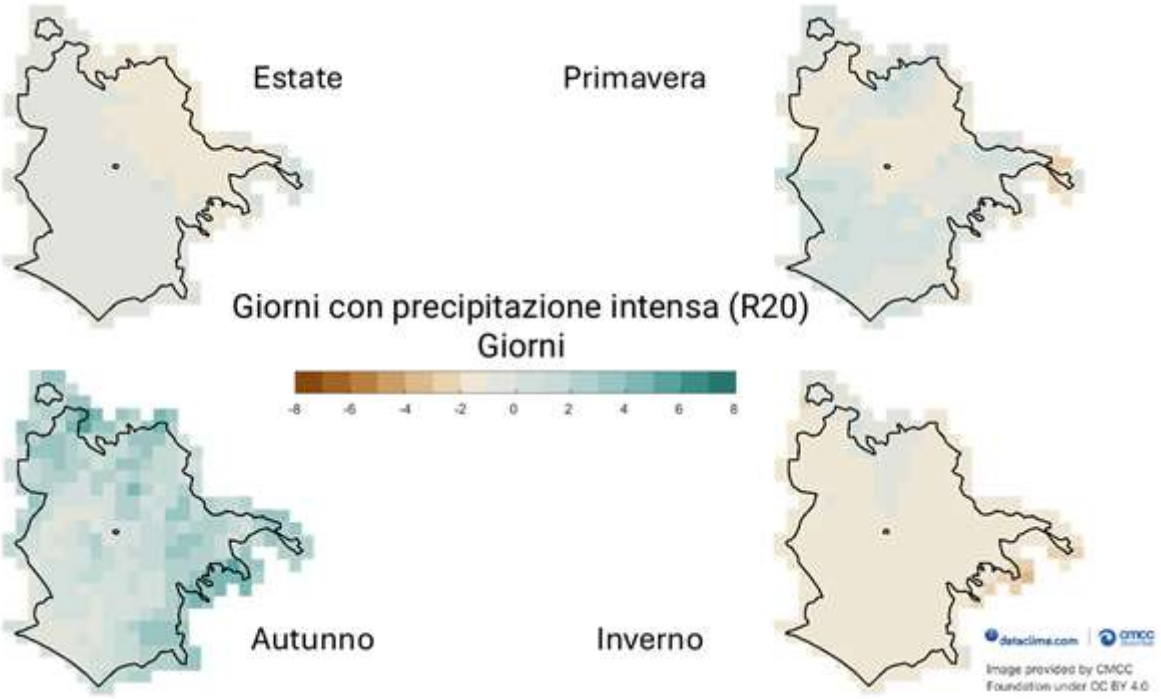


Figura 36 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Giorni con precipitazione intensa, da VHR-REA_IT.

L'indicatore di **Massima precipitazione in 1 giorno** esprime il valore massimo di precipitazione giornaliera per i giorni con precipitazione giornaliera maggiore o uguale a 1 millimetro. In altre parole, l'indicatore considera tutti i giorni piovosi (≥1 mm) e seleziona per ciascun anno il valore massimo.

I valori per la serie 1991-2024 sono riportati in **Figura 37,** dove si nota che **nel 2024 il valore massimo ha superato i 70 mm in media** sull'intero territorio comunale.

Confrontando questo dato con la media climatica del periodo 1991–2020, si rileva un'**anomalia positiva**: come evidenziato in **Figura 38**, l'anomalia per il 2024 si avvicina ai **+20 mm**, indicando un episodio di pioggia intensa significativamente superiore alla norma storica.

La **Figura 39** riporta le anomalie stagionali per lo stesso indicatore. Come si può osservare dall'immagine, la tendenza per inverno, primavera ed estate è quella di una sostanziale stabilità tra il 2024 e il periodo di riferimento. In **autunno** si può rilevare una variazione più marcata, con un aumento in particolare nelle zone meridionali e orientali del territorio capitolino.

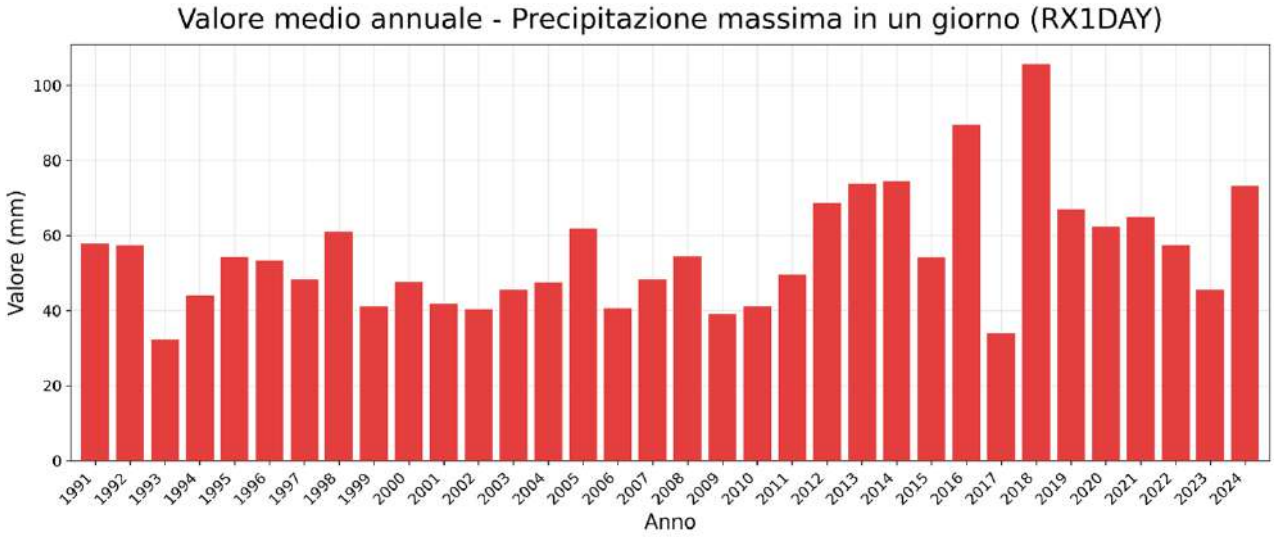


Figura 37 – Valore medio annuale dell'indicatore Precipitazione massima in un giorno, da VHR-REA_IT.

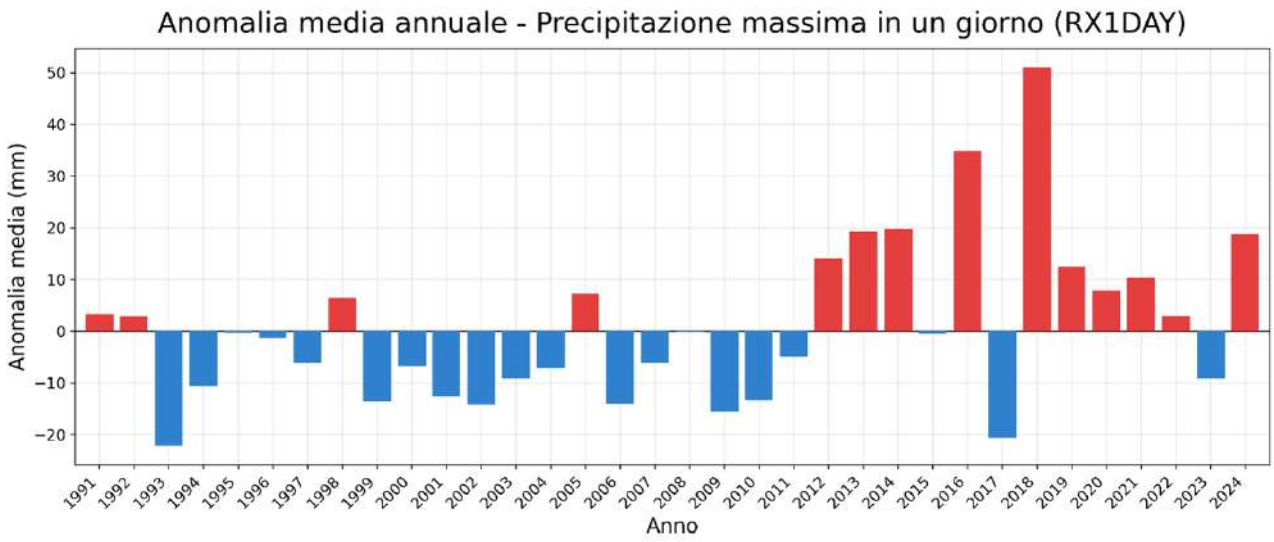


Figura 38 – Anomalia media annuale dell'indicatore Precipitazione massima in un giorno, da VHR-REA_IT.

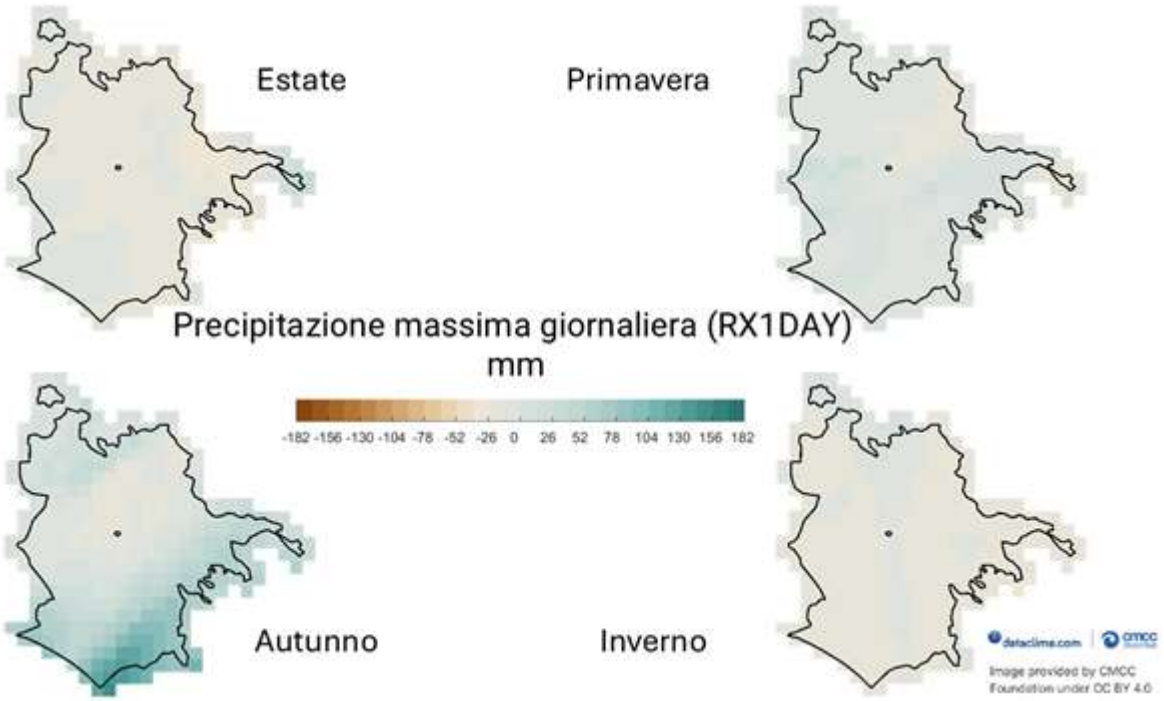


Figura 39 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Precipitazione massima in un giorno, da VHR-REA_IT.

L'indicatore **Giorni consecutivi secchi** misura il numero massimo di giorni asciutti, cioè con precipitazione giornaliera minore di 1 mm. Si tratta di un indicatore utile per individuare periodi siccitosi prolungati e valutarne la durata massima su base annuale o stagionale.

La **Figura 40** riporta i valori medi annui dal 1991 al 2024. Per l'anno oggetto di analisi, il 2024, sono stati simulati un massimo di **53 giorni consecutivi senza precipitazioni significative**.

La **Figura 41** riporta l'anomalia media annua per lo stesso indicatore, calcolata come differenza rispetto alla normale 1991-2020. Per il 2024 si osserva una leggera anomalia positiva, suggerendo che l'anno si è collocato **lievemente sopra la media** per quanto riguarda la durata dei periodi asciutti.

La **Figura 42** mostra la distribuzione spaziale sul territorio romano di questo indicatore e la sua variazione nel 2024 per ciascuna stagione meteorologica. Si nota che le variazioni principali sono state rilevante nel **periodo estivo**, soprattutto in zone settentrionali, centrali e orientali della città.

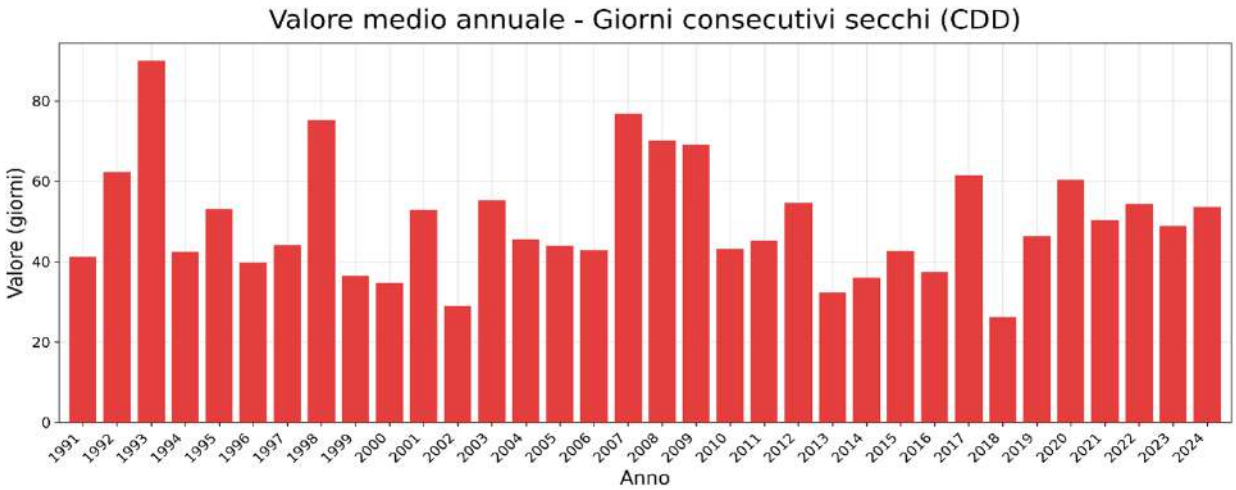


Figura 40 – Valore medio annuale dell'indicatore Giorni consecutivi secchi, da VHR-REA_IT.

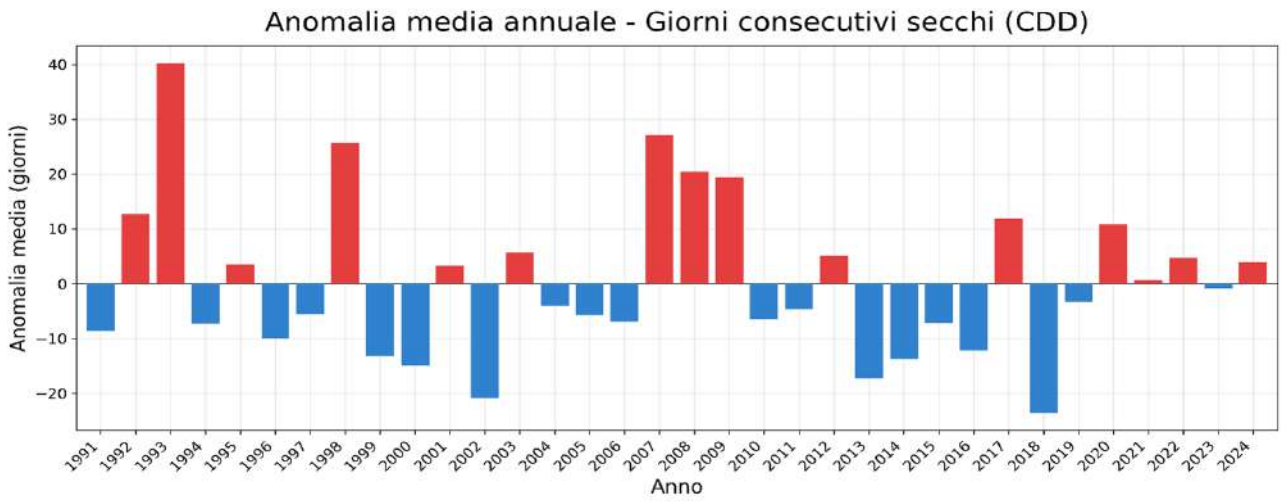


Figura 41 – Anomalia media annuale dell'indicatore Giorni consecutivi secchi, da VHR-REA_IT.

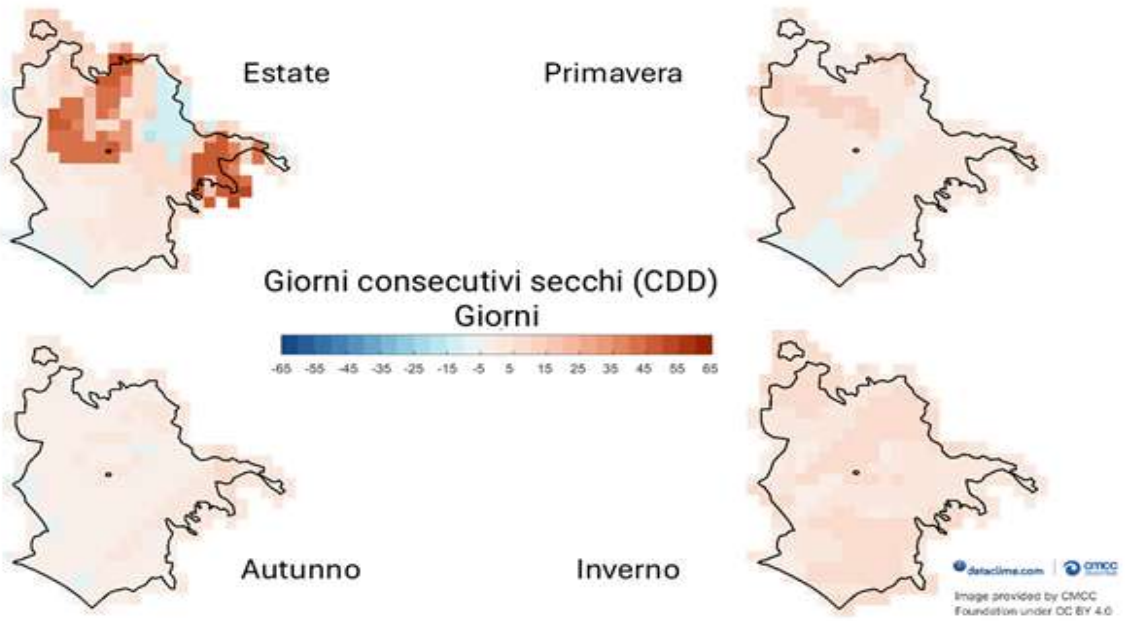


Figura 42 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Giorni consecutivi secchi, da VHR-REA_IT.

Un discorso a parte riguarda gli indicatori **Humidex4 e Humidex5, che misurano il numero di giorni in cui si rileva un disagio termico elevato o molto elevato, determinato dalla combinazione di temperatura e umidità.** In particolare, Humidex4 si riferisce ai giorni in cui l'indice assume valori compresi tra **40°C e 45°C**, indicando un **disagio termico elevato**, mentre Humidex5 considera i giorni con valori **superiori a 45°C**, segnalando un **disagio termico estremo**.

La **Figura 43 mostra i risultati da modello su base mensile per l'anno 2024**, confrontati con la media del periodo **1991–2020**, i quali valori sono riportati con le barre tratteggiate. La distanza tra queste barre e le barre rosse e viola è l'anomalia tra il 2024 e la media 1991-2020.

Colpisce in modo particolare l'indicatore Humidex5, il **disagio termico estremo**, che nel 2024 presenta **valori doppi rispetto alla media storica**, soprattutto nei mesi di **luglio e agosto**, ma anche in altri mesi rilevanti. Questo evidenzia un aumento marcato delle condizioni di disagio termico molto elevato durante l'anno appena trascorso. Invece per l'indicatore Humidex4, che calcola il **disagio termico elevato,** i dati risulterebbero minori rispetto alla media del 1991-2020. Un'interpretazione congiunta dei due indicatori suggerisce che i mesi estivi, in particolare luglio e agosto, tendano a concentrare la maggior parte delle condizioni di disagio termico estremo, dovute alla combinazione di temperature elevate e alta umidità. In altre parole, **i giorni in cui si rileva un disagio termico elevato sono relativamente meno rispetto al passato, poiché i valori superano direttamente la soglia che definisce il disagio termico estremo.**

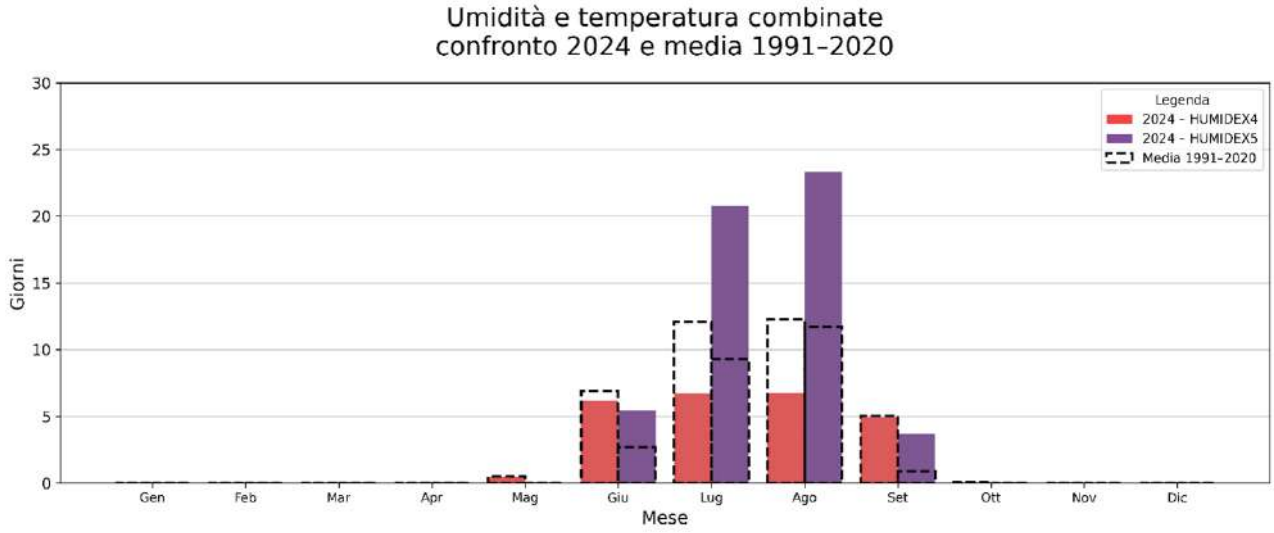


Figura 43 – Indicatori Humidex4 e Humidex5: confronto 2024 e media 1991-2020.

La **Figura 44** mostra i risultati da modello per gli indicatori che misurano il fabbisogno energetico per il condizionamento degli ambienti interni: i **Gradi giorno di riscaldamento** (**HDDs**) e i **Gradi giorno di raffrescamento** (**CDDs**).

La figura mostra l'andamento mensile dei due indicatori, evidenziando come i **Gradi giorno di riscaldamento siano rilevanti nei mesi da gennaio ad aprile e da ottobre a dicembre,** mentre i **Gradi giorno di raffrescamento risultino significativi nel periodo compreso tra maggio e settembre**. Le barre tratteggiate indicano i valori medi del periodo di riferimento 1991-2020, e la distanza tra le barre rosse e blu rispetto a queste rappresenta l'anomalia mensile del 2024 rispetto al periodo 1991-2020. Si nota come i valori nel 2024 per il riscaldamento siano tendenzialmente minori della media del periodo di riferimento, ad eccezione di dicembre, suggerendo che **inverni e primavere più miti portino a un ridotto fabbisogno energetico di riscaldamento**. Al contrario, nei mesi estivi – in particolare luglio e agosto – l'indicatore di raffrescamento mostra valori sensibilmente superiori rispetto alla media climatica, evidenziando, di conseguenza, **un possibile aumento della domanda energetica per il raffrescamento degli ambienti.**

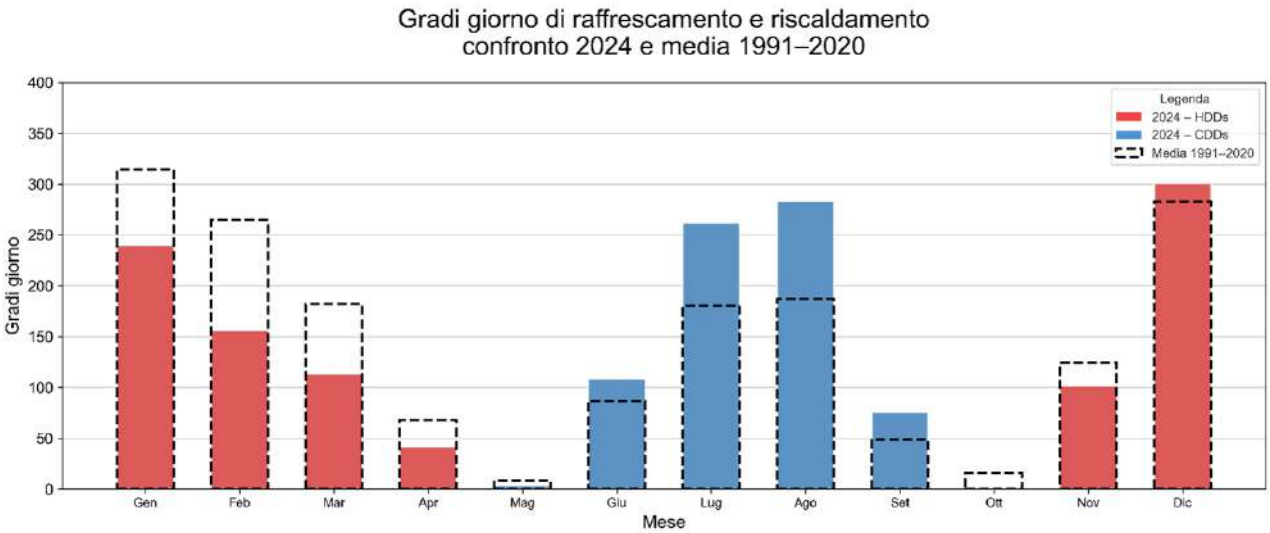


Figura 44 – Gradi giorno di riscaldamento e raffrescamento: confronto 2024 e media 1991-2020.

La **Figura 45** è una rappresentazione riassuntiva delle anomalie annue per tutti gli indicatori di temperatura calcolati con il dataset ad alta risoluzione del CMCC. Sono riportati i seguenti indicatori: **Indice di durata di periodi caldi, Giorni estivi, Notti tropicali** e **Ondate di caldo**. Per tutti questi indicatori è riportata l'anomalia annua, espressa in giorni, sull'intero periodo 1991–2024: in rosso sono evidenziate le anomalie positive, in blu quelle negative. Si nota chiaramente come negli anni più recenti prevalgano anomalie positive marcate, rappresentate da un rosso intenso, a testimonianza del processo di aumento delle temperature sul territorio romano. Particolarmente significativo è il 2003, che emerge da questi dati come un anno eccezionalmente anomalo: è infatti ricordato per gli episodi di caldo estivo estremo e per le intense ondate di calore.

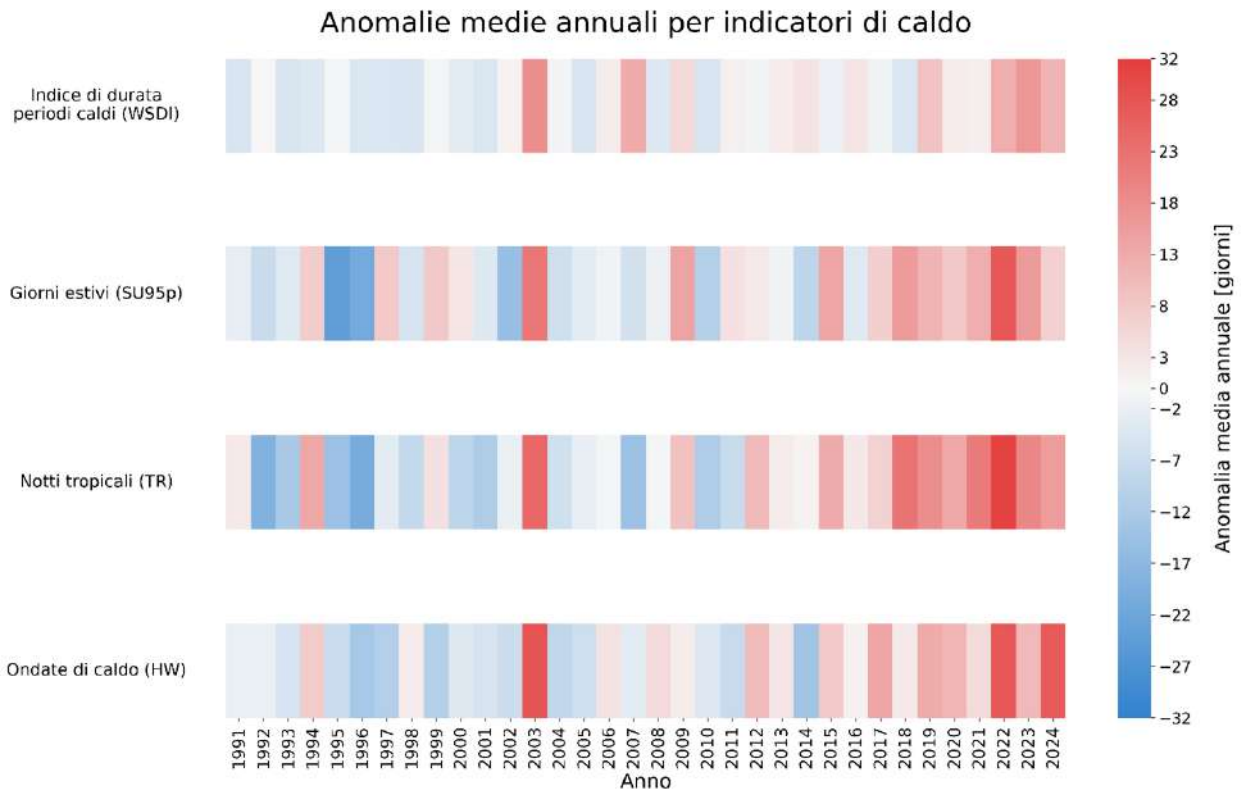


Figura 45 – Quadro sinottico delle anomalie medie annuali per gli indicatori di caldo.

Similmente alla figura precedente, la **Figura 46** riporta i risultati riassuntivi per gli indicatori da precipitazione in termini di anomalia annua normalizzata per tutto il periodo in esame. Le tendenze relative agli indicatori di precipitazione risultano di più difficile interpretazione, a causa dell'alternanza tra anni caratterizzati da eventi piovosi estremi e anni più secchi o con precipitazioni inferiori alla media. Il 2024, per gli indicatori considerati, come un anno relativamente poco piovoso, ma comunque in linea con la variabilità nel periodo di riferimento.

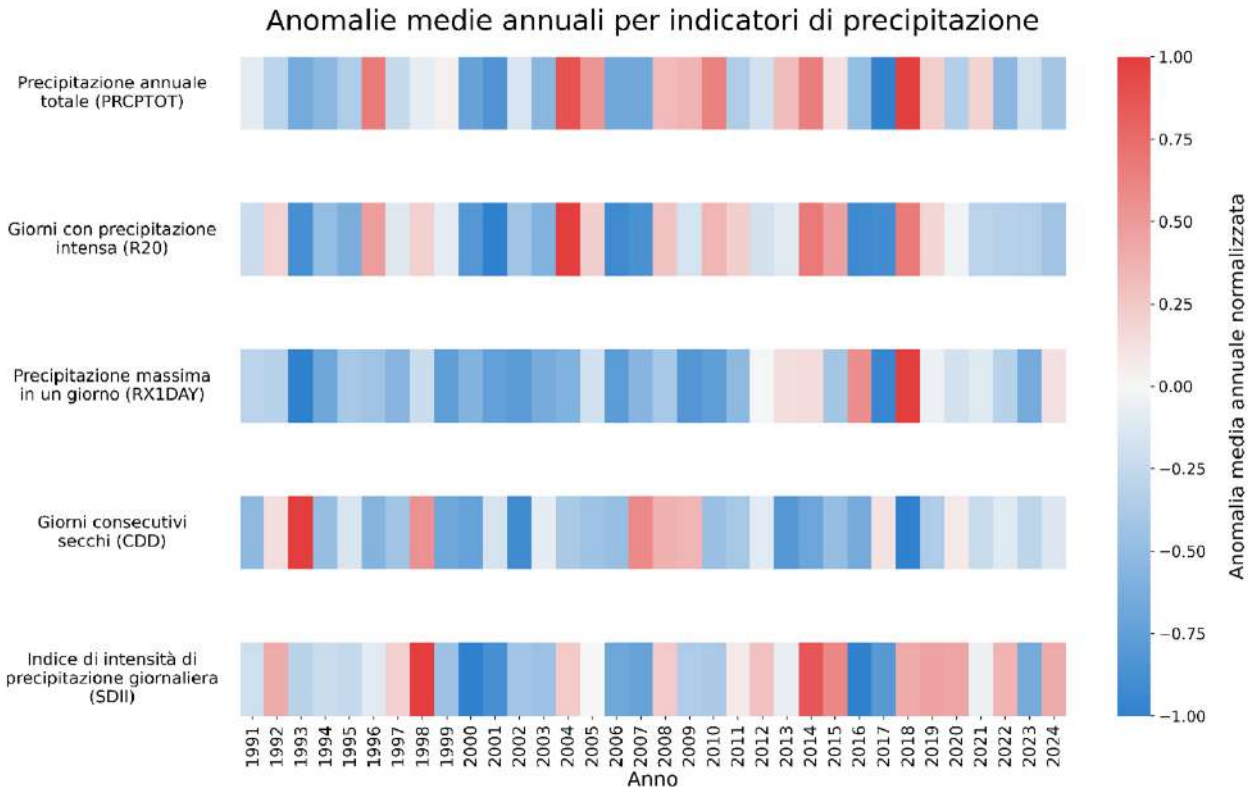


Figura 46 – Quadro sinottico delle anomalie medie annuali per gli indicatori di precipitazione.

Di seguito vengono presentati gli ultimi indicatori calcolati con i dati climatici ad altissima risoluzione (VHR-REA_IT) del CMCC. I **Giorni caldi e secchi** e i **Giorni caldi e umidi** sono indicatori che combinano temperatura e precipitazione per identificare, rispettivamente, i giorni caratterizzati da temperature elevate associate a precipitazioni assenti o molto scarse, e i giorni con temperature elevate accompagnate da elevati livelli di umidità.

L'**Indice di pericolo incendi** è un indicatore meteorologico usato per stimare il pericolo posto dall'innesto e propagazione di incendi. Valori elevati dell'indice segnalano condizioni atmosferiche particolarmente favorevoli allo sviluppo di incendi.

L'indicatore **Evapotraspirazione potenziale** rappresenta la quantità massima di acqua che può evaporare o essere traspirata, determinata esclusivamente dalle condizioni climatiche. Questo indicatore viene calcolato per stimare il deficit idrico ed è quindi rilevante per gli scopi relativi alla gestione delle risorse idriche.

Nella **Tabella 5** sono riportati i risultati per il 2024 per questi indicatori, in termini di valori medi annuali e anomalia rispetto al periodo 1991-2020, includendo gli indicatori di disagio termico da umidità (Humidex4 e Humidex5) visti in precedenza.

Indicatore	Valore	Anomalia
WD - Giorni caldi e secchi [giorni]	120	63
WW - Giorni caldi e umidi [giorni]	85	47
HUMIDEX4 – Indice di disagio termico elevato classe 4 [giorni]	25	-12
HUMIDEX5 – Indice di disagio termico estremo classe 5 [giorni]	53	28
PET – Evapotraspirazione potenziale [mm]	1117	22
FWI – Indice di pericolo incendi [numero]	115	11

Tabella 5 – Altri indicatori per valore e anomalia

La **Figura 47** raffigura le anomalie annuali normalizzate su tutto il periodo, dal 1991 al 2024, per gli stessi indicatori. Risaltano alcuni indicatori, come i **Giorni caldi e secchi** e i **Giorni caldi e umidi**, per le anomalie positive negli anni recenti, tra il 2022 e il 2024. Questi risultati suggeriscono un aumento sia dei giorni di caldo intenso e con scarse precipitazioni, tipici delle condizioni estive, sia dei giorni molto caldi in cui si riportano precipitazioni abbondanti.

Concentrandosi sul triennio 2022-2024, i risultati per gli indicatori di umidità e temperatura combinati – ovvero i **giorni con disagio termico elevato** (Humidex4) e i **giorni con disagio termico estremo** (Humidex5) – mostrano un aumento dei giorni con disagio termico estremo rispetto alla media del periodo 1991-2020, mentre i giorni con disagio elevato risultano avere un'anomalia negativa nel 2024. Ciò può essere interpretato come un passaggio a condizioni più estreme: i giorni che in passato avrebbero causato un disagio termico elevato rientrano oggi sempre più di frequente nella categoria di disagio termico estremo.

L'**Indice di pericolosità da incendi** nel 2024 risulta in linea con la media 1991-2020, mentre per l'indicatore **Evapotraspirazione potenziale** risulta una leggera anomalia positiva rispetto al periodo precedente.

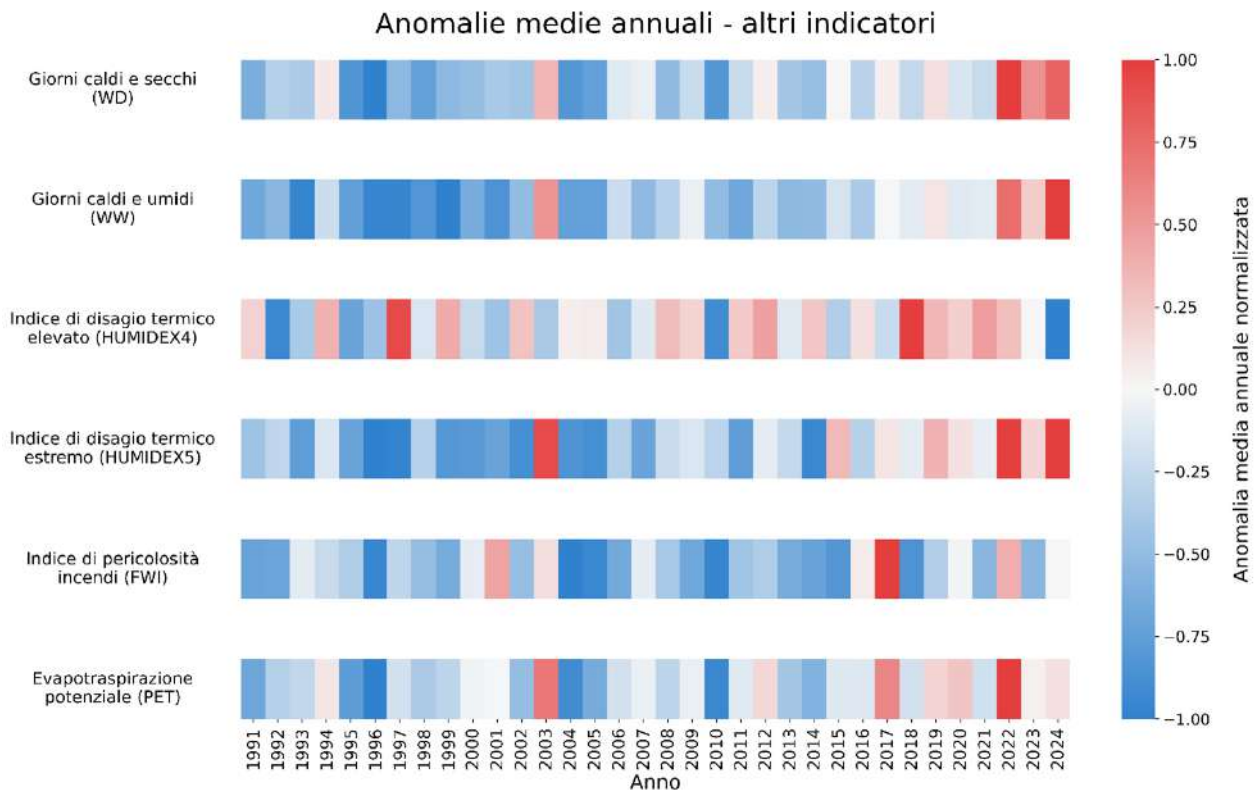


Figura 47 – Anomalie medie annuali, altri indicatori.

L'analisi degli indicatori calcolati a partire da dati basati su rianalisi climatica ad alta risoluzione del CMCC evidenzia due risultati principali. In primo luogo, la tendenza all'aumento di temperature si è confermata anche nel 2024, che risulta **l'anno più caldo dal 1991** e con valori record per tutti gli indicatori relativi al caldo. In secondo luogo, il **2024 è stato un anno relativamente secco**, con precipitazioni totali inferiori alla media, ma caratterizzato comunque da episodi di precipitazioni estreme. Il **2024 non rappresenta un caso isolato se confrontato con gli anni immediatamente precedenti, il 2022 e il 2023**. Gli ultimi tre anni, infatti, si contraddistinguono per gli elevati valori per tutti gli indicatori legati al caldo.

Concentrandosi su singoli indicatori, si osservano valori e anomalie positive particolarmente elevate per le **Notti tropicali,** notti con temperatura minima superiore ai 20°C e, soprattutto, per le **Notti torride**, notti con temperatura minima superiore ai 25°C, **che nel 2024 hanno raggiunto il numero più alto dal 1991.**

Gli inverni in città risultano sempre più miti, come evidenziato dagli indicatori legati al freddo. In particolare, i **Giorni di gelo** nel 2024 sono stati quasi assenti, con un'anomalia fortemente negativa rispetto alla media del periodo 1991-2020. Inoltre, anche per l'indicatore **Indice di durata dei periodi caldi**, che è un indice di caldo "relativo" in quanto prende in esame i periodi eccezionalmente caldi confrontandoli con la climatologia storica per un determinato periodo dell'anno, ha evidenziato come l'inverno del 2024 abbia visto temperature notevolmente superiori alla media.

Gli indicatori basati sulle precipitazioni evidenziano come **il 2024 sia stato un anno relativamente secco, con in media 500 mm totali di pioggia al metro quadrato** su tutta l'area del comune di Roma. Sono stati inoltre rilevati **53 giorni consecutivi senza precipitazioni significative.**

È in aumento il numero di giorni con forte disagio termico dovuto alla combinazione di umidità e temperature elevate. In particolare, nei mesi estivi si riporta un'elevata frequenza di giornate con temperatura percepita superiore ai 45°C.

Gli indicatori che stimano il **fabbisogno di riscaldamento nei giorni freddi** e di **raffreddamento nei giorni caldi** mostrano una netta tendenza alla diminuzione del primo e all'aumento del secondo.

Risultati da dati satellitari

Questa terzo capitolo è dedicato ai risultati da monitoraggio da immagini satellitari. Un monitoraggio basato su questa tipologia di dati è utile per stimare le temperature superficiali e identificare le aree relativamente più calde della città. Tali aree, soggette al fenomeno noto come **Isola di calore urbana**, rappresentano contesti prioritari per l'adozione di misure di adattamento volte a mitigarne gli effetti negativi del calore urbano, migliorando il comfort termico e la resilienza locale.

La **Figura 48** mostra una composizione di immagini satellitari acquisite durante il 2024. Da ogni singola immagine, riferita alla stagione meteorologica, è stata ricavata la media delle temperature superficiali [°C] delle immagini satellitari acquisite in ciascuna stagione, ripulite dai disturbi rappresentati dalle nuvole e con una risoluzione spaziale pari a quella con cui le immagini sono state acquisite da satellite, un pixel di 30 metri. La scala di temperatura comune permette di apprezzare le differenze di temperatura stagionali, con l'inverno che si categorizza come stagione più fredda e l'estate come periodo più caldo.

È anche possibile notare come tra le stagioni intermedie la primavera risulti leggermente più calda dell'autunno.

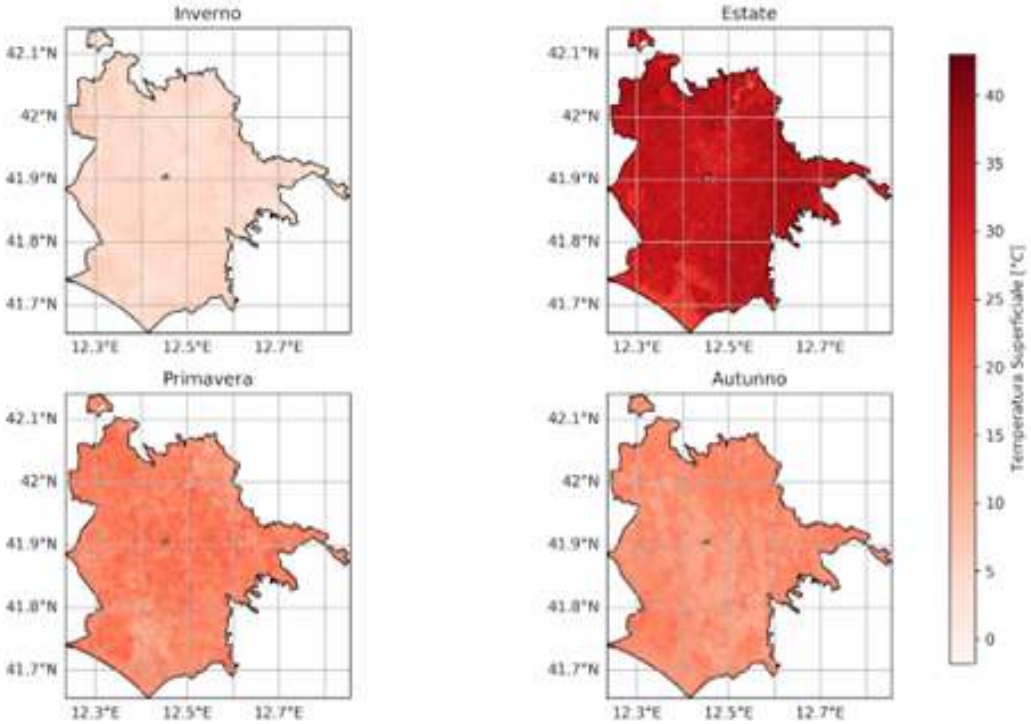


Figura 48 – Medie stagionali di temperatura superficiale da satellite.

Per facilitare la lettura dei dati e consentire una consultazione più agevole dei risultati ad alta risoluzione (30 metri per pixel), **l'analisi è stata organizzata secondo le zone urbanistiche di Roma**, ovvero suddivisioni statistiche dei Municipi della città. In questo modo, attraverso la piattaforma è possibile sia osservare le temperature superficiali medie per zona urbanistica, sia esplorare nel dettaglio, a livello di singolo pixel, i valori di temperatura all'interno delle stesse aree.

Le immagini utilizzate per il 2024 sono in tutto 24. In **Tabella 6** viene riportato l'elenco delle giornate di passaggio.

Anno	Stagione	Mese	Data
2023	Inverno	Dicembre	14/12/2023
2024		Gennaio	15/01/2024
			31/01/2024
		Febbraio	16/02/2024
	Primavera	Marzo	03/03/2024
			19/03/2024
		Aprile	04/04/2024
			20/04/2024
		Maggio	06/05/2024
			22/05/2024
	Estate	Giugno	07/06/2024
		Luglio	09/07/2024
			25/07/2024
		Agosto	10/08/2024
			26/08/2024
	Autunno	Settembre	11/09/2024
			27/09/2024
		Ottobre	13/10/2024
			29/10/2024
		Novembre	14/11/2024
			30/11/2024
	Inverno	Dicembre	16/12/2024

Tabella 6 – Passaggi del satellite Landsat 8 considerati nel report 2024.

La **Figura 49** riporta le temperature superficiali di un giorno specifico, **il 10 agosto 2024, uno dei più caldi di cui sia disponibile una immagine satellitare per l'anno in esame.** In questo caso, le temperature ricavate dall'immagine satellitare sono state aggregate in base alle zone urbanistiche di Roma, passando da una rappresentazione per pixel a una rappresentazione utile a identificare le aree della Città mediamente più calde. Questo passaggio è stato effettuato secondo un criterio di media, calcolando cioè la media dei pixel che ricadono sull'area urbanistica esaminata. Per alcune aree caratterizzate da una superficie molto ampia si è decisa la suddivisione in porzioni più piccole, per non perdere troppa informazione nel passaggio da pixel a superficie amministrativa. Nell'immagine si può notare come le aree più calde in quella giornata sono quelle nella zona nord di Roma, tra le più lontane dal mare. Di contro, le zone urbanistiche meno calde – in un contesto, comunque, di temperature alte – sono quelle dell'area di Castelporziano, vicino alla costa in una zona di pinete e ampie aree naturali.

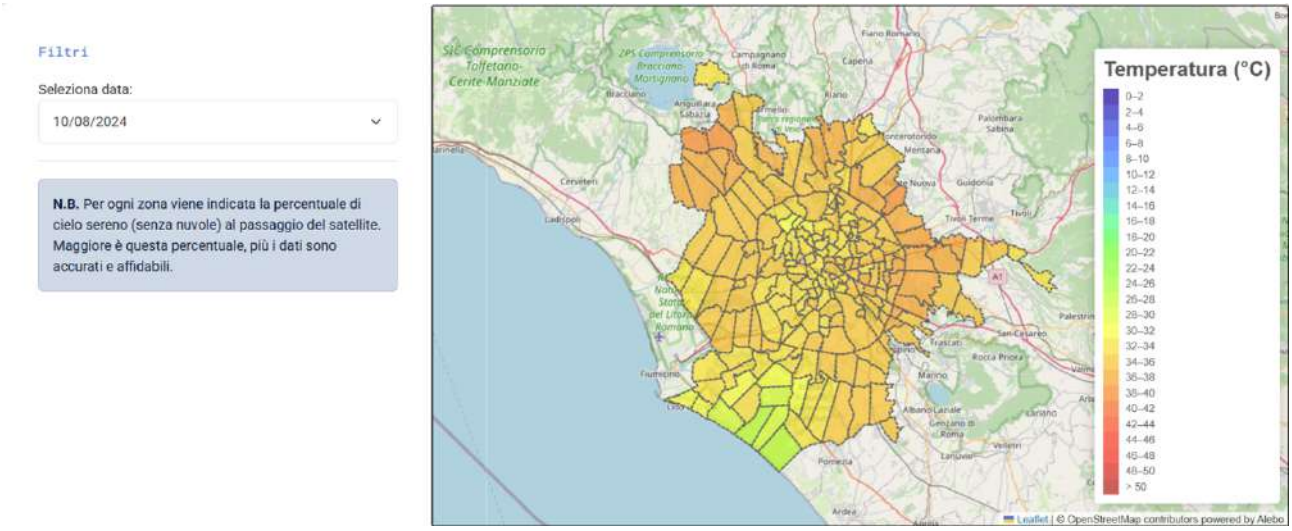


Figura 49 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 10/08/2024, su zona urbanistica.

La **Figura 50** mostra invece la temperatura superficiale riferita a una giornata invernale, il 31 gennaio 2024. In questo caso, le aree più calde sono quelle del centro urbano più denso, tendenzialmente le zone urbanistiche attorno alla circonferenza del Grande Raccordo Anulare. Le aree più fredde sono invece quelle sulla costa e sui lembi est e nord della città.

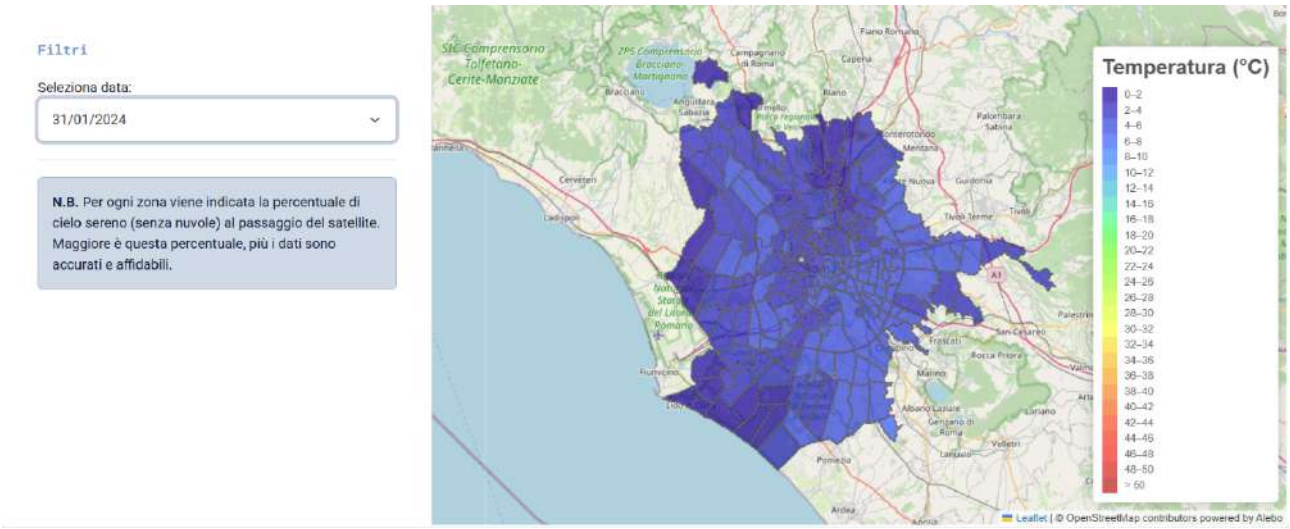


Figura 50 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 31/01/2024, su zona urbanistica.

L'affidabilità dell'immagine satellitare su tutta l'area esaminata dipende dalla percentuale di copertura nuvolosa. Nella visualizzazione interattiva in piattaforma, la percentuale di superficie non coperta dalle nuvole può essere visualizzata cliccando sulla zona urbanistica desiderata: più questa percentuale è alta, più i dati sono accurati e affidabili.

Cliccando su una determinata zona urbanistica è possibile visualizzare il dettaglio della temperatura superficiale nei "pixel" da 30 metri. Questa visualizzazione permette di osservare anche l'effetto di isola urbana di calore. In particolare, è possibile vedere come le temperature tendano a restare più alte nelle zone particolarmente urbanizzate, e più fresche nelle aree con maggiore presenza di aree verdi.

Ad esempio, esaminando la foto satellitare del 25 luglio 2024 (**Figura 51**) possiamo vedere ancora come le temperature più fresche si possano osservare nei pressi delle aree naturali. Una zona fresca particolarmente ampia è quella nei pressi della Riserva Naturale Statale di Casterporziano: questa zona urbanistica, che nella piattaforma è stata suddivisa in porzioni più piccole per non perdere rappresentatività del dato climatico, presenta temperature medie per la giornata selezionata intorno ai 25-27 °C. Le zone urbanizzate intorno, ad esempio Palocco e Acilia Sud, presentano temperature notevolmente maggiori, tra 30 e 32 °C.

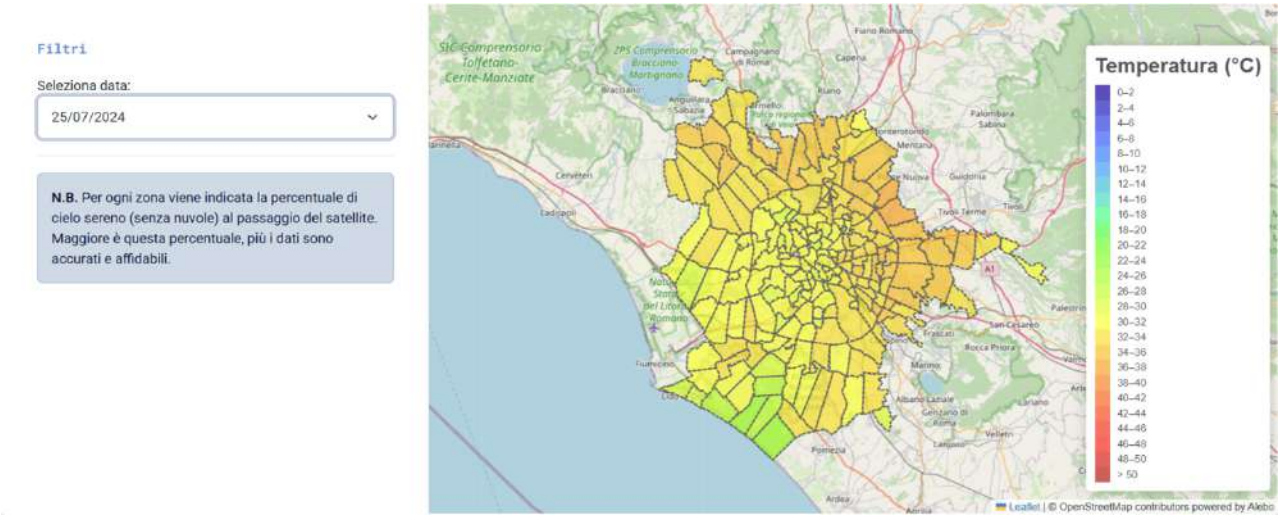


Figura 51 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 25/07/2024, su zona urbanistica.

Il dettaglio della zona urbanistica di Castelporziano in **Figura 52** mostra nel dettaglio questo fenomeno.

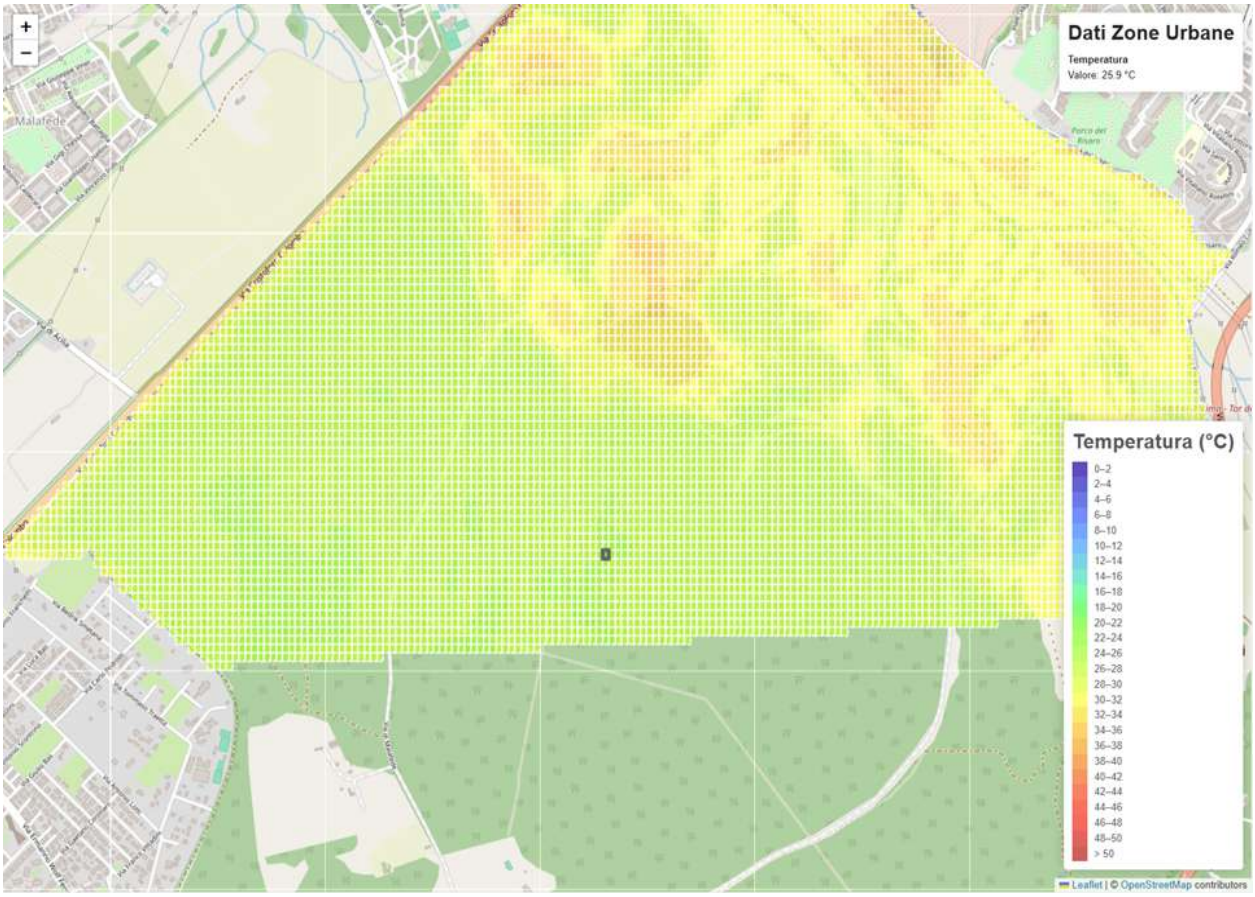


Figura 52 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 25/07/2024, su zona urbanistica Castelporziano.

Allo stesso modo, una condizione analoga può essere osservata in altre zone fortemente naturalizzate della città. In **Figura 53** si notano le temperature relativamente fresche dell'area dove si trova l'Oasi Lipu di Castel di Guido. In questo caso, per una migliore visualizzazione si suggerisce di osservare il dato puntuale, in quanto il valore di temperatura attribuito all'intera area è un valore medio che non mette in risalto le forti differenze di temperatura tra aree urbanizzate e aree verdi.

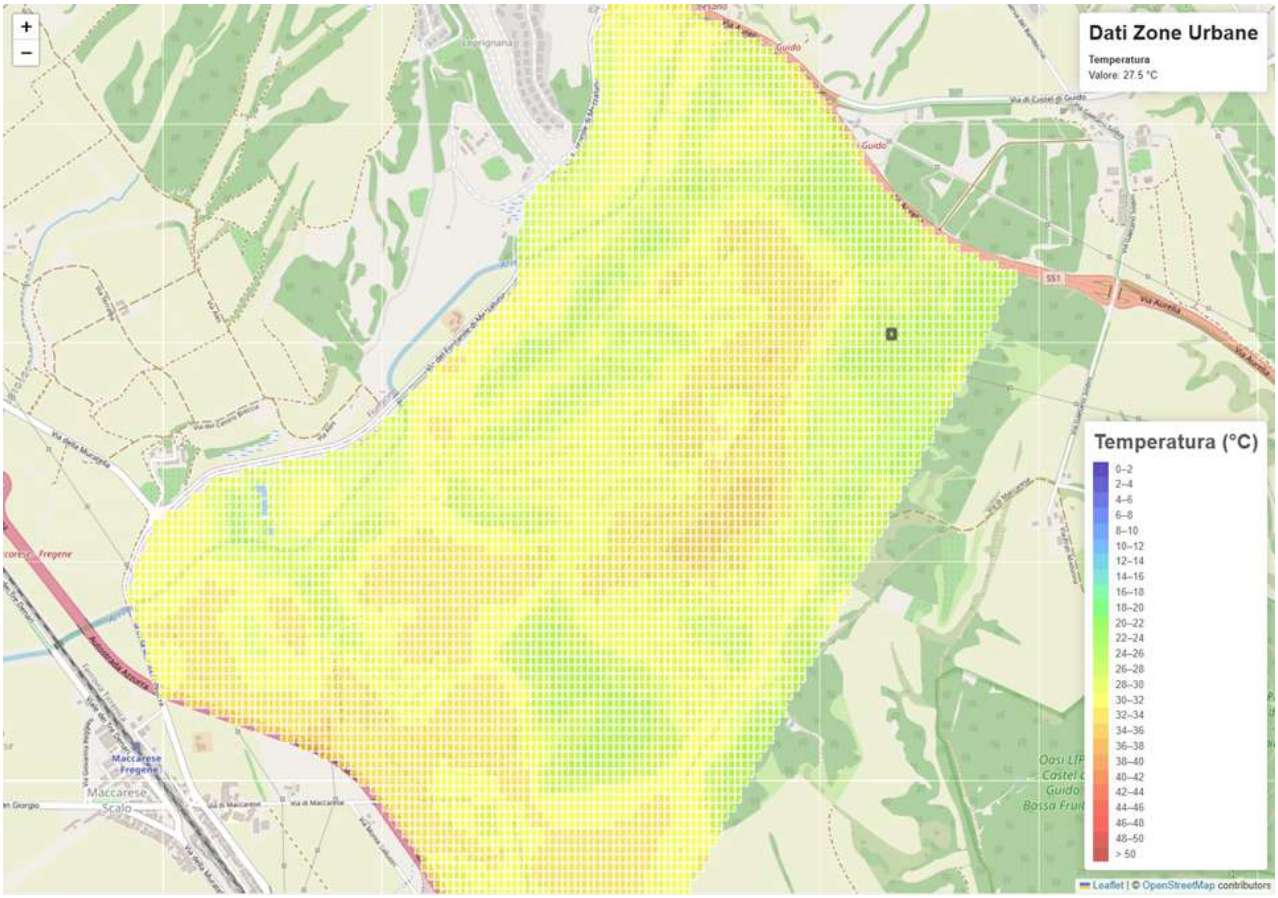


Figura 53 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 25/07/2024, su zona urbanistica Pantano di Grano.

Il fenomeno dell'isola urbana di calore è una caratteristica intrinseca del territorio: le aree urbanizzate e quindi con più superfici scure (come asfalto o cemento) presentano un'albedo basso e dunque assorbono maggiore radiazione solare. Allo stesso modo, la presenza di edifici può alterare la circolazione delle correnti d'aria, contribuendo all'innalzamento localizzato della temperatura. All'interno del perimetro del Grande Raccordo Anulare, zone più calde si possono identificare presso la zona Cecchignola. All'esterno, alte temperature si osservano in tutto l'arco ovest-nord-est del territorio comunale. Queste temperature sono sempre generalmente più elevate, anche in periodo invernale. Anche se il fenomeno dell'isola urbana di calore non è, come si è detto, un fenomeno esclusivamente climatico, **le azioni di adattamento basate sulla natura,** che consistono, ad esempio, in piantumazione e costruzione di aree verdi e di *de-paving*, ovvero di rimozione di asfalto e cemento a favore di superfici riflettenti e maggiormente assorbenti, **permettono di abbassare la temperatura locale, migliorando le condizioni microclimatiche dell'area interessata** durante i periodi più caldi dell'anno e aumentando la capacità del terreno di assorbire acqua in caso di precipitazioni intense. **I futuri report saranno in grado attraverso l'analisi delle**

immagini satellitari e la mappatura della temperatura al suolo, di individuare aree dove si è riscontrato un effetto positivo di queste azioni di adattamento.

In ambito prettamente urbano, è possibile osservare la differenza di temperatura determinata dalla presenza o assenza di aree verdi prendendo come esempi le **zone urbanistiche di EUR ed Esquilino**. Per quanto concerne zona EUR (**Figura 54**), la temperatura superficiale riferita alla foto satellitare del 10 agosto 2024 rivela come le aree verdi di questo territorio siano generalmente più fresche rispetto alle zone urbanizzate. Si notino ad esempio il parco del Ninfeo, il LunEUR Park, il parco degli eucalipti e – soprattutto – il parco Centrale dell'EUR.

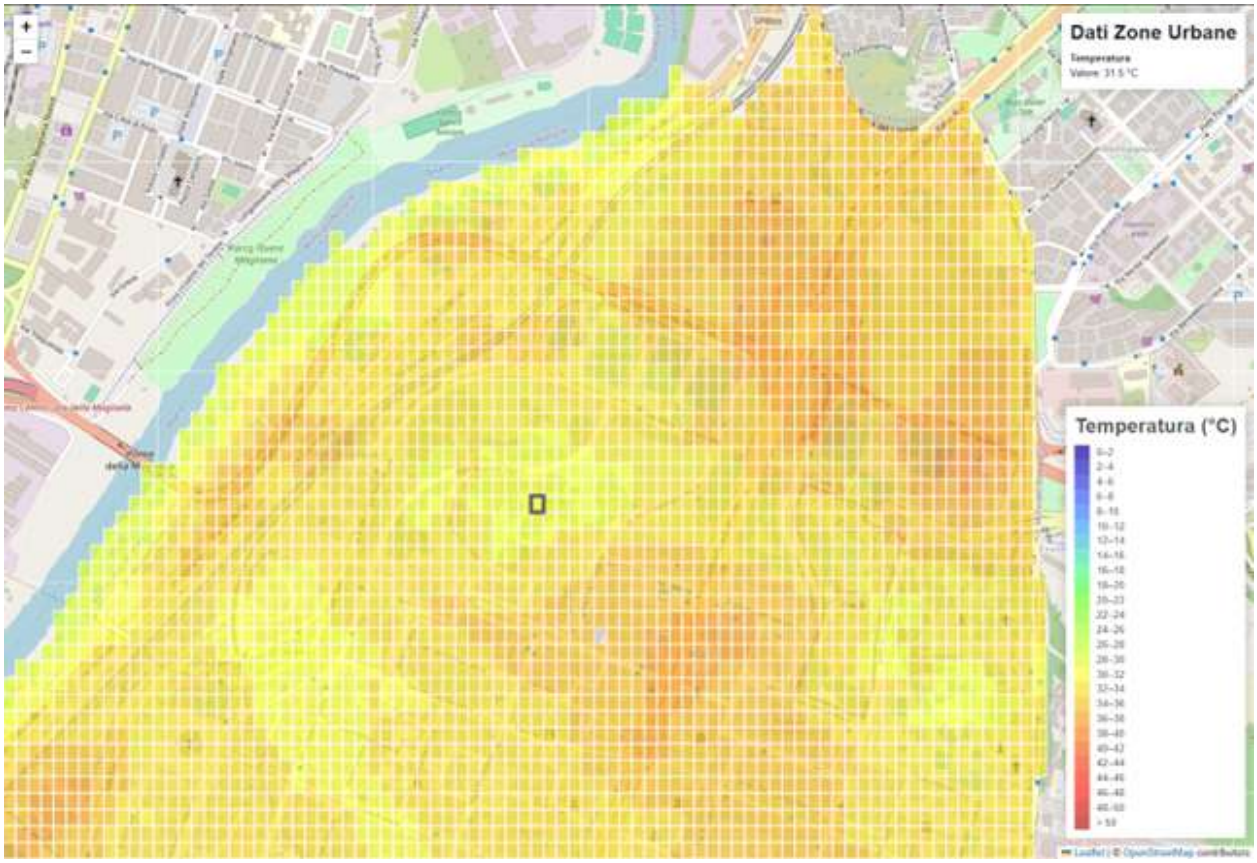


Figura 54 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 10/08/2024, su zona urbanistica EUR.

Andamento del tutto simile è osservabile nella zona Esquilino (**Figura 55**). In questo caso, si noti in particolare l'azione "raffrescante" del Parco del Colle Oppio e del Parco di Villa Wolkonsky, opposta invece alle aree più calde nei pressi dell'urbanizzato. Questa zona urbanistica permette anche di apprezzare un ulteriore riscaldamento tipico delle aree industriali o occupate da infrastrutture, come si può notare nei punti più caldi del sedime ferroviario nei pressi di stazione Termini e dei fabbricati produttivi di Via di Porta Maggiore e Via Luigi Luzzatti.

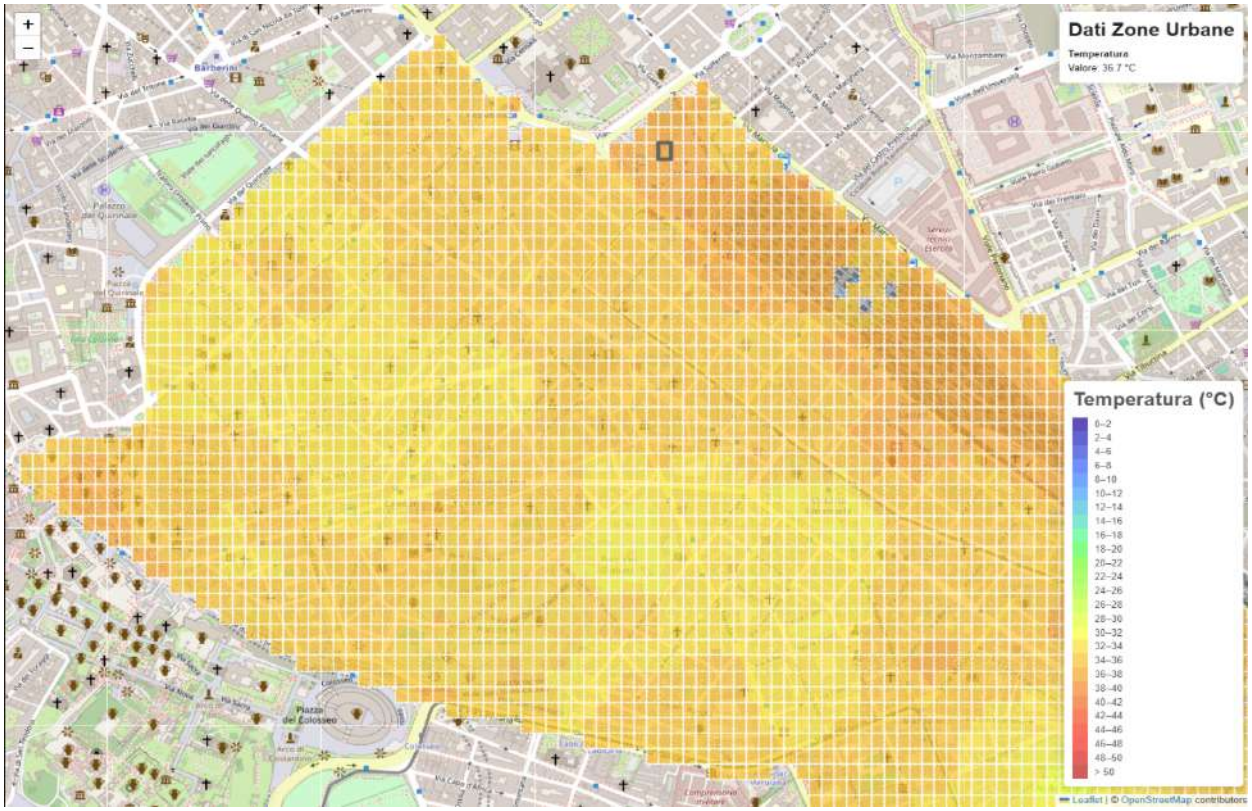
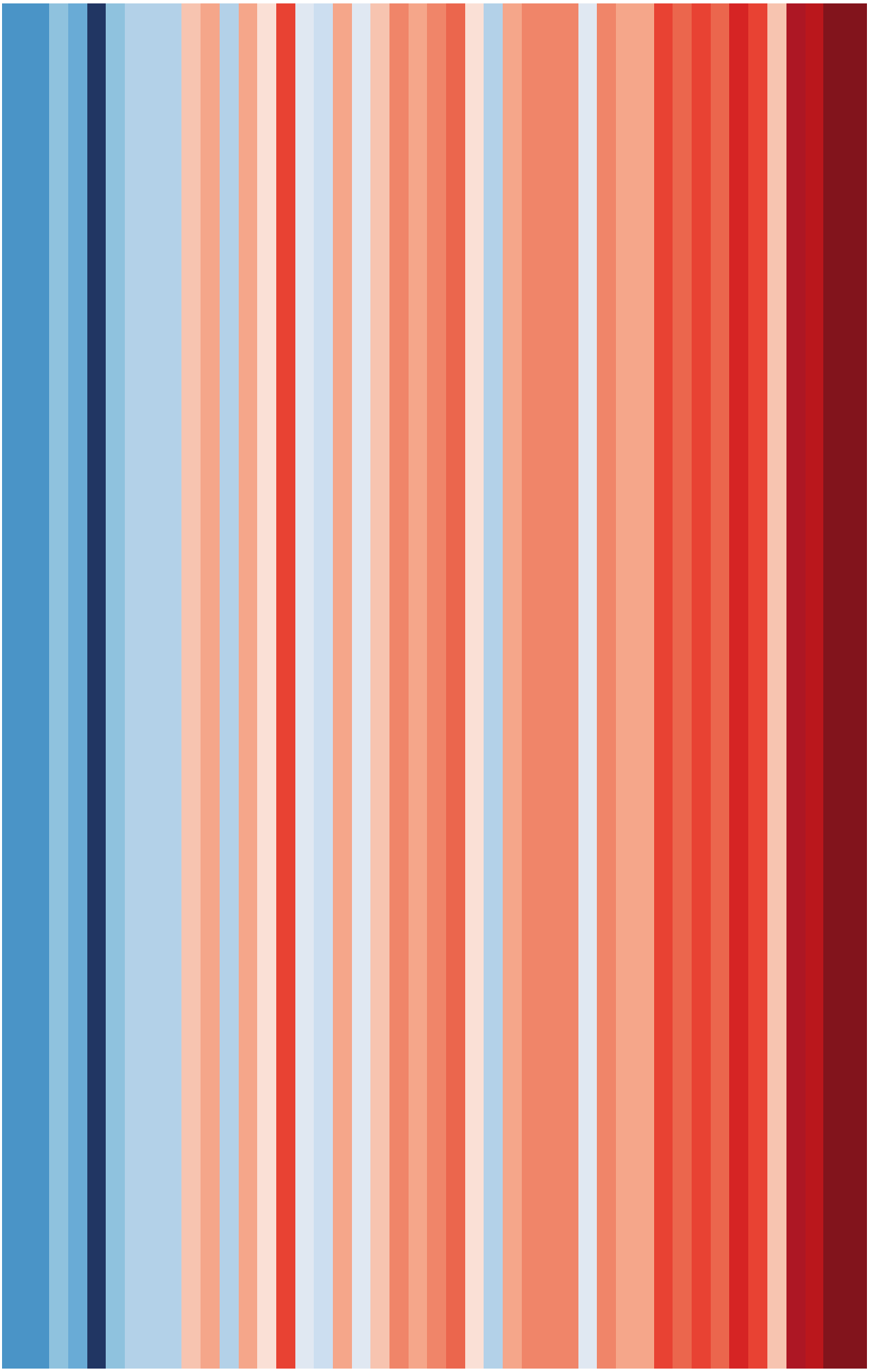


Figura 55 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 10/08/2024, su zona urbanistica Esquilino.



6 Contributi alla piattaforma

Contributi alla piattaforma

Questa sezione è dedicata a spiegare come accedere e usufruire dei servizi offerti dal CMCC e dell'Ufficio Clima della città di Roma presenti sulla piattaforma **Dataclime**. Questa piattaforma è sviluppata e gestita dalla Divisione **Modelli regionali e Impatti geo-Idrologici** dell'**Istituto per la resilienza climatica del CMCC.** È una piattaforma operativa con lo scopo di trasformare dati climatici in informazioni utili e "su misura" per utenti con competenze ed esigenze differenti.

Sintesi dei dati caricati sulla piattaforma Dataclime

I dati caricati sulla piattaforma seguono la struttura descritta nel presente report, articolandosi in tre sezioni in base alla tipologia di fonte utilizzata per l'analisi e l'elaborazione degli indicatori climatici. In aggiunta alle sezioni **Stazioni meteorologiche, Dato climatico ad alta risoluzione** e **Immagini satellitari**, sulla piattaforma è presente anche una sezione dedicata alle **Proiezioni climatiche.** Queste analisi, sviluppate dal CMCC pewr la Strategia vengono in questa sede riproposte per complementare le analisi da altre fonti.

Stazioni meteorologiche

La prima sezione è dedicata alle 31 stazioni di monitoraggio presenti sul territorio, suddivise in 6 termometri e 25 pluviometri. A partire da queste fonti sono stati calcolati gli indicatori climatici suddivisi in base alla tipologia di stazione. I risultati del calcolo degli indicatori sono presentati in due modalità: come valori assoluti degli indicatori e come anomalie rispetto al periodo climatico di riferimento 1991-2020.

La visualizzazione è possibile sia attraverso la sezione *Serie temporali,* che riporta i dati in formato di serie su scala mensile e annuale, sia attraverso la sezione *Mappe,* che mostra la posizione spaziale delle stazioni con il relativo valore.

Per entrambe le sezioni è presente un menu a tendine con la possibilità di selezionare la tipologia di stazione, l'anno (dal 1991 al 2024) e l'indicatore.

Dato climatico ad alta risoluzione

La seconda sezione riguarda i dati provenienti dal modello ad altissima risoluzione VHR-REA_IT sviluppato dal CMCC. Oltre agli indicatori climatici considerati per le stazioni meteorologiche, sono presenti altri indicatori, non calcolabili solamente con variabili di temperatura e precipitazione. Questi indicatori sono gli stessi riportati in Strategia. In questo caso, l'analisi e la visualizzazione sono su base stagionale:

- **Inverno** (dicembre–gennaio–febbraio),
- **Primavera** (marzo–aprile–maggio),
- **Estate** (giugno–luglio–agosto),
- **Autunno** (settembre–ottobre–novembre).

Immagini satellitari

In questa sezione sono presenti i risultati dall'analisi da dati satellitari. La variabile calcolata è la **temperatura superficiale (LST)**, fondamentale per caratterizzare differenze in temperatura tra aree della città e il fenomeno dell'isola urbana di calore. Il satellite utilizzato è il **Landsat 8 OLI-TIR**S con risoluzione spaziale di **30 metri**, il quale ha una **frequenza di circa 16 giorni**. Sono presenti quindi 22 elaborazioni da dati satellitari corrispondenti alle date in cui il satellite ha sorvolato il territorio di Roma. L'arco temporale va dal dicembre 2023 al dicembre 2024. É possibile selezionare la data nel menu a tendina.

I risultati sono visualizzabili aggregati per **zone urbanistiche**, a ciascuna delle quali è associato un valore medio di temperatura superficiale. Le zone urbanistiche più estese sono ulteriormente suddivise in sottozone di dimensioni minori, per facilitare la lettura e la consultazione dei dati.

Una limitazione dei dati da immagini satellitari riguarda la presenza di **nuvolosità al momento del passaggio del satellite**, che può causare distorsioni rilevanti nei dati. In alcuni casi, ciò comporta l'assenza di dati per determinati giorni o per specifiche zone urbanistiche, dove non sarà disponibile il valore di temperatura superficiale. Questo accade perché le nuvole oscurano la superficie terrestre, impedendo la misurazione corretta. Per rendere esplicita questa eventualità, nella piattaforma è presente una nota esplicativa sotto il menu a tendina.

Proiezioni climatiche

I modelli climatici regionali utilizzati per l'elaborazione di queste proiezioni climatiche fanno parte del programma EURO-CORDEX. Si tratta di un'iniziativa internazionale che ha l'obiettivo di produrre proiezioni climatiche accurate per tutte le aree terrestri del pianeta. Questo modello ha una risoluzione a 12 km circa. I valori e le anomalie sono calcolati utilizzando i dati da periodo di riferimento 1981-2010 e i risultati si riferiscono al trentennio futuro 2036-2065.

Per calcolare le future condizioni climatiche sul territorio sono stati adottati degli scenari emissivi, elaborati dall'IPCC, che riproducono possibili "strade" che il mondo prenderà in base allo sforzo che sarà messo in atto per contrastare i cambiamenti climatici. Tali **Percorsi Rappresentativi di Concentrazione** (R*epresentative Concentration Pathways*, RCP) sono scenari climatici espressi in termini di concentrazioni di gas serra. Il numero associato a ciascun RCP si riferisce al Forzante Radiativo (Radiative Forcing – RF) espresso in unità di Watt per metro quadrato (W/m2) e indica l'entità dei cambiamenti climatici antropogenici entro il 2100 rispetto al periodo preindustriale: ad esempio, ciascun RCP mostra una diversa quantità di calore addizionale immagazzinato nel sistema Terra quale risultato delle emissioni di gas serra. Gli scenari IPCC utilizzati nella presente analisi sono i seguenti:

- **RCP2.6** - "Mitigazione aggressiva";
- **RCP4.5** - "Forte mitigazione";
- **RCP8.5** - "Nessuna mitigazione".

Indicazioni sull'uso e accesso ai dati

Il servizio climatico è accessibile al seguente *link*:

Servizio di monitoraggio di indicatori climatici per Roma Capitale

All'apertura del *link* sarà necessaria la registrazione gratuita al servizio. Una volta effettuata, si potrà selezionare la Card relativa al monitoraggio per il Comune di Roma. Questa pagina rimanderà a una descrizione generale del monitoraggio, degli strumenti e dei dati utilizzati, come mostrato nella seguente **Figura 56**.
In basso sono presenti le varie sezioni con cui è strutturato il monitoraggio: **Stazioni meteorologiche**, **Dato climatico ad alta risoluzione**, **Immagini satellitari**, **Proiezioni climatiche** e **Contatti**.

L'ultima pagina, **Contatti** è dedicata a eventuali domande o richieste di informazioni sul servizio di monitoraggio. Ciò è possibile scrivendo alla mail pianoclima@comune.roma.it specificando nell'oggetto della mail "Richiesta servizio di monitoraggio".

Figura 56 – Pagina di accesso al servizio di monitoraggio di indicatori climatici per Roma Capitale.

Selezionando la sezione dedicata alle **Stazioni meteorologiche,** si apre una mappa che mostra le stazioni utilizzate nel monitoraggio, rappresentate da simboli: un termometro per le temperature e una goccia d'acqua per le precipitazioni.

Questa pagina, denominata **Serie temporali**, consente di consultare i dati in forma temporale, sia stagionale che annuale. Selezionando una stazione, come illustrato in **Figura 57**, e cliccando su **Dashboard**, si apre una pagina dedicata che mostra le serie temporali, stagionali e annuali relative a quella specifica stazione, come riportato in **Figura 58**.

All'interno della *dashboard* è presente un menu a tendine con la possibilità di selezionare la tipologia di stazione, l'anno (dal 1991 al 2024) e l'indicatore.

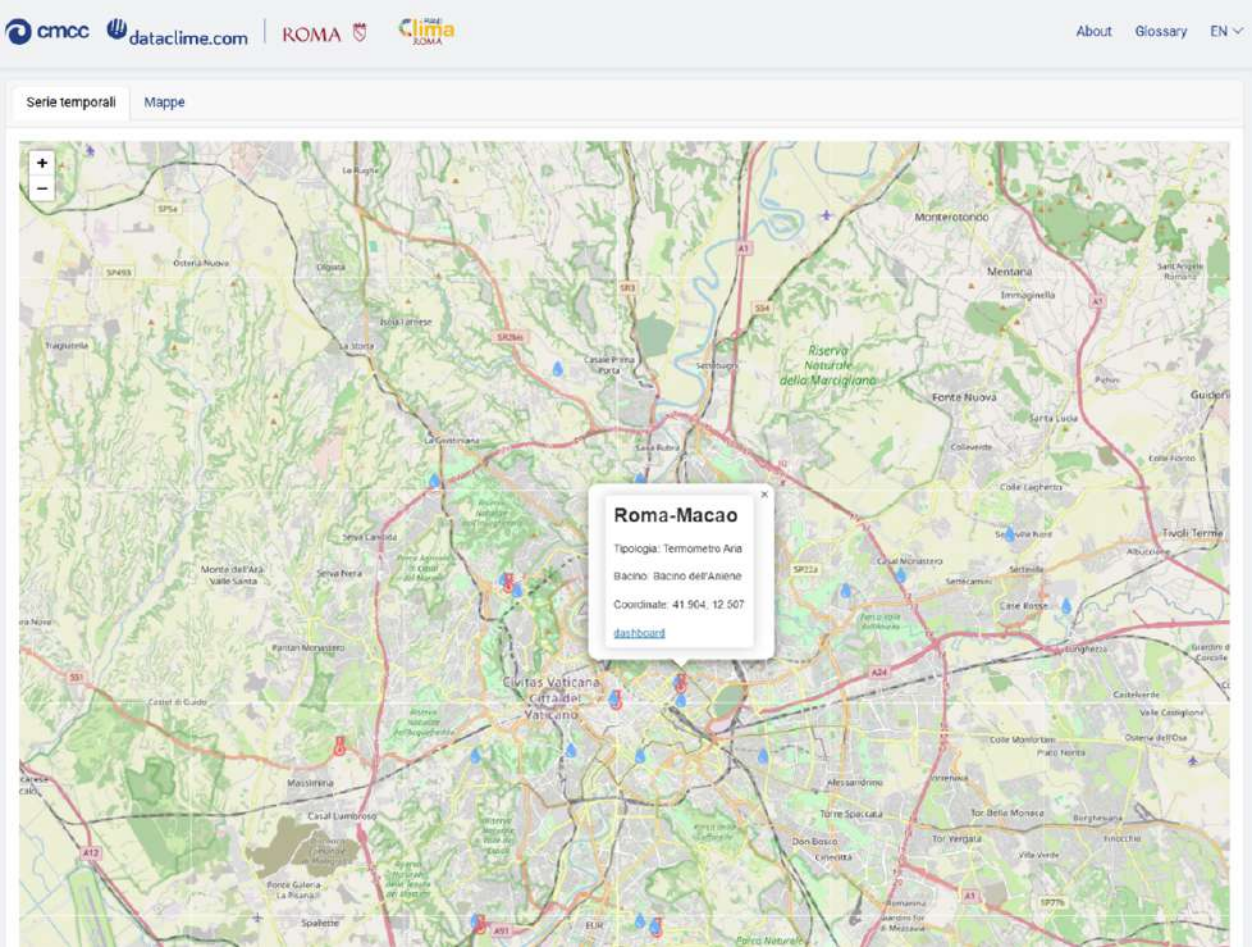


Figura 57 – Sezione dedicata alle serie temporali da stazioni meteorologiche.

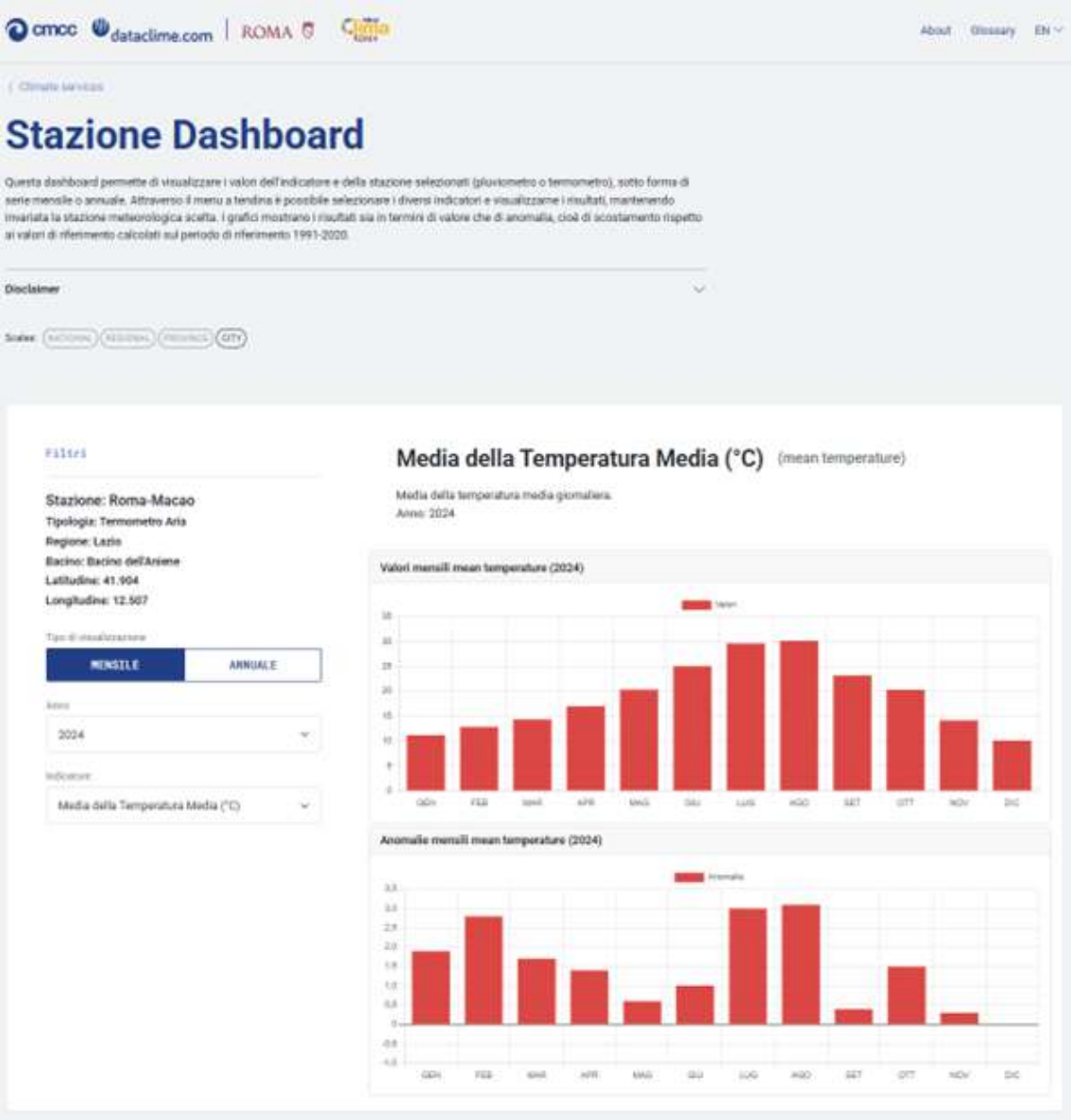


Figura 58 – Dashboard della stazione Roma-Macao.

Selezionando la sezione **Mappe**, è possibile consultare i risultati del monitoraggio delle stazioni meteorologiche e i relativi indicatori, visualizzati spazialmente su sull'intero territorio del comune di Roma, come mostrato in **Figura 59**.

Anche per questa sezione è presente un menu a tendine con la possibilità di selezionare la tipologia di stazione, l'anno (dal 1991 al 2024) e l'indicatore.

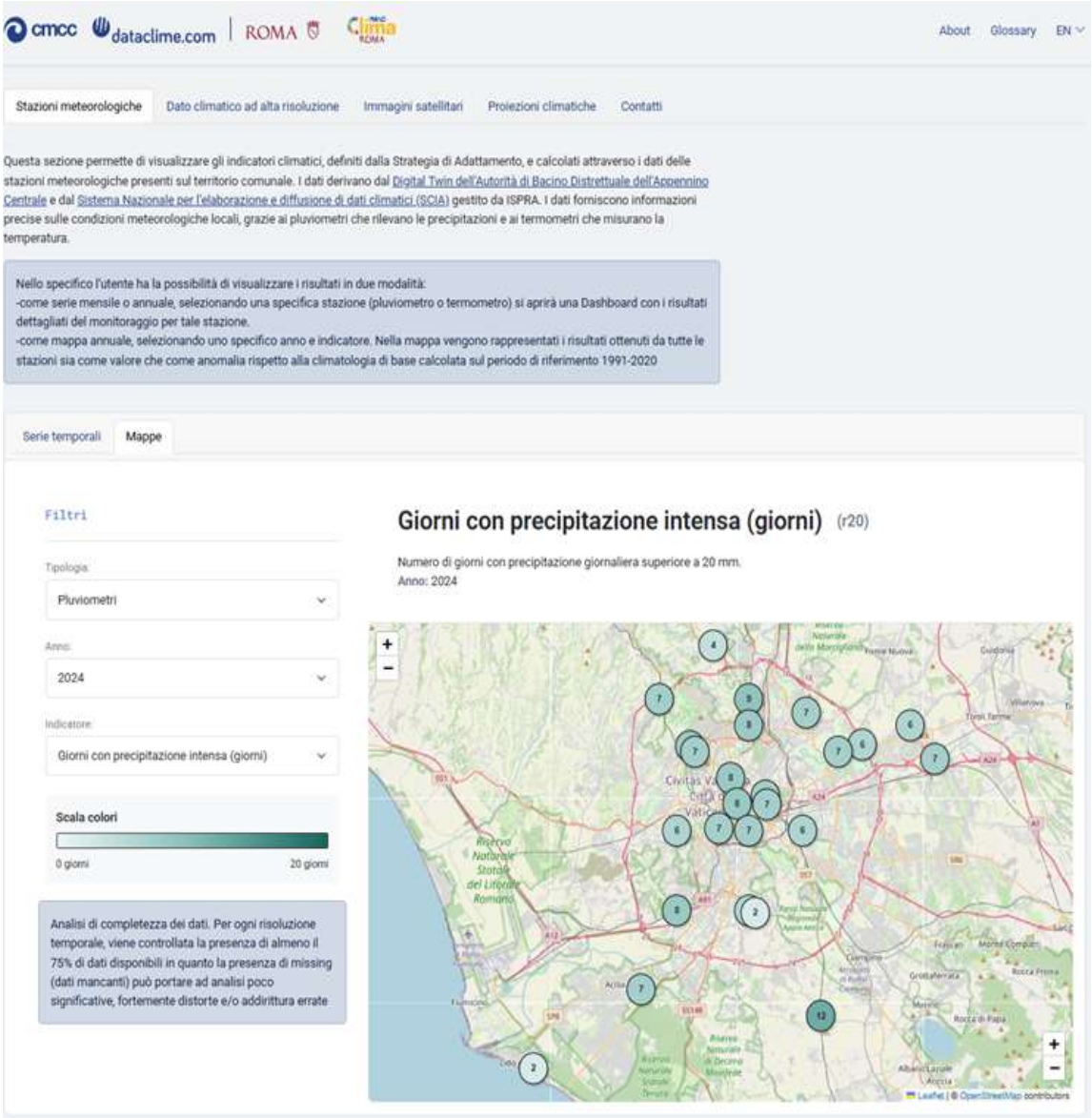


Figura 59 – Sezione Mappe dedicata alla consultazione dei risultati da dati da stazioni meteorologiche.

La sezione **Dato climatico ad alta risoluzione** presenta i risultati del monitoraggio con il dataset VHR-REA_IT del CMCC.

Anche per questa fonte, i dati sono forniti sia come valori assoluti sia come anomalie rispetto alla media climatologica 1991–2020.

Nel menu a tendina è possibile selezionare l'anno di interesse, l'indicatore, la stagione e la tipologia di visualizzazione (valore o anomalia), come mostrato in **Figura 60**.

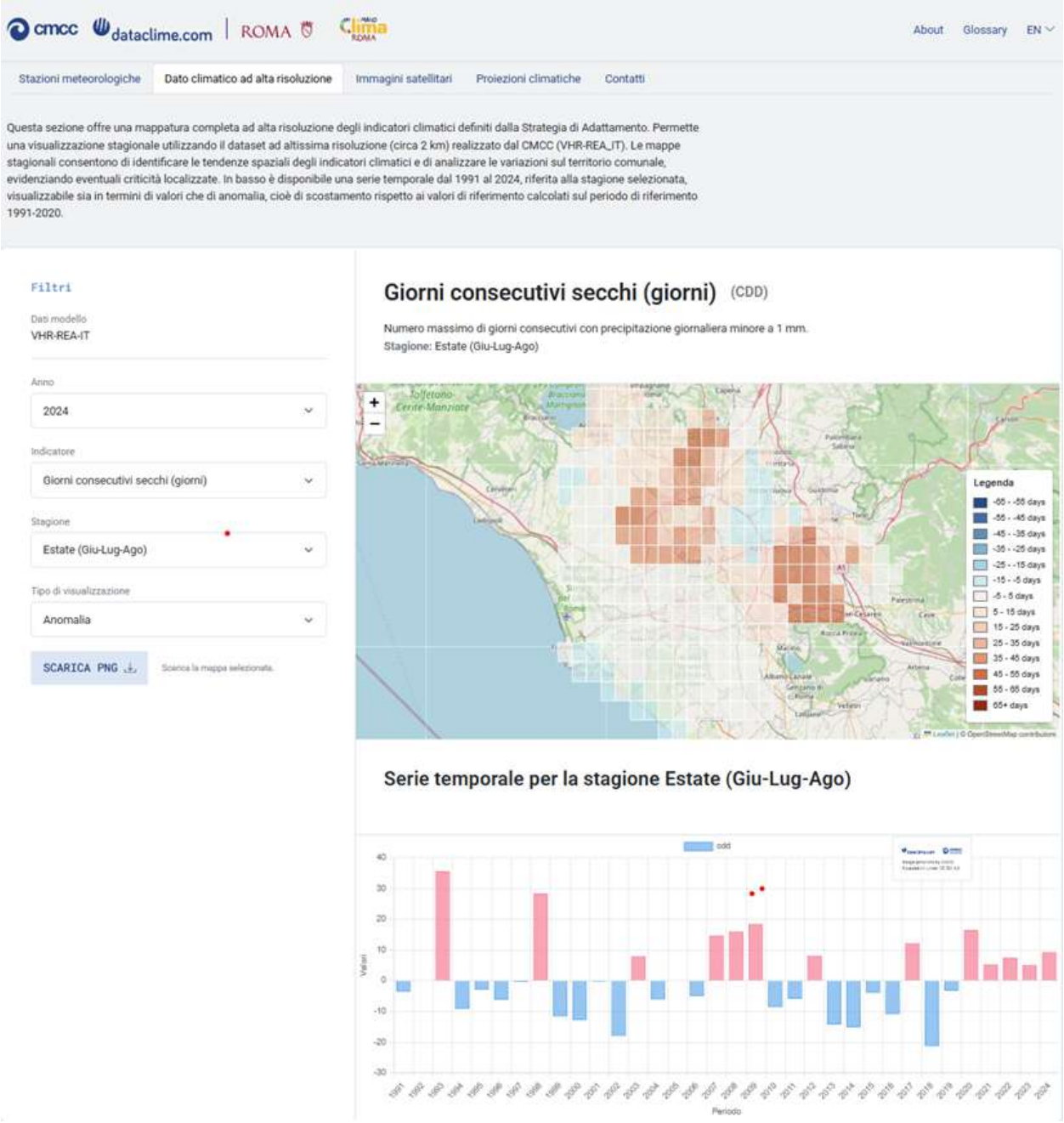


Figura 60 – Sezione dedicata al monitoraggio da dati ad alta risoluzione del CMCC.

La pagina dedicata alle **Immagini satellitari,** in **Figura 61,** offre la possibilità di consultare le rielaborazioni da dati satellitari per il 2024. Una nota a margine specifica le motivazioni dell'eventuale assenza o incompletezza di alcuni dati nella visualizzazione: "Per ogni zona viene indicata la percentuale di cielo sereno (senza nuvole) al passaggio del satellite. Maggiore è questa percentuale, più i dati sono accurati e affidabili."

Selezionando una zona, e cliccando su **DETTAGLI ZONA** è possibile accedere a una pagina dedicata che mostra nel dettaglio i risultati della temperatura superficiale, con una risoluzione spaziale di 30 metri, come mostrato in **Figura 62** e **Figura 63**.

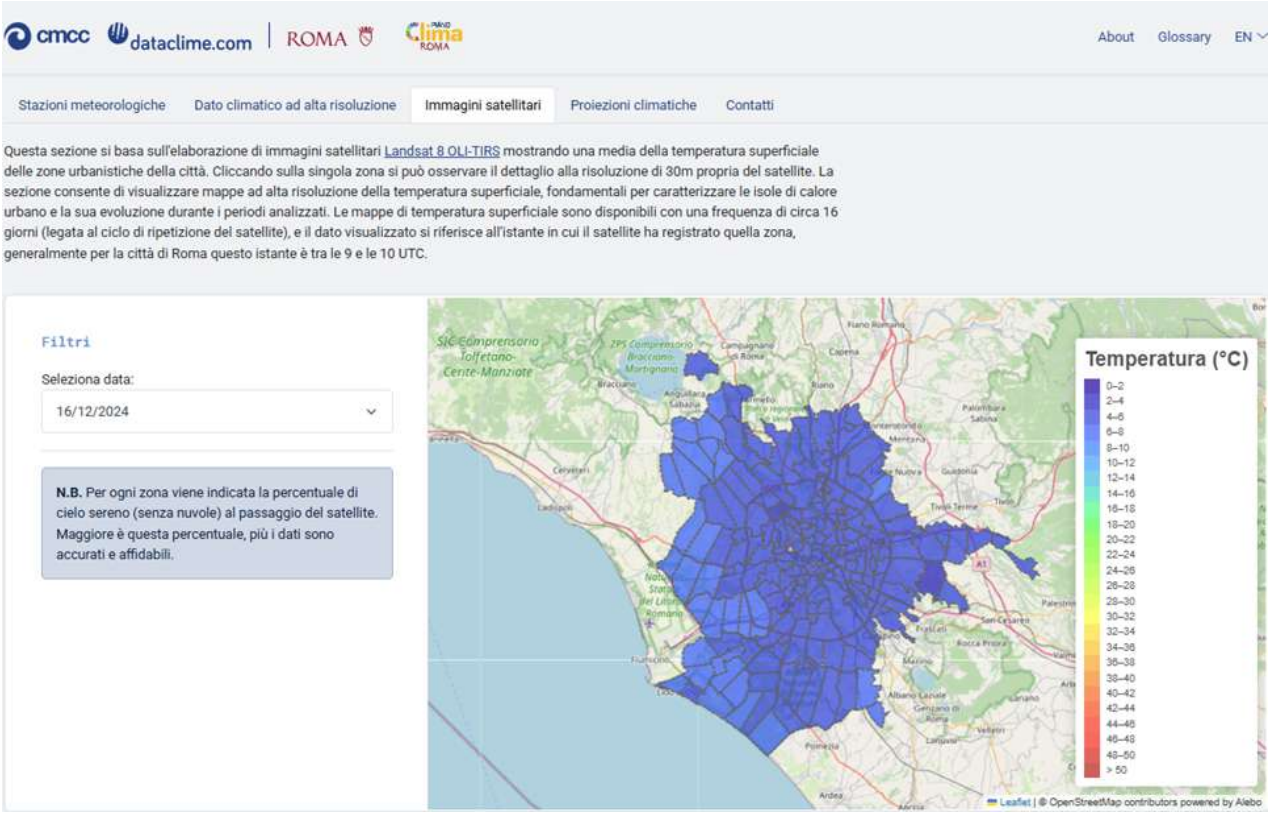


Figura 61 – Sezione dedicata al monitoraggio da immagini satellitari.

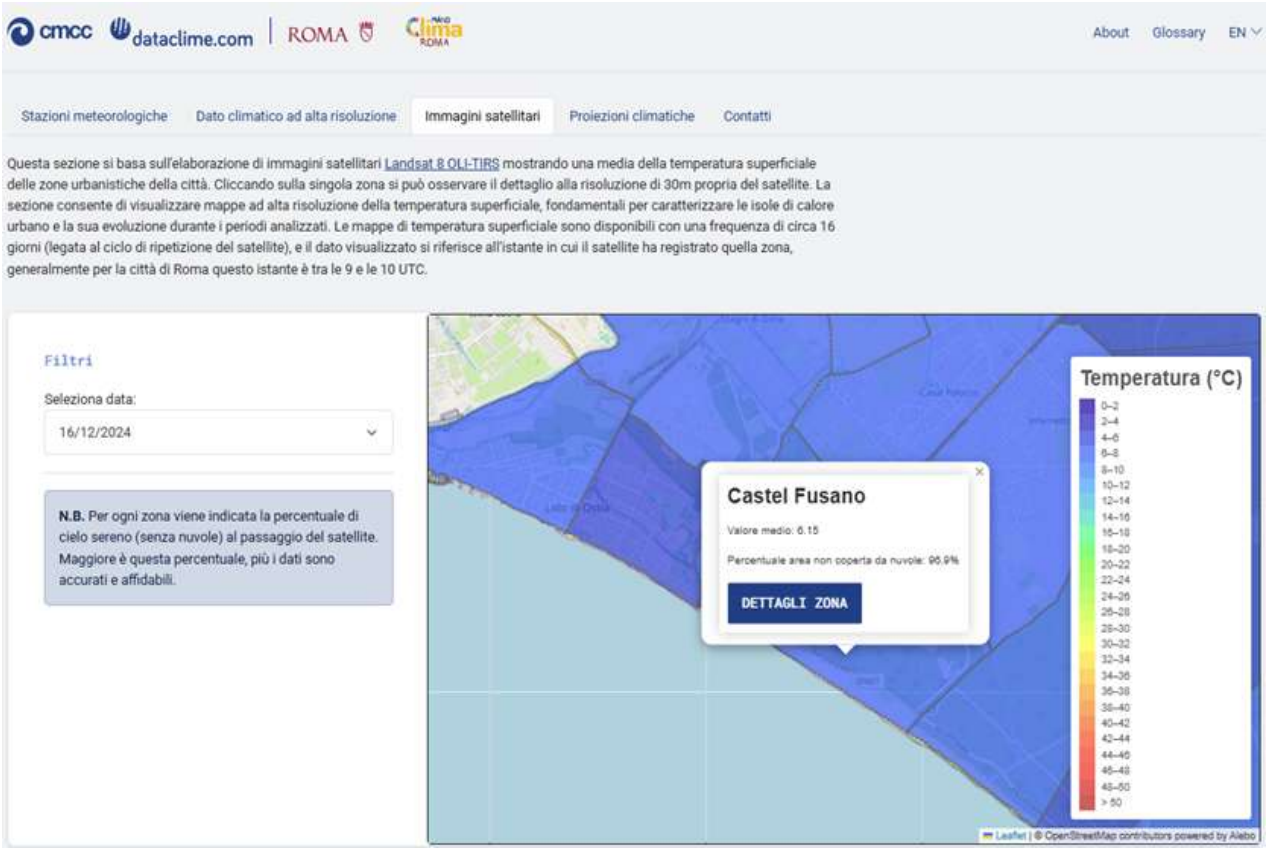


Figura 62 – Sezione dedicata al monitoraggio da immagini satellitari, dettaglio zona.

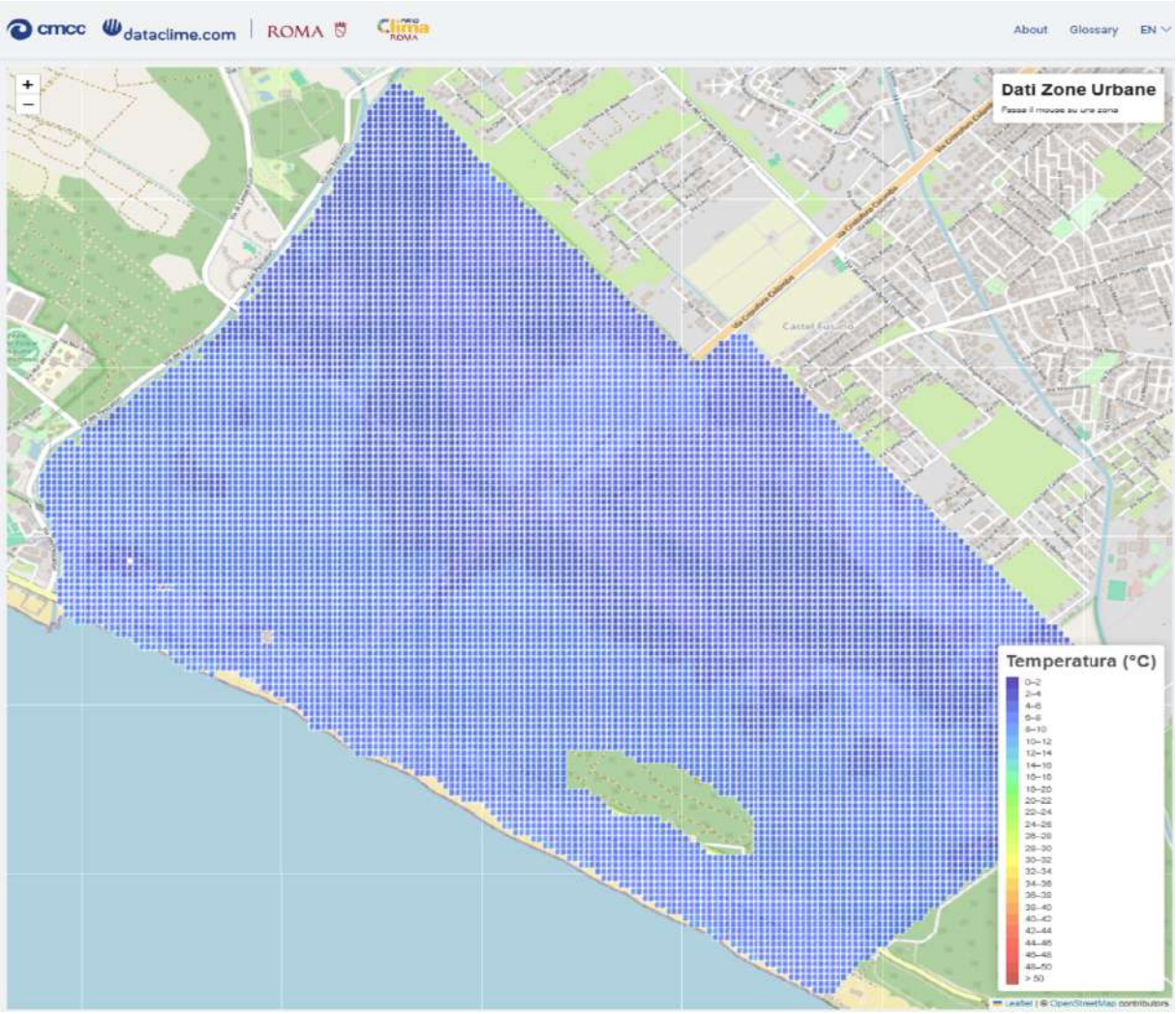


Figura 63 – Sezione dedicata al monitoraggio da immagini satellitari, dettaglio zona Castel Fusano.

L'ultima sezione è destinata alle Proiezioni climatiche, sviluppate per la Strategia. Come si osserva in **Figura 64**, si possono selezionare dal menu a tendina i vari indicatori, la stagione e gli scenari di riferimento.

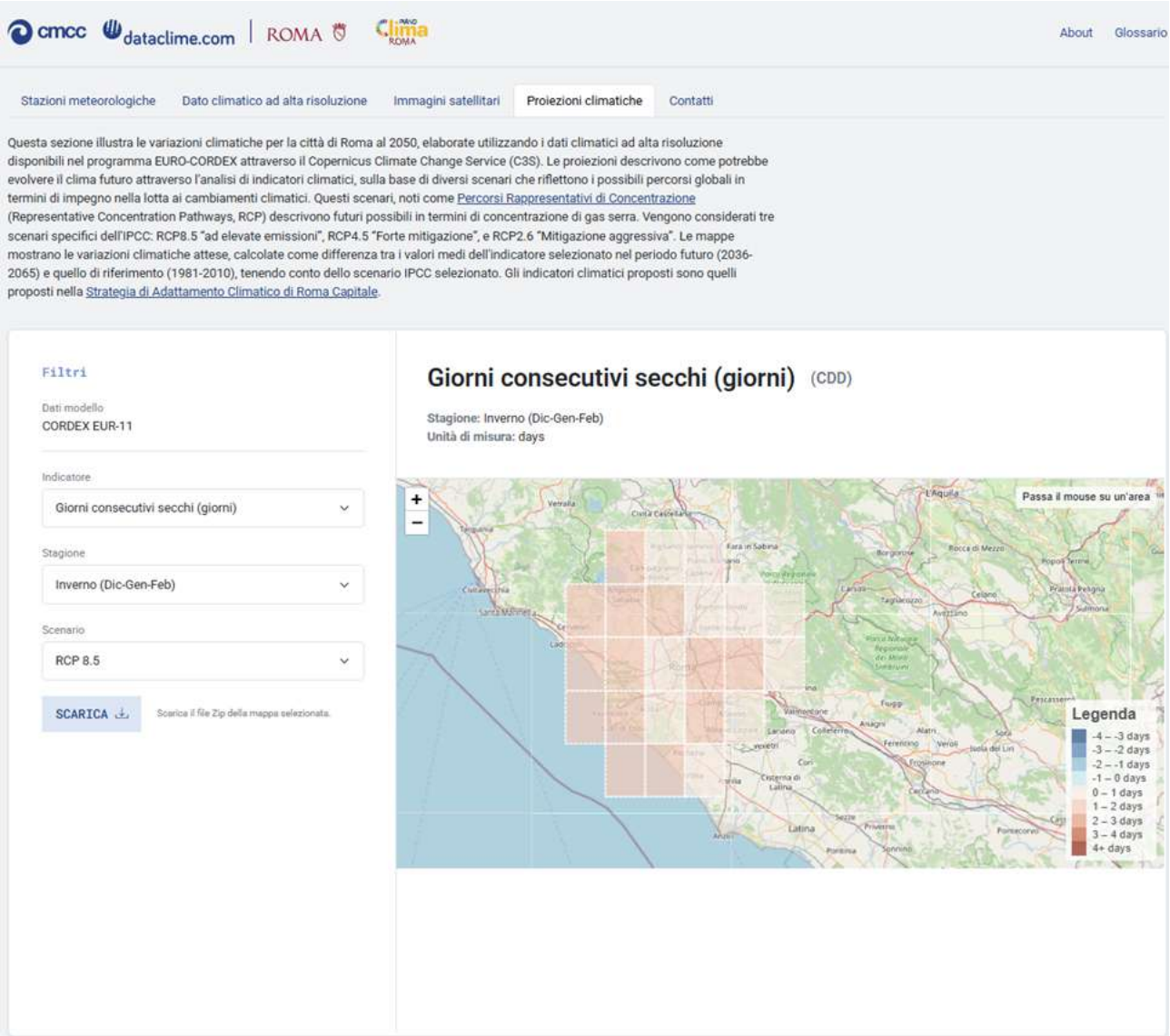


Figura 64 – Sezione dedicata alle proiezioni climatiche.

7 Conclusioni

Conclusioni

Il primo monitoraggio climatico per Roma, i cui dati sono sintetizzati in questo report e visualizzabili interattivamente nella piattaforma online, rappresenta il primo prodotto di questa serie nell'ambito della collaborazione tra il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici e il Comune di Roma. Questo rapporto presenta i risultati dell'analisi dei dati provenienti da stazioni meteorologiche, modelli climatici e immagini satellitari con una particolare attenzione all'anno 2024, adottando un approccio basato sul calcolo di un insieme di indicatori climatici rappresentativi dei principali pericoli climatici del contesto analizzato – calore e precipitazioni. Nel complesso, il **2024 si è rivelato un anno caldo e con relativamente poche precipitazioni.**

Dai dati da stazioni meteorologiche, le **temperature medie mensili sono risultate superiori ai valori medi del trentennio di riferimento 1991-2020** per la quasi totalità dell'anno, ad eccezione dei mesi di settembre, novembre e dicembre, che si sono mantenuti più in linea con la norma climatica. Complessivamente, secondo diversi indicatori – tra cui la Temperatura media giornaliera, il Numero di ondate di calore, le Ondate di caldo e l'Indice di durata dei periodi caldi – il 2024 risulta essere l'anno più caldo dell'intera serie storica analizzata dal 1991.

L'analisi dei dati delle stazioni evidenzia come **l'aumento dei Gradi giorno di raffrescamento**, accompagnato da una **marcata diminuzione dei Gradi giorno di riscaldamento**, indichi chiaramente una crescente esigenza di raffrescamento estivo e di una ridotta esigenza di riscaldamento invernale. Questo quadro è ulteriormente confermato anche dai valori estremamente bassi per gli indicatori quali Giorni di freddo e di Ondate di gelo.

I valori per gli indicatori di pericolo da caldo estremo sono nettamente al di sopra della media, **come confermato anche dai risultati da modello**. In particolare, il 2024 è stato l'anno con il maggior numero di notti torride e di ondate di calore. Questi dati rivelano anche un riscaldamento che avviene più rapidamente nella stagione invernale. In sostanza, si osserva una netta riduzione dei giorni freddi e un progressivo riscaldamento delle temperature su tutto il territorio della città, che si traducono in un **inverno più mite e in un'estate torrida**. A questo proposito, **gli indicatori che considerano anche l'umidità nel determinare il grado di disagio termico evidenziano soprattutto per luglio e agosto 2024 valori doppi rispetto alla media storica, con temperature e umidità molto elevate**.

Il 2024 non rappresenta un caso isolato, ma si colloca in una sequenza di anni recenti, come il 2022 e il 2023, caratterizzati da un marcato riscaldamento rispetto alla media 1991-2020. Tutti e tre gli anni si contraddistinguono per valori elevati sia della temperatura media sia di numerosi indicatori legati al caldo, come le Notti tropicali, le Notti torride, le Ondate di caldo e il Numero di ondate di calore estive.

Per quanto concerne la precipitazione, il 2024 è stato il decimo anno nel periodo 1991-2024 per giorni consecutivi secchi secondo i dati da stazioni meteorologiche, con 53 giorni consecutivi senza piogge rilevanti. In termini di precipitazione totale, il **2024 è stato relativamente meno piovoso della media** del periodo di osservazione 1991-2020, con un valore medio annuale di circa 500 mm di pioggia per metro quadrato sull'intero territorio del Comune di Roma, secondo i dati da modello. **Alcuni mesi hanno mostrato anomalie significative: settembre è stato particolarmente piovoso, mentre a novembre le precipitazioni sono risultate quasi del tutto assenti.**

In estrema sintesi, **il 2024 ha visto temperature sempre più miti in particolare in inverno e un'estate estremamente calda**. La pioggia è stata leggermente sotto la media, ma con periodi lunghi di assenza di precipitazione e con fenomeni di precipitazione intensa.

I risultati del report 2024, consultabili in piattaforma, forniranno la base scientifica e metodologica per il **proseguimento delle attività di monitoraggio delle azioni di adattamento della città di Roma e la stesura del report relativo all'anno 2025**. Questo secondo report, che sarà pubblicato nel 2026, andrà ad analizzare i dati più aggiornati che saranno resi disponibili nella piattaforma online, consentendo anche un confronto tra i due anni monitorati, 2024 e 2025.

Indice delle figure

Figura 1 - Anomalie ed estremi nella temperatura superficiale e nella precipitazione annuale in Europa per il 2024. Dati ERA5 (1979-2024), periodo di riferimento 1991-2020. Credit: C3S/ECMWF.

Figura 2 – Aumento della temperatura globale rispetto al periodo 1850-1900, sulla base di diversi set di dati sulla temperatura globale, mostrati come medie annuali dal 1967 e quinquennali dal 1850. Credit: C3S / ECMWF.

Figura 3 – Statistiche chiave sulla temperatura per il 2024. Le statistiche per il globo, l'Europa e l'Artico si riferiscono alle temperature dell'aria superficiale, mentre le statistiche per gli oceani extrapolari si riferiscono alle temperature della superficie del mare. Fonte dei dati: ERA5. Credits: C3S / ECMWF.

Figura 4 – Schema metodologico della attività svolte nell'ambito della costruzione del report di monitoraggio 2024 e della piattaforma interattiva.

Figura 5 – Mappa delle stazioni meteorologiche romane.

Figura 6 – Classifica degli indicatori di temperatura: il 2024 rispetto al periodo 1991-2024.

Figura 7 – Classifica degli indicatori di precipitazione: il 2024 rispetto al periodo 1991-2024.

Figura 8 – Temperatura media mensile 2024 nella stazione Roma Macao.

Figura 9 – Valori mensili dell'indicatore Notti Tropicali per il 2024 nella stazione Roma Monte Mario.

Figura 10 – Valori mensili dell'indicatore Ondate di Caldo per il 2024 nella stazione Roma Macao.

Figura 11 – Valori mensili dell'indicatore Precipitazione cumulata totale per il 2024 nella stazione Eleniano.

Figura 12 – Valori mensili dell'indicatore Giorni con precipitazione intensa per il 2024 nella stazione Falcognana.

Figura 13 – Valori medio annuale della Temperatura Media da VHR-REA_IT.

Figura 14 – Anomalia media annuale della Temperatura Media da VHR-REA_IT.

Figura 15 – Valori medi mensili della Temperatura Media da VHR-REA_IT.

Figura 16 – Valore medio annuale dell'indicatore Notti Tropicali, da VHR-REA_IT.

Figura 17 – Anomalia media annuale dell'indicatore Notti Tropicali, da VHR-REA_IT.

Figura 18 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Notti Tropicali, da VHR-REA_IT.

Figura 19 – Valore medio annuale dell'indicatore Notti Torride, da VHR-REA_IT.

Figura 20 – Anomalia media annuale dell'indicatore Notti Torride, da VHR-REA_IT.

Figura 21 – Valore medio annuale dell'indicatore Ondate di caldo, da VHR-REA_IT.

Figura 22 – Anomalia media annuale dell'indicatore Ondate di Caldo, da VHR-REA_IT.

Figura 23 – Valore medio annuale dell'indicatore Numero ondate di calore, da VHR-REA_IT.

Figura 24 – Anomalia media stagionale per l'estate dell'indicatore Numero ondate di calore, da VHR-REA_IT.

Figura 25 – Valore medio annuale dell'Indice di durata dei periodi caldi, da VHR-REA_IT.

Figura 26 – Anomalia media annuale dell'Indice di durata dei periodi caldi, da VHR-REA_IT.

Figura 27 – Anomalia media stagionale dell'Indice di durata dei periodi caldi, da VHR-REA_IT.

Figura 28 – Valore medio annuale dell'indicatore Giorni di gelo, da VHR-REA_IT.

Figura 29 – Anomalia media annuale dell'indicatore Giorni di gelo, da VHR-REA_IT.

Figura 30 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Giorni di gelo, da VHR-REA_IT.

Figura 31 – Valore medio annuale dell'indicatore Precipitazione annuale totale, da VHR-REA_IT.

Figura 32 – Anomalia media annuale dell'indicatore Precipitazione annuale totale, da VHR-REA_IT.

Figura 33 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Precipitazione annuale totale, da VHR-REA_IT.

Figura 34 – Valore medio annuale dell'indicatore Giorni con precipitazione intensa, da VHR-REA_IT.

Figura 35 – Anomalia media annuale dell'indicatore Giorni con precipitazione intensa, da VHR-REA_IT.

Figura 36 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Giorni con precipitazione intensa, da VHR-REA_IT.

Figura 37 – Valore medio annuale dell'indicatore Precipitazione massima in un giorno, da VHR-REA_IT.

Figura 38 – Anomalia media annuale dell'indicatore Precipitazione massima in un giorno, da VHR-REA_IT.

Figura 39 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Precipitazione massima in un giorno, da VHR-REA_IT.

Figura 40 – Valore medio annuale dell'indicatore Giorni consecutivi secchi, da VHR-REA_IT.

Figura 41 – Anomalia media annuale dell'indicatore Giorni consecutivi secchi, da VHR-REA_IT.

Figura 42 – Anomalia media stagionale dell'indicatore Giorni consecutivi secchi, da VHR-REA_IT.

Figura 43 – Indicatori Humidex4 e Humidex5: confronto 2024 e media 1991-2020.

Figura 44 – Gradi giorno di riscaldamento e raffrescamento: confronto 2024 e media 1991-2020.

Figura 45 – Quadro sinottico delle anomalie medie annuali per gli indicatori di caldo.

Figura 46 – Quadro sinottico delle anomalie medie annuali per gli indicatori di precipitazione.

Figura 47 – Anomalie medie annuali, altri indicatori.

Figura 48 – Medie stagionali di temperatura superficiale da satellite.

Figura 49 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 10/08/2024, su zona urbanistica.

Figura 50 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 31/01/2024, su zona urbanistica.

Figura 51 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 25/07/2024, su zona urbanistica.

Figura 52 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 25/07/2024, su zona urbanistica Castelporziano.

Figura 53 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 25/07/2024, su zona urbanistica Pantano di Grano.

Figura 54 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 10/08/2024, su zona urbanistica EUR.

Figura 55 – Temperatura al suolo da satellite per il giorno 10/08/2024, su zona urbanistica Esquilino.

Figura 56 – Pagina di accesso al servizio di monitoraggio di indicatori climatici per Roma Capitale.

Figura 57 – Sezione dedicata alle serie temporali da stazioni meteorologiche.

Figura 58 – Dashboard della stazione Roma-Macao.

Figura 59 – Sezione Mappe dedicata alla consultazione dei risultati da dati da stazioni meteorologiche.

Figura 60 – Sezione dedicata al monitoraggio da dati ad alta risoluzione del CMCC.

Figura 61 – Sezione dedicata al monitoraggio da immagini satellitari.

Figura 62 – Sezione dedicata al monitoraggio da immagini satellitari, dettaglio zona.

Figura 63 – Sezione dedicata al monitoraggio da immagini satellitari, dettaglio zona Castel Fusano.

Figura 64 – Sezione dedicata alle proiezioni climatiche.

Indice delle tabelle

Tabella 1 – Nomi e tipologia delle stazioni meteorologiche utilizzate come fonti dati del report. Credits: AUBAC.

Tabella 2 – Quadro generale degli indicatori di pericolo climatico adottati nel monitoraggio.

Tabella 3 - Valori degli indicatori di temperatura calcolati a partire dai dati rilevati dalle stazioni meteorologiche nel territorio di Roma.

Tabella 4 - Valori degli indicatori di precipitazione calcolati a partire dai dati rilevati dalle stazioni meteorologiche nel territorio di Roma.

Tabella 5 – Altri indicatori per valore e anomalia.

Tabella 6 – Passaggi del satellite Landsat 8 considerati nel report 2024.

Bibliografia

Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASviS). (2024). *I "Climate City Contract" delle nove città italiane della missione UE sulla neutralità climatica entro il 2030*. Quaderni dell'ASviS, 11. ISBN 979-12-80634-31-3.

Copernicus Climate Change Service (C3S) & World Meteorological Organization (WMO). (2025). *European State of the Climate 2024*. https://doi.org/10.24381/14j9-s541

Correa, J., Dorta, P., López-Díez, A., & Díaz-Pacheco, J. (2024). Analysis of tropical nights in Spain (1970–2023): Minimum temperatures as an indicator of climate change.

International Journal of Climatology, 44(9), 3006–3027. https://doi.org/10.1002/joc.8510
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). (2018). Consumi energetici e heating degree days (HDD) a confronto. Proiezioni al 2050 degli HDD in differenti scenari climatici. *Rapporti 277/2017.* ISBN 978-88-448-0875-4

Karl, T. R., Nicholls, N., & Ghazi, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. In T. R. Karl, N. Nicholls & A. Ghazi (Eds.), *Weather and Climate Extremes* (pp. 3–7). Dordrecht: Springer.

Peterson, T. C. (2005). Climate change indices. *WMO Bulletin, 54*(2), 83–86.

Peterson, T. C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). *Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998–2001*. WMO, WCDMP-47, WMO-TD No. 1071. Geneva, Switzerland.

Raffa, M., Adinolfi, M., Reder, A., et al. (2023). Very high resolution projections over Italy under different CMIP5 IPCC scenarios. *Scientific Data, 10*, 238. https://doi.org/10.1038/s41597-023-02144-9

Raffa, M., Reder, A., Marras, G. F., Mancini, M., Scipione, G., Santini, M., & Mercogliano, P. (2021). VHR-REA_IT dataset: Very high resolution dynamical downscaling of ERA5 reanalysis over Italy by COSMO-CLM. *Data, 6*, 88. https://doi.org/10.3390/data6080088

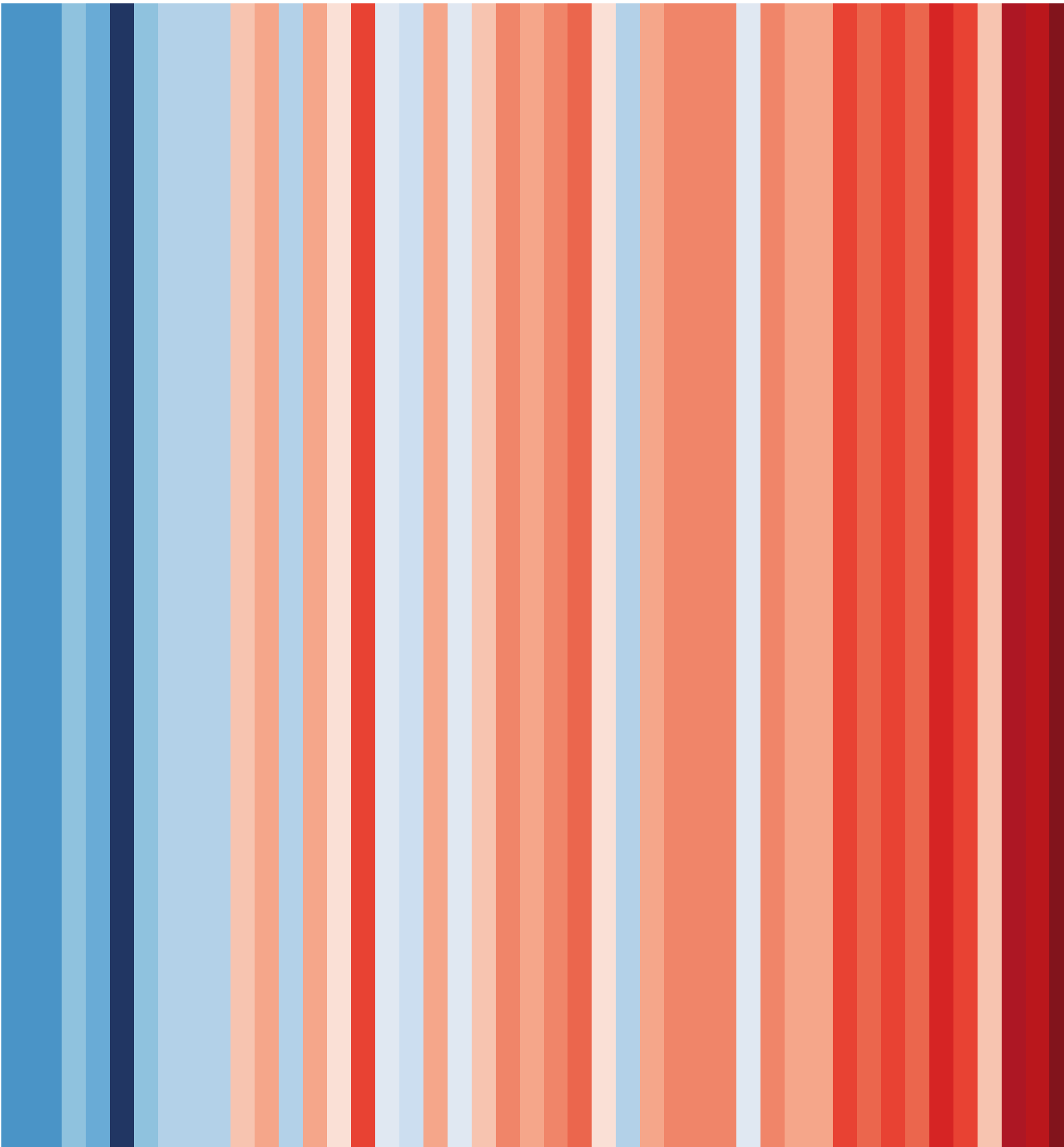
Rockel, B., Will, A., & Hense, A. (2008). The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM). Meteorologische Zeitschrift, 17(4), 347–348. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0309

Roma Capitale. (2024). *Strategia di adattamento climatico*. Gennaio 2024.
Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA). (2023). *Il clima in Italia nel*

2023. Report Ambientali | 42/2024. ISBN 978-88-448-1217-1.

Spano, D., Mereu, V., Bacciu, V., Barbato, G., Buonocore, M., Casartelli, V., ... & Villani, V. (2021). *Analisi del rischio: I cambiamenti climatici in sei città italiane*. CMCC. https://doi.org/10.25424/cmcc/analisi_del_rischio_2021

ROMA

PIANO Clima ROMA

cmcc
Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici