



Provincia di Rimini

ptav PIANO
TERRITORIALE
D'AREA VASTA

quadro conoscitivo

LINEA DI INNOVAZIONE:
CAMBIAMENTI CLIMATICI

consultazione preliminare

Decreto Prov. Presid. n. XX del XX

Allegato 6

riminiverso: TERRE DI CULTURA,
ACCOGLIENZA, CITTÀ,
RESILIENZA.

**PIANO TERRITORIALE DI AREA
VASTA DELLA PROVINCIA DI
RIMINI**
**TERRE DI ACCOGLIENZA,
CULTURE, CITTÀ, RESILIENZA.**

PROVINCIA DI RIMINI

Riziero Santi, presidente
Fabrizio Piccioni, consigliere provinciale
delegato
Luca Uguccioni, segretario generale
Roberta Laghi, responsabile dell'Ufficio di
Piano

UFFICIO DI PIANO

Roberta Laghi
Giancarlo Pasi
Massimo Filippini
Paolo Setti
Alessandra Rossini

**Garante della Partecipazione
e della Comunicazione del piano**

Alessandra Rossini

Ufficio Statistica

Cristiano Attili

Ufficio Sistemi Informativi

Stefano Masini

COORDINAMENTO SCIENTIFICO

UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA
Dipartimento di Culture del Progetto

Francesco Musco, coordinamento
ricercatori responsabili di progetto

Giulia Lucertini
Denis Maragno
Filippo Magni

collaboratori

Federica Gerla
Laura Ferretto
Gianmarco Di Giustino
Katia Federico
Elena Ferraioli
Giorgia Businaro
Nicola Romanato
Matteo Rossetti
Alberto Bonora
Gianfranco Pozzer
Alessandra Longo

CONTRIBUTI SPECIALISTICI

Mobilità

META srl
Andrea Debernardi
Ilario Abate Daga
Silvia Ornaghi
Francesca Traina Melega
Chiara Taiariol
Arianna Travaglini

Aspetti giuridici

Giuseppe Piperata
Gabriele Torelli

Sistema Informativo Territoriale

Massimo Tofanelli

PARTECIPAZIONE E COMUNICAZIONE

Elena Farnè, coordinamento

segreteria tecnica
Elisa Giagnolini

sito web
Stefano Fabbri
Elena Farnè

FOTOGRAFIE E IDENTITÀ VISIVA

Laura Conti
Emilia Strada

collaborazione della
REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Direzione Generale
Cura del Territorio
e dell'Ambiente
Settore difesa del territorio –
Area geologia, suoli e sismica

Dissesto idrogeologico

Marco Pizziolo
Mauro Generali, collaboratore

Pericolosità sismica

Luca Martelli

Cartografia digitale

Alberto Martini

Geologia di sottosuolo

Paolo Severi

Risorse idriche

Maria Teresa De Nardo

indice

1. PREMESSA.....	7
2. CLIMA E CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	9
2.1. Analisi climatica 1961 – 1990 (ARPAE).....	10
2.2. Indicatori di stato e impatto: anomalie della temperatura e delle precipitazioni.....	12
2.2.1. Temperature	13
2.2.2. Precipitazioni.....	15
2.2.3. Indicatori di siccità: Bilancio Idro-Climatico e l'Indice delle precipitazioni standard.....	17
2.2.4. Indice di disagio bioclimatico: Ondate di calore	19
3. CAMBIAMENTI CLIMATICI, SCENARI ATTESI AL 2021 - 2050.....	21
3.1.1. Precipitazioni e temperature: condizioni passate e scenari futuri.....	24
4. IMPATTI NEI SETTORI FISICO-BIOLOGICI E SOCIOECONOMICI	27
5. ANALISI DELLE VULNERABILITÀ CLIMATICHE.....	31
6. UNA SINTESI VERSO IL PIANO.....	37
7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	39

1. PREMESSA

In questo allegato viene presentata un'analisi ed un'indagine del quadro climatico generale che caratterizza la provincia di Rimini, da cui sarà possibile delineare le possibili azioni più efficaci per rispondere agli impatti del cambiamento climatico sulle aree rurali, montane, costiere e urbane.

L'indagine del quadro climatico e dei fenomeni che si manifestano sul territorio provinciale è volta all'individuazione dei conseguenti effetti sulla pianificazione urbanistica, sulla sicurezza territoriale e delle persone e sulla vivibilità, in termini sociali ed economici.

Sono sempre più frequenti le problematiche legate al fenomeno dei cambiamenti climatici: eventi meteorologici estremi come eccessivo riscaldamento delle aree edificate (isole di calore), periodi di siccità prolungati, o eventi piovosi di forte intensità che possono causare problemi di allagamento. Da qui deriva la necessità di individuare misure strategiche, su scala provinciale, per la mitigazione e l'adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici, coerentemente con gli obiettivi di piani e programmi nazionali e regionali, in particolare con la "Strategia per la Mitigazione e l'Adattamento ai Cambiamenti Climatici della Regione Emilia-Romagna" (SMACC-ER) del 2018.

2. CLIMA E CAMBIAMENTI CLIMATICI

Per “clima” si intende la descrizione statistica dell’insieme di tutti i processi meteorologici in un determinato luogo, su un periodo di diversi decenni. Per descrivere il clima si utilizzano i valori medi e gli intervalli di variazione di grandezze come la temperatura, le precipitazioni e il soleggiamento. Spesso si includono anche informazioni sui venti e sulla loro direzione, che indicano le correnti dominanti. Per descrivere le condizioni climatiche, l’Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) definisce dei cosiddetti ‘periodi normali’ di 30 anni. Questi servono a monitorare il cambiamento climatico e a classificare le varie condizioni climatiche regionali sulla Terra.

Per “cambiamento climatico” si intende, secondo la definizione data dalle Nazioni Unite, “il cambiamento del clima che sia attribuibile direttamente o indirettamente ad attività umane, che alterino la composizione dell’atmosfera planetaria e che si sommino alla naturale variabilità climatica osservata su intervalli di tempo analoghi” (Convenzione Quadro sul Cambiamento Climatico delle Nazioni Unite, 1992).

Da anni, ormai, la Terra è soggetta ad un accelerato cambiamento climatico la cui causa è correlata con l’elevata presenza di gas serra nella nostra atmosfera, riconducibile principalmente ad emissioni di origine antropica, dovute all’impiego di combustibili fossili e all’uso non sostenibile del territorio e delle risorse naturali. Conseguentemente, si è consolidata la consapevolezza della necessità di porre in atto politiche globali per ridurre drasticamente le emissioni climalteranti e attenuare l’aumento delle temperature (mitigazione) e promuovere strategie di adattamento per limitare gli impatti dei cambiamenti climatici che, comunque, si stanno già verificando e continueranno a verificarsi. Su questa linea, la Regione Emilia-Romagna ha definito e adottato nel 2018 la “Strategia per la Mitigazione e l’Adattamento ai Cambiamenti Climatici della Regione Emilia-Romagna”, che rappresenta l’inizio di un percorso di consapevolezza, integrazione e rafforzamento delle politiche regionali per la mitigazione e l’adattamento.

Il territorio della provincia di Rimini occupa la fascia costiera più meridionale della Romagna - con un entroterra costituito da un ambito pianeggiante nella zona nord, in progressiva riduzione procedendo verso sud, fino a scomparire nelle zone di Riccione e Cattolica - e una fascia collinare e montuosa appenninica.

La provincia di Rimini presenta un clima temperato caldo, stabilmente umido, con estati molto calde e con una ridotta escursione termica diurna, grazie all’influsso del Mare Adriatico. Secondo il “Rapporto IdroMeteoClima Emilia-Romagna”, realizzato annualmente dall’Osservatorio Clima di Arpa Emilia-Romagna, nel 2020 si è verificato uno scostamento termico di circa +0,5 °C sul clima recente (1991-2015) e di +1,5 °C sul clima 1961-1990. Nel complesso, il 2020 è stato, in media, il quinto anno più caldo dopo il 2014, 2015, 2018 e 2019. È stato, inoltre, l’anno più mite in assoluto dal 1961 per le temperature medie

invernali, con pochi giorni di gelo e gelate tardive anomale primaverili, che hanno causato gravissimi danni alle colture frutticole in avanzato sviluppo fenologico. A tal fine, si è scelto di approfondire l'indagine di alcuni parametri che risultano indicatori rappresentativi del tema dei cambiamenti climatici, con particolare riferimento all'andamento, lungo una serie storica di dati sufficientemente ampia, delle precipitazioni e delle temperature massime annuali e stagionali e alla presenza e frequenza di fenomeni estremi.

2.1. Analisi climatica 1961 – 1990 (ARPAE)

Recenti studi effettuati dall'ARPAE, volti a confrontare il clima attuale (anni 1991-2015) con quello del trentennio di riferimento 1961-1990, mostrano evidenti mutamenti riconducibili ai cambiamenti climatici.

A scala regionale, i sistemi di monitoraggio di ARPAE¹ hanno registrato significativi aumenti di temperatura rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990 in tutte le stagioni, con incrementi superiori a 1 °C. Per quanto riguarda le precipitazioni, ad una modesta riduzione del dato annuale si accompagna un notevole cambiamento dei regimi di pioggia nel corso dell'anno, con periodi siccitosi prolungati (Figura 1).

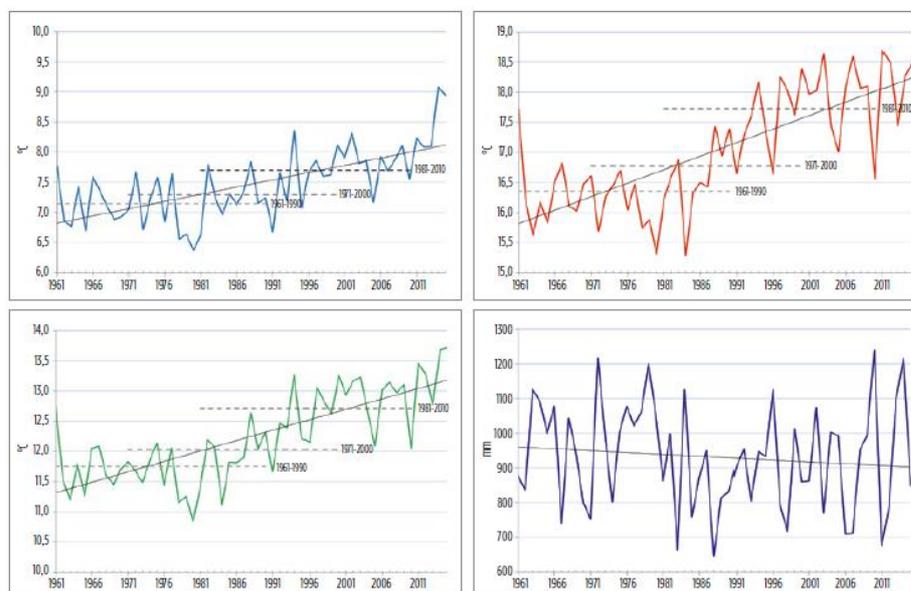


Figura 1: Grafici storici e tendenze delle temperature minime (primo), massime (secondo), medie (terzo) e precipitazioni annuali (quarto) tra il 1961 e il 2015 in Emilia-Romagna²

¹ “L’Atlante climatico 1961-2015 (edizione 2017)”.

² “Atlante climatico dell’Emilia-Romagna 1961-2015, edizione 2017” i grafici riportano gli andamenti storici e le tendenze delle temperature (°C) minime, massime, medie, e precipitazioni annuali (mm) tra il 1961 e il

Tale sintesi storica corrisponde alle tendenze a livello globale della variabilità e dei cambiamenti climatici, come presentati nel Rapporto (AR5), pubblicato nel 2013 dal Working Group 1 dell'IPCC, il quale sottolinea come alcuni cambiamenti climatici osservati siano di notevole interesse:

- è in corso un riscaldamento globale, con una tendenza di crescita della temperatura compreso tra 0,65 e 1,06 °C nel periodo 1880-2012;
- vi sono significative variabilità decennali e inter-annuali della temperatura superficiale media;
- a livello europeo, l'analisi della temperatura media dell'aria dell'ultimo secolo ha evidenziato che l'ultimo decennio è il più caldo dell'intera serie;
- le precipitazioni hanno mostrato, su molte regioni, dei trend positivi/negativi dal 1951 ad oggi, anche se non sempre significativi; ad esempio, incrementi nelle precipitazioni sono stati osservati nell'Europa del Nord e in alcune zone dell'Asia settentrionale e centrale; diminuzioni delle precipitazioni sono state osservate, invece, nel Sahel e nel Mediterraneo.

Uno strumento volontario mirato ad indirizzare la pianificazione territoriale verso strategie in grado di fronteggiare i cambiamenti climatici è il Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC), che va a sostituire il Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES). Il PAESC rappresenta uno strumento redatto dai comuni che sottoscrivono volontariamente il Patto dei Sindaci³ per pianificare strategie ed azioni di mitigazione e adattamento, volte a raggiungere gli obiettivi comunitari sul clima e sull'energia. La visione condivisa dalle Pubbliche Amministrazioni firmatarie mira ad accelerare i processi di decarbonizzazione, rafforzando la capacità del territorio di adattarsi agli inevitabili impatti del cambiamento climatico e fornendo alle comunità l'accesso ad un'energia sicura e sostenibile.

Ad oggi, la provincia di Rimini vede come firmatari del Patto dei Sindaci 12 comuni (Tabella 1), sette dei quali facenti parte dell'Unione dei Comuni della Valconca (Gemmano, Montescudo-Montecolombo, San Clemente, Mondaino, Montegridolfo, Montefiore Conca e Saludecio). Questi 12 comuni si sono impegnati a ridurre di almeno il 40% le emissioni di gas climalteranti (GHG) entro il 2030, adottando un approccio comune volto alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici.

2015 per l'Emilia-Romagna che già mostrano dei significativi trend di cambiamento (fonte "L'Atlante climatico 1961-2015").

³ <https://www.pattodeisindaci.eu/>.

COMUNE	IMPEGNI	STATO DI AVANZAMENTO	ADESIONE
GEMMANO	MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	PATTO DEI SINDACI FIRMATO	2021
MONTESCUDO-MONTECOLOMBO	MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	PATTO DEI SINDACI FIRMATO	2021
SAN CLEMENTE	MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	PATTO DEI SINDACI FIRMATO	2021
MONDAINO	MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	PATTO DEI SINDACI FIRMATO	2021
MONTEGRIDOLFO	MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	PATTO DEI SINDACI FIRMATO	2021
MONTEFIORE CONCA	MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	PATTO DEI SINDACI FIRMATO	2021
SALUDECIO	MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	PATTO DEI SINDACI FIRMATO	2021
MORCIANO DI ROMAGNA	MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	PATTO DEI SINDACI FIRMATO	2019
CATTOLICA	MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	PIANO D'AZIONE PRESENTATO	2013
TALAMELLO	MITIGAZIONE	PIANO D'AZIONE PRESENTATO	2013
POGGIO TORRIANA	MITIGAZIONE	PIANO D'AZIONE PRESENTATO	2013
RIMINI	MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	PIANO D'AZIONE PRESENTATO	2009

Tabella 1: Comuni della provincial di Rimini firmatari del Patto dei Sindaci

2.2. Indicatori di stato e impatto: anomalie della temperatura e delle precipitazioni

Gli studi climatici usano il termine “anomalia”, che rappresenta la differenza tra il valore attuale di una certa grandezza e il suo valore medio calcolato per il periodo di riferimento. I dati riportati nel presente documento sono estrapolati dal “Rapporto IdroMeteoClima” e dal portale web dei dati ambientali dell’Emilia-Romagna, entrambi riferiti all’anno 2020, paragonato ai periodi climatici precedenti: 1961-1990 e 1991-2020. Le seguenti sezioni rappresentano, su scala regionale, le anomalie di temperatura e precipitazioni come indicatori di stato del cambiamento climatico.

2.2.1. Temperature

Le anomalie delle temperature estreme giornaliere (minime e massime) sono calcolate come la differenza tra i valori osservati nell'anno di riferimento e il clima del periodo 1961-1990. Tali indicatori sono stati valutati a livello stagionale e annuale (sul dataset regionale Eraclito 4.2, con risoluzione a 5 km) per evidenziare le aree dove sono state riscontrate anomalie, tra questi: notti tropicali, temperature massime e giorni caldi (Figura 2).

Negli ultimi 20 anni il numero delle notti tropicali (temperatura minima superiore a 20°C) è aumentato su tutta la regione, con picchi di 30/40 notti tropicali nelle aree urbane e della costa romagnola, divergente dall'andamento regionale per il resto della pianura che rimane sotto le 10 notti. Tale dato, particolarmente rilevante per la costa urbanizzata Riminese, è anomalo in quanto doppio rispetto ai valori di riferimento del periodo 1961-1990.

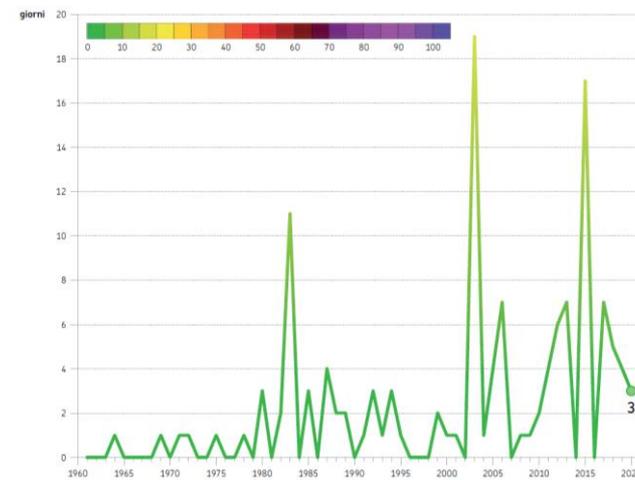


Figura 2: Andamento temporale della media regionale del numero di notti tropicali (1961-2020).

Le temperature massime annue sono state superiori al valore climatico di riferimento su tutta la Regione, con un valore di anomalia regionale medio di circa +2,3°C per il 2020, con punte locali fino a +4°C. Anche in questo caso le anomalie medie stagionali sono state particolarmente intense in inverno, con una distribuzione spaziale uniforme in media di circa +4,3°C (Figura 3). Il mese di febbraio 2020, e similmente quello del 2022, sono stati i più miti della serie dal 1961 ad oggi, con circa +5,8°C sopra il valore climatico di riferimento. Durante la primavera e l'estate le temperature massime hanno superato la norma climatica, con un'anomalia media regionale di circa +2°C rispetto al periodo 1961-1990.

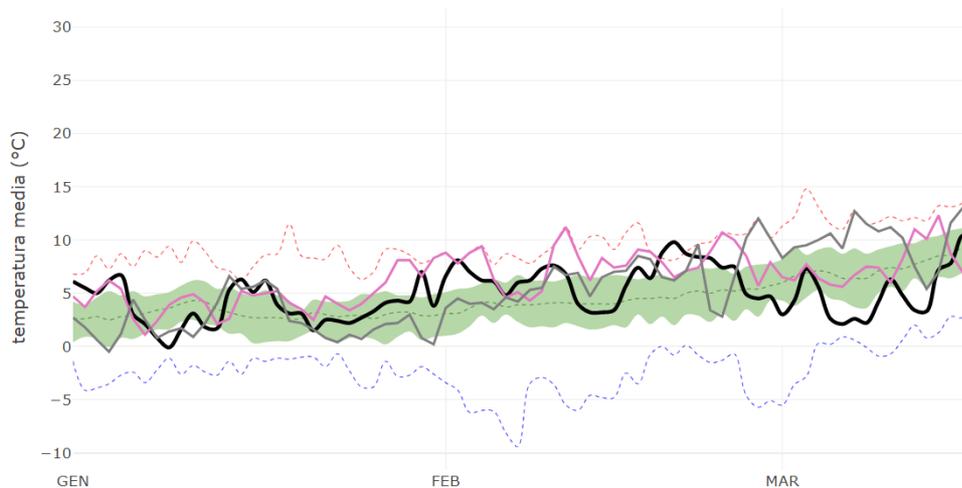


Figura 3: Temperatura media giornaliera per i primi 3 mesi del 2020 (rosa), 2021 (grigio), 2022 (nero) rispetto agli andamenti di riferimento⁴

In crescita dagli anni '80 anche il numero di giorni caldi (temperatura massima sopra 30°C) con valori estremi (fino a 65 giorni), che nel 2020 si sono registrati lungo tutta la pianura emiliana. Questo trend regionale non ha riguardato però la costa romagnola in maniera significativa (Figura 4).

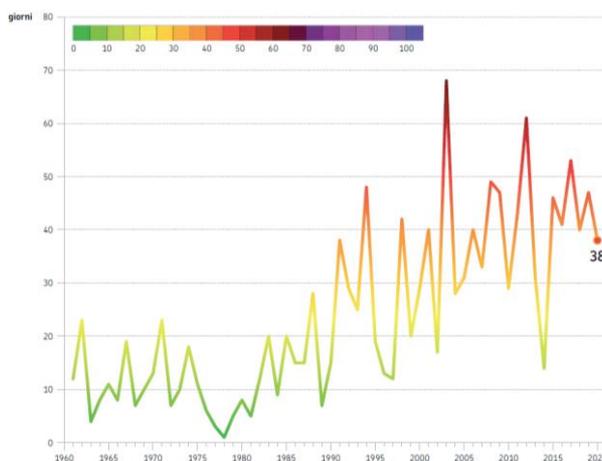


Figura 4: Andamento temporale della media regionale del numero di giorni caldi (1961-2020)

⁴ L'Areale verde rappresenta i valori tra 25° e 75° percentile per il periodo 1961-2020. <https://webbook.arpae.it/clima/>.

2.2.2. Precipitazioni

Le precipitazioni negli ultimi anni sono state caratterizzate da significativi deficit pluviometrici su quasi tutto il territorio regionale, rispetto al clima di riferimento 1961-1990. Le anomalie negative sono state anche molto intense, con valori fino a -300 mm in Romagna nel 2020. Ciononostante, sul lungo periodo, tra il 1961 ed il 2020, l'andamento temporale delle anomalie annue di precipitazione non mostra la presenza di una tendenza significativa come quella relativa alle temperature⁵.

A livello stagionale, le precipitazioni sono state inferiori alla norma del periodo su tutto il territorio regionale durante l'inverno, la primavera e l'autunno, con anomalie medie regionali tra -70 e -80 mm rispetto al clima.

Novembre 2020, solitamente il mese più piovoso, ha presentato il livello di precipitazioni più scarso degli ultimi 60 anni, con scarti dell'ordine di circa il 70% in meno rispetto ai valori di riferimento climatico (1961-1990)⁶.

In merito al 2019 e al 2020, l'anomalia negativa ha interessato in maniera continuativa il territorio della provincia di Rimini, senza i surplus di precipitazioni estive che hanno interessato il resto della regione. Ciò viene confermato dai trend stagionali delle anomalie di precipitazioni (Figura 5).

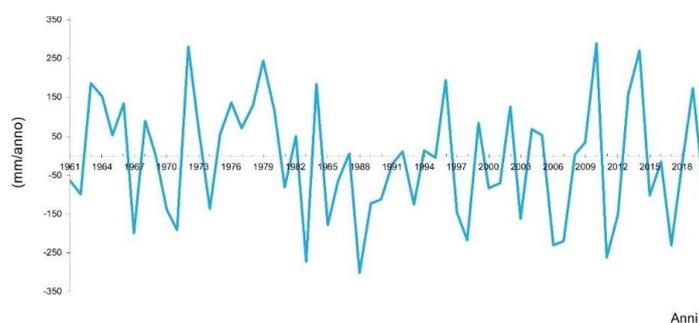


Figura 5: Andamento temporale della media regionale delle precipitazioni annue (1961-2020)

5 <https://webbook.arpae.it/clima/>

6 <https://webbook.arpae.it/clima/>

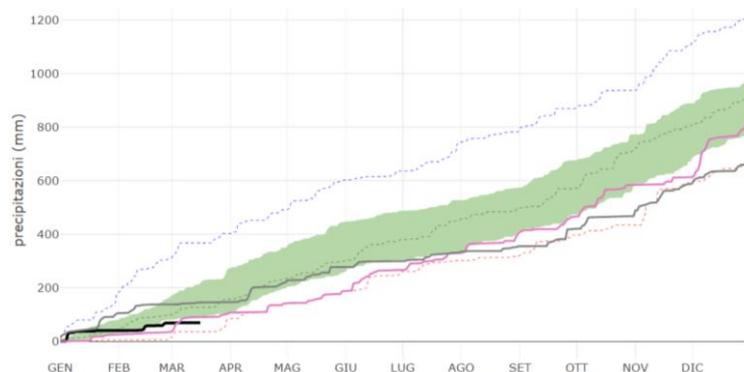


Figura 6: Precipitazioni giornaliere cumulate in Emilia-Romagna per il 2020 (rosa), il 2021 (grigio), e i primi mesi del 2022 (nero) rispetto agli andamenti di riferimento (areale verde rappresenta i valori tra il 25° ed il 75° percentile per il periodo 1961-20207).

L'andamento delle precipitazioni cumulate giornaliere degli ultimi anni (Figura 6 per la Regione, Figura 7 per i Comuni della costa della pianura romagnola) continua a rimanere sotto l'intervallo di normalità climatica, corrispondendo spesso al minimo assoluto (a livello regionale) per il periodo di riferimento 1961-2022.

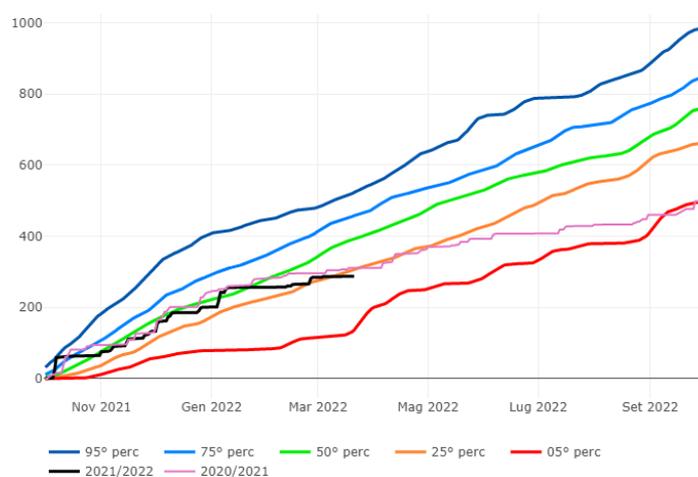


Figura 7: Precipitazioni cumulate per i comuni della pianura e costa Romagnola (macroarea regionale B) del 2019, 2020 e 2021 rispetto ai valori medi di riferimento⁸

La distribuzione spaziale delle anomalie del numero di giorni piovosi (precipitazione maggiore di 1 mm) evidenzia la prevalenza di valori negativi su gran parte del territorio, con punte tra -20 e -30 giorni registrati nel 2020 per la provincia di Rimini rispetto al periodo di riferimento.

⁷ <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/clima>.

⁸ <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/siccita/dati-e-indicatori/monitoraggio-siccita>.

2.2.3. Indicatori di siccità: Bilancio Idro-Climatico e l'Indice delle precipitazioni standard

Il Bilancio Idro-Climatico (BIC) rappresenta la differenza tra le precipitazioni e l'evapotraspirazione potenziale (ETP) ed è un primo indice per la valutazione del contenuto idrico dei suoli e, di conseguenza, delle disponibilità idriche dell'area oggetto dell'indagine.

Nelle carte del bilancio idrico climatico i valori positivi indicano condizioni di surplus idrico, mentre quelli negativi rappresentano condizioni di deficit idrico⁹. Il grafico mostra l'andamento del (BIC) dei periodi aprile-settembre per le ultime due decadi, media dei valori registrati da stazioni di misura localizzate in pianura, così da individuare fenomeni siccitosi intensi, che si sviluppano climaticamente nei mesi centrali dell'anno e che potrebbero essere mascherati, a livello annuale, da elevate piogge nei periodi autunnali e invernali¹⁰. In merito alla distribuzione territoriale dei valori annuali dell'indice BIC per il 2020, le aree costiere e pianeggianti del riminese presentano valori di deficit elevati, in linea con i deficit di tutte le aree pianeggianti regionali. Anche per la pianura e costa Romagnola, come per gli anni precedenti, il 2022 conferma la tendenza siccitosa (Figura 8) vicina ed al di sotto del 50° percentile nei mesi invernali e ben al di sotto del 25° per quelli estivi.

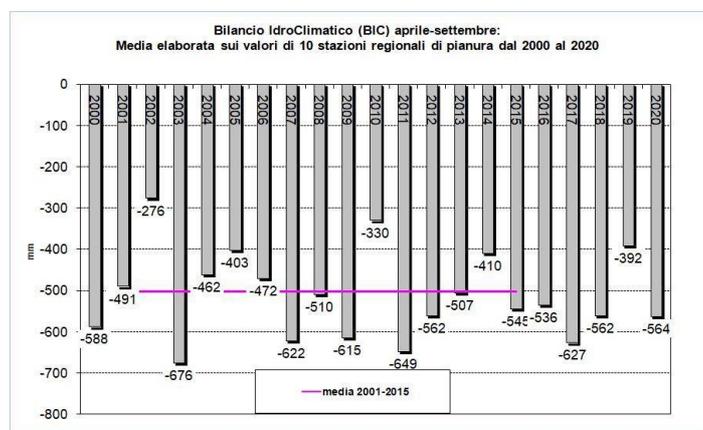


Figura 8: Andamento medio Bilancio Idro-Climatico (BIC) di aprile-settembre dal 2000 al 2020¹¹.

Lo *Standardized Precipitation Index* (SPI) è un secondo indicatore utilizzato per il monitoraggio della siccità meteorologica, idrologica e agricola. Esso esprime la rarità di un evento siccitoso, inteso come deficit di precipitazione, ad una determinata scala temporale (nell'ordine di mesi). A seconda della scala temporale scelta (da 1 a 48 mesi per ARPAE) lo SPI indica l'impatto della siccità

⁹ <https://webbook.arpae.it/clima/>.

¹⁰ <https://webbook.arpae.it/clima/>.

¹¹ <https://webbook.arpae.it/clima/>.

sulla disponibilità di differenti risorse d'acqua: dall'umidità del suolo (breve termine – siccità agricola) alla disponibilità d'acqua nel sottosuolo e nei fiumi (lungo termine – siccità idrologica).

Le piogge cumulate tra ottobre 2021 e febbraio 2022 sono stimate tra le più basse degli ultimi vent'anni (Figura 9). L'indice SPI a 24 mesi evidenzia un deficit di precipitazione diffuso, che esprime una situazione siccitosa particolarmente marcata tra Bologna, Ferrara, e la costa Romagnola.

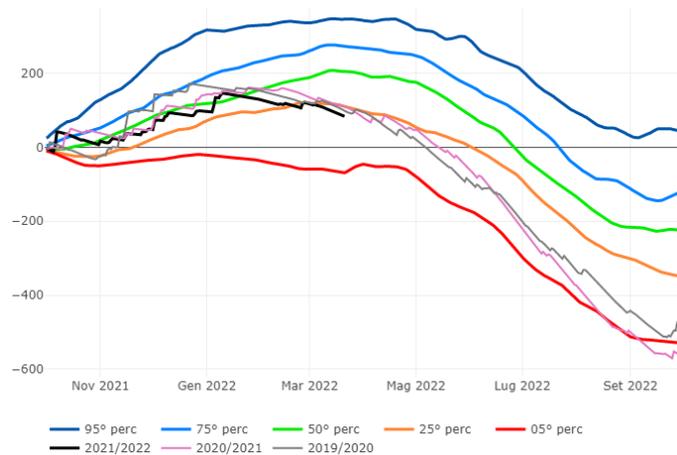


Figura 9: Bilancio Idro-Climatico per i comuni della pianura e della costa Romagnola (macro-area regionale B) del 2019, 2020 e 2021 rispetto ai valori medi di riferimento¹².

¹² <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/siccita/dati-e-indicatori/monitoraggio-siccita>.

2.2.4. Indice di disagio bioclimatico: Ondate di calore

Il disagio bioclimatico, definito mediante l'indice di Thom, descrive situazioni di caldo umido, rappresentate dalle cosiddette "ondate di calore", tali da determinare disagio fisiologico e condizioni di stress per le persone. Nello specifico, tra le soglie di questo indice, i valori di temperatura e umidità superiori a 28 giorni indicano la presenza di spiccato disagio, mentre quelli superiori a 24 giorni indicano l'inizio delle condizioni di malessere¹³. Buona parte delle pianure e del contesto riminese è caratterizzata da valori compresi tra 60 e 80 giorni (Figura 10).

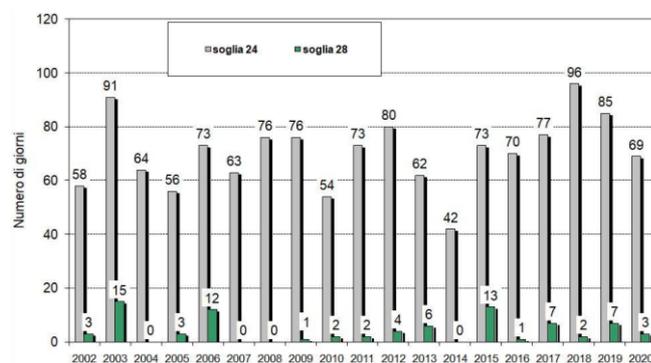


Figura 10: Indice di Thom, media regionale del numero di giorni superiori alla soglia 24 e 28 (2002-2020¹⁴)

¹³ <https://webbook.arpae.it/clima>.

¹⁴ <https://webbook.arpae.it/clima/>.

3. CAMBIAMENTI CLIMATICI, SCENARI ATTESI AL 2021 - 2050

Gli indici di variabilità e dei cambiamenti climatici osservati per il periodo 1961-2020 sono in linea con quelli già segnalati a livello globale nei rapporti dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e possono essere riassunti in:

- tendenza di crescita delle temperature minime, medie e massime, sia a livello stagionale sia a livello annuale;
- variabilità significative degli indici di temperatura tra le diverse decadi;
- anomalie di temperature e precipitazioni che hanno raggiunto picchi proprio negli ultimi anni;
- diminuzione delle precipitazioni estive, invernali e primaverili e aumento di quelle autunnali;
- aumenti significativi delle temperature minime invernali combinate a diminuzioni di precipitazioni;
- diminuzione del numero di giorni con gelo e un aumento della durata delle ondate di calore estive.

Questi trend sono coerenti con le proiezioni di cambiamenti del clima futuri, legati ai diversi scenari emissivi possibili (Tabella 2).

SCENARI 2021-2050	VARIAZIONE TEMP. MINIMA (°C)	VARIAZIONE TEMP. MASSIMA (°C)	VARIAZIONE PRECIPITAZIONI (%)
INVERNO	+1,7	+1,4	-2
PRIMAVERA	+1,3	+2,1	-11
ESTATE	+1,8	+2,5	-7
AUTUNNO	+1,7	+1,8	+19

Tabella 2: Variazioni attese nell'arco temporale 2021-2050 dei valori medi stagionali di temperatura e precipitazioni in Emilia-Romagna, ottenuti applicando tecniche di regionalizzazione statistica ad un modello climatico globale (CMCC-CM, con scenario emissivo intermedio RCP4.5)

Gli scenari emissivi¹⁵ considerati nell'inquadramento sul cambiamento climatico in Emilia-Romagna contenuto nella Strategia Regionale di

¹⁵ “Per “Representative Concentration Pathways” (RCPs) si intendono le traiettorie delle concentrazioni dei gas effetto serra nel XXI secolo, con le conseguenti e associate proiezioni dei livelli di forzante radiativa al suolo, in base a diversi scenari di crescita economica globale, variazione della popolazione, sfruttamento delle risorse energetiche e del territorio, e altri fattori socioeconomici.

Adattamento e Mitigazione (A1B IPCC SRES, RCP4.5 e RCP8.5) concordano, per il periodo 2021-2050, sul possibile aumento della temperatura minima e massima di circa 1.5°C in inverno, primavera e autunno e di circa 2.5°C in estate. Tale aumento della temperatura dovrebbe diventare molto più intenso, tra 3°C e 4.5°C (secondo gli scenari A1B e RCP4.5) per il periodo 2071-2100, rispetto al periodo 1961-1990. Valori che potrebbero essere ancora più intensi durante l'estate, aumentando di circa 8°C, secondo lo scenario emissivo RCP8.5. All'aumento delle temperature medie corrisponderanno aumenti di eventi meteorologici estremi e anomalie di temperature minime e massime stagionali, col conseguente aumento della frequenza e della durata delle onde di calore e delle notti tropicali, che avranno ulteriori impatti sulla salute, sulle attività economiche e sugli ecosistemi.

Le proiezioni per l'Emilia-Romagna mostrano una possibile diminuzione delle precipitazioni primaverili ed estive (media regionale di circa 10%) per il periodo 2021-2050 rispetto al 1971-1990 e un probabile aumento di circa il 20% per l'autunno (media regionale) e l'inverno in pianura.

Allo stesso tempo, gli stessi scenari descrivono un leggero aumento della quantità di precipitazione nei giorni piovosi, che saranno meno frequenti ma più intense.

Per la provincia di Rimini, il forum regionale¹⁶ per i Cambiamenti Climatici ha fornito le Proiezioni Climatiche 2021-2050, suddivise per aree omogenee regionali e per indicatori di vulnerabilità climatica (Tabella 3).

L'IPCC nel suo quinto Rapporto di Valutazione (AR5, 2014) ha selezionato quattro RCPs di riferimento: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5. Il suffisso numerico, ad esempio 2.6, rappresenta la forzante radiativa, espressa in W/m², stimata al 2100 rispetto all'era preindustriale (1750), per le diverse traiettorie.

Lo scenario RCP 2.6 considera l'adozione di politiche di mitigazione e riduzione delle emissioni molto elevate; lo scenario RCP 4.5 considera la stabilizzazione della concentrazione dei gas climalteranti, ovvero l'adozione di misure per la loro consistente riduzione; lo scenario RCP 6.0 è uno scenario di stabilizzazione, con riduzioni emissive blande; lo scenario RCP 8.5 considera la presenza di alte emissioni, ovvero la non adozione di politiche di mitigazione ("BAU: *business as usual*")." Fonte "Documento di sintesi della Strategia di Mitigazione e Adattamento per i Cambiamenti Climatici" della Regione Emilia-Romagna.

¹⁶ Regione Emilia-Romagna, ARPAE, ed ART-ER.

INDICATORI DI VULNERABILITÀ	RIMINI	COSTA SUD	COLLINA EST	PIANURA EST	CRINALE EST
TEMPERATURA MEDIA ANNUA (°C)	13,2 A 14,6	13 A 14,5	11,7 A 13,4	12,9 A 14,5	9,3 A 11
TEMPERATURA MASSIMA ESTIVA (°C)	26,7 A 28,8	27,3 A 29,7	25,5 A 28,8	28,2 A 31	21,5 A 24,8
TEMPERATURA MINIMA INVERNALE (°C)	1,3 A 2,5	0,2 A 1,6	0,0 A 1,4	-0,3 A 1,3	-0,1 A 0,2
NOTTI TROPICALI ESTIVE	13 A 32	9 A 23	3 A 8	8 A 18	1 A 3
DURATA ONDE DI CALORE ESTIVE	3 A 10	3 A 9	2 A 8	3 A 7	3 A 9
PRECIPITAZIONE ANNUA (MM)	770 A 750	720 A 710	1000 A 910	710 A 650	1450 A 1340
GIORNI SECCHI ESTIVI	23 A 28	22 A 28	20 A 25	21 A 28	18 A 23

Tabella 3: Indicatori di vulnerabilità climatica per le 4 aree omogenee della provincia di Rimini, proiezioni per il 2021-2050 (secondo valore) rispetto al periodo di riferimento 1961-1990 (primo valore)¹⁷

Oltre al persistere degli innalzamenti delle temperature minime, medie e massime, particolarmente significativi sono gli aumenti previsti di notti tropicali estive (aumento medio del 250%) e di giorni estivi consecutivi, con temperature massime eccezionali (onde di calore che tenderanno a triplicare), e di quelli senza precipitazioni (giorni secchi).

Gli effetti del cambiamento climatico sono evidenti anche sulle coste romagnole dove si sono registrati incrementi di frequenza e intensità di acque alte, mareggiate, precipitazioni intense e concentrate, fenomeni alluvionali. In futuro questi eventi, come segnala la Strategia Integrata per la Difesa e l'Adattamento della Costa ai cambiamenti climatici (GIDAC) dell'Emilia-Romagna, potranno ulteriormente aumentare in numero e in intensità, con effetti sulla costa combinati a fenomeni di "acqua alta", piene fluviali di breve durata e forte intensità che troverebbero difficile sbocco a mare, innalzamento del livello medio del mare e progressivo abbassamento del territorio a causa della subsidenza.

Gli scenari di previsione per l'innalzamento del livello medio marino previsto per il 2081-2100, rispetto al periodo di riferimento 1986-2005, stimano, per la costa dell'Emilia-Romagna, un range d'innalzamento del livello medio marino tra i 30 cm (+/- 7 cm) ed i 45 cm (+/- 12 cm)¹⁸.

¹⁷ <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/cambiamenti-climatici/gli-strumenti/forum-regionale-cambiamenti-climatici/scenari-climatici-regionali-per-aree-omogenee-1/schede>.

¹⁸ GIDAC citando Perini.

I rischi direttamente e indirettamente corrispondenti a queste previsioni di cambiamento climatico, per i settori fisico-biologici e socioeconomici in l'Emilia-Romagna, possono essere riassunti come segue:

- incendi boschivi;
- dissesto idrogeologico (frane, alluvioni) e subsidenza;
- degrado del suolo e innesco di processi di desertificazione;
- perdita di produzione agricola;
- minore disponibilità e qualità idrica;
- arretramento della linea di costa;
- effetti negativi sulla salute;
- aumento dei consumi energetici;
- perdita di biodiversità e modifica degli ecosistemi;
- effetti negativi sulle attività economiche (industria, commercio, turismo);
- intrusione salina.

3.1.1. Precipitazioni e temperature: condizioni passate e scenari futuri

A livello regionale, si riconosce come le temperature medie del periodo 1991-2015 abbiano subito un incremento di 1,1°C (+1,4°C le massime, +0,8°C le minime), mentre le precipitazioni annuali siano diminuite complessivamente di soli 22 mm (-2%), ma con una notevole variazione inter-stagionale (estati più aride e autunni più piovosi), rispetto al trentennio di riferimento.

Alla scala provinciale è possibile osservare (Figura 11), come i maggiori incrementi siano distribuiti principalmente lungo la città di costa, seguiti da un tendenziale decremento in direzione della Valconca e dell'Alta Valmarecchia. Nello scenario del periodo estivo (Figura 12), questa dinamica si accentua rispetto all'intero territorio provinciale, con i valori più alti in prossimità delle aree urbanizzate.

In merito al regime delle precipitazioni, l'analisi tra i valori medi annui del trentennio 1961-1990 rispetto allo scenario 2021-2050 (Figura 13) permette di osservare un lieve decremento tendenziale: lo scenario 2021-2050 mostra una graduale diminuzione delle precipitazioni totali maggiormente nella città di costa e in misura minore nell'entroterra. Se si considerano le singole variazioni dei valori delle temperature minime e massime stagionali tra il 1961-1990 ed il 2021-2050, si possono apprezzare incrementi differenziati tra i comuni della provincia di Rimini. La variazione più significativa concerne i comuni sopra i 250 m di altitudine per le temperature massime estive, con incrementi che vanno dai 2,6 ai 4,1°C. Lo stesso vale per la variazione delle temperature massime e minime invernali e per le minime primaverili. Per quanto riguarda le variazioni dei valori di precipitazioni medie stagionali tra il trentennio di riferimento (1961-1990) e quello previsto (2021-2050), i deficit negativi più significativi

interessano i comuni costieri e della pianura nella stagione estiva, mentre quelli sopra i 250 m di altitudine nella stagione primaverile. I comuni collinari e preappenninici sono interessati da una variazione positiva di precipitazioni durante i mesi autunnali ed invernali.

Come evidenziato da studi regionali, il territorio riminese si troverà a fronteggiare incrementi dei fabbisogni irrigui, stress termici per le colture e per gli animali allevati, anticipazioni dei cicli colturali, diffusione di fitopatologie e nuovi parassiti. Parallelamente, sarà necessario mitigare e ridurre gli effetti che queste stesse attività economiche hanno sul clima, in particolare per quanto riguarda agricoltura e zootecnia che contribuiscono, insieme ad altri settori industriali ed urbani, alle emissioni dei principali gas climalteranti.

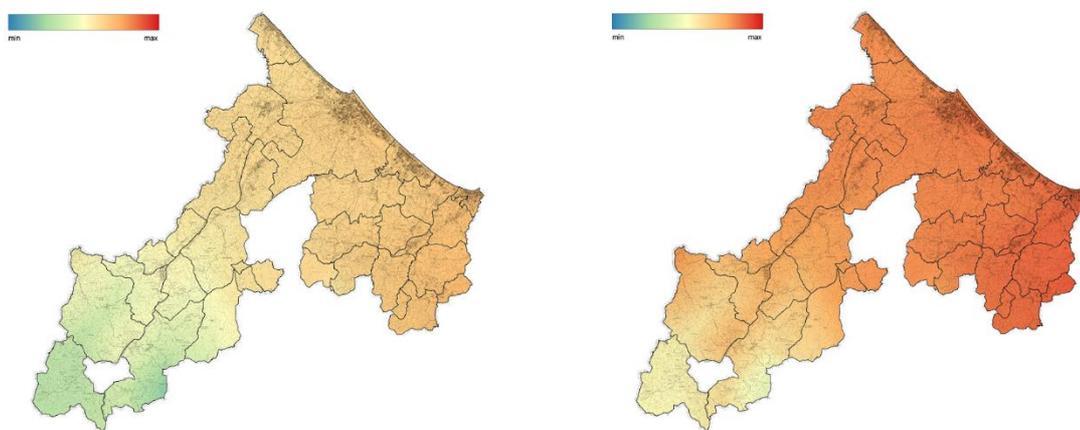


Figura 11: Temperature medie: confronto tra i valori registrati nel trentennio 1961-1990 (a sinistra) e quelli dell'arco temporale 2021-2050 (a destra).

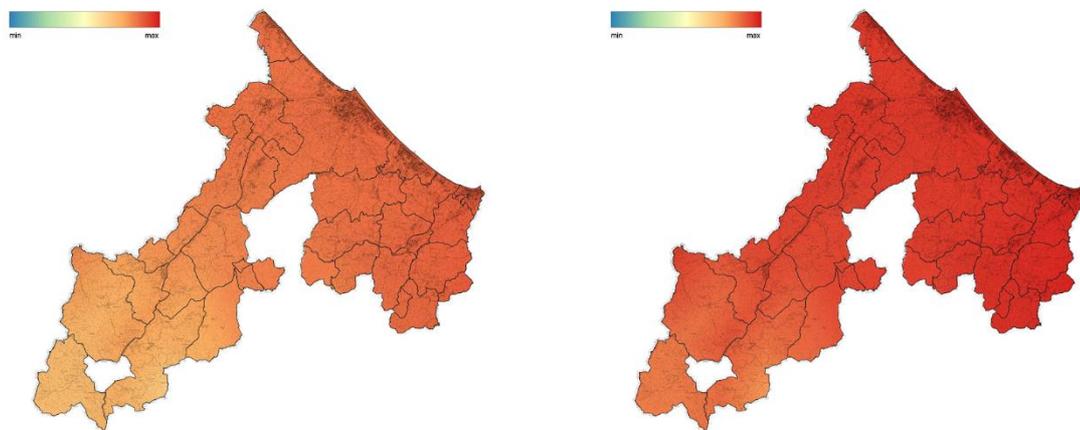


Figura 12: Temperature medie estive: confronto tra i valori registrati nel trentennio 1961-1990 (a sinistra) e lo scenario 2021-2050 (a destra).

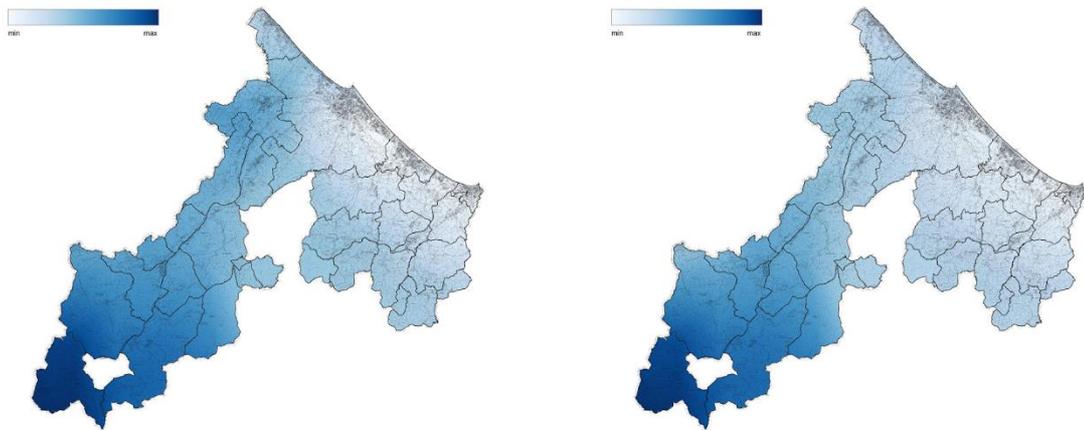


Figura 13: Precipitazioni medie: confronto tra i valori registrati nel trentennio 1961-1990 (a sinistra) e lo scenario 2021-2050 (a destra).

4. IMPATTI NEI SETTORI FISICO-BIOLOGICI E SOCIOECONOMICI

Gli scenari presentati relativi ai cambiamenti e alle variazioni delle componenti del clima comporteranno impatti diversi nella complessità dei sistemi fisici e naturali, con molteplici effetti per gli usi del suolo e per i settori economici e sociali che caratterizzano il territorio riminese. Di seguito verranno analizzati alcuni di questi ambiti di rischio legati agli effetti previsti del cambiamento climatico (Figura 14).

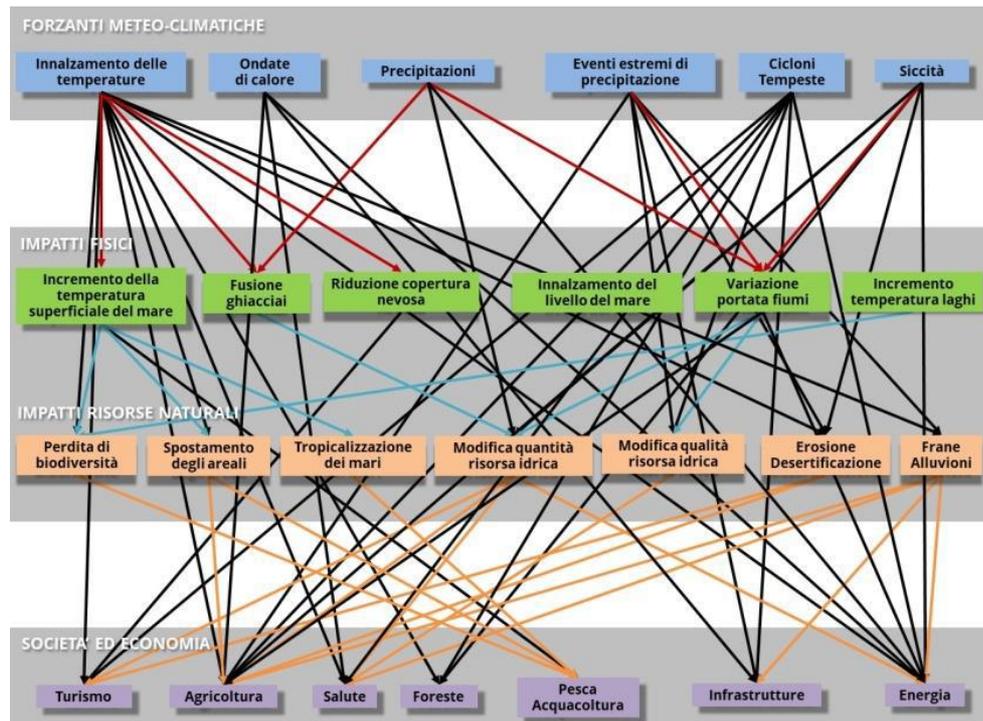


Figura 14: Quadro esemplificativo degli impatti dei cambiamenti climatici. Fonte "Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021. Report SNPA".

Le urbanizzazioni di scarsa qualità, l'impermeabilizzazione dei suoli e la bassa efficienza energetica degli edifici aggraveranno gli effetti del cambiamento climatico, peggiorando, nello specifico, le isole e le ondate di calore urbane, le precipitazioni intense attese, la sicurezza e la qualità dell'approvvigionamento idrico.

Oltre ai danni agli edifici e alle persone, il dissesto idrogeologico contribuirà a peggioramenti strutturali, ad aumenti dei costi assicurativi e allo spopolamento dei piccoli centri più esposti. L'assenza di vento e di inversione termica contribuiranno al peggioramento della qualità dell'aria e all'aumento stagionale e alla stagnazione di sostanze inquinanti. Questo peggioramento della concentrazione delle sostanze, legato al cambiamento climatico, affliggerà le

persone più vulnerabili, che saranno in aumento anche a causa del progressivo invecchiamento della popolazione.

Oltre all'inquinamento dell'aria, i rischi per la salute umana saranno legati anche alla maggior frequenza ed intensità delle ondate di calore e di estremi climatici, alla circolazione di pollini allergenici, di specie aliene tossiche e di nuove patologie. Inoltre, le emissioni di azoto e di sostanze acidificanti renderanno maggiormente vulnerabili le colture agricole e le foreste, mentre la deposizione di sostanze eutrofizzanti, legate agli elevati livelli di inquinamento, colpiranno gli ecosistemi acquatici.

Il ciclo dell'acqua è esposto a significativi impatti del cambiamento climatico, alterazioni causate dalla maggiore frequenza ed intensità di eventi estremi meteo-climatici e alla variazione della disponibilità idrica media annuale. La disponibilità di risorsa idrica, allo stato attuale, presenta diverse criticità e un equilibrio precario. Le ulteriori diminuzioni della portata d'acqua dei fiumi (prevista fino a -40% per il 2080) acuirà la competizione legata al sovra-sfruttamento dei corpi idrici superficiali e sotterranei da parte dei diversi settori, costringerà a maggiori prelievi di falda, e inasprirà le ricorrenti crisi idriche che interessano prevalentemente il settore agricolo. Inoltre, i corpi idrici superficiali e sotterranei saranno interessati da una riduzione di portata, da eutrofizzazione, dall'aumento di nutrienti e contaminanti, dall'aumento del grado di salinità per l'intrusione del cuneo salino. Questi fattori determineranno un ulteriore peggioramento della qualità ecologica e chimica dell'acqua disponibile, con il relativo aumento di rischi sanitari per le persone e di costi di sanitizzazione, potabilizzazione, manutenzione e gestione.

Le conseguenze determinate dall'innalzamento del mare e dalla subsidenza del suolo, previsti per le aree costiere saranno:

- fenomeni di intensa erosione costiera combinati a mareggiate più frequenti e intense, con riduzione di quota e ampiezza delle spiagge, compromissione dei sistemi dunali e danneggiamento delle strutture di difesa, determinando quindi l'esposizione dei territori retrostanti la spiaggia;
- incremento del rischio di inondazione, perdita di habitat tipici, e aumento dell'ingressione del cuneo salino.

Questi effetti si combineranno al peggiorare dello stato qualitativo delle acque costiere e di transizione, favorite dal tendenziale innalzamento delle temperature del livello del mare e della salinizzazione degli acquiferi costieri e delle aste fluviali terminali.

I principali rischi legati a questi deterioramenti sono l'alterazione degli ecosistemi marini, la perdita di biodiversità, la diminuzione e modificazione degli stock ittici, l'aumento delle specie aliene invasive, l'aumento di fioriture algali e micro-algali e dei fenomeni di anossia delle acque marine e di transizione (Tabella 4).

Questa maggiore vulnerabilità e degradazione delle coste comporterà una perdita di attrattività e valore per attività e strutture economiche e turistiche,

che faticheranno a soddisfare le richieste di risorse, acqua in particolare, durante l'alta stagione.

Il settore turistico sarà interessato da aumenti dei costi per la gestione e la messa in sicurezza di infrastrutture e edifici di fronte alla maggior frequenza ed intensità di eventi estremi, alla degradazione dei suoli, delle spiagge e delle coste. I fattori di rischio per gli ecosistemi marini e di transizione, la maggiore esposizione agli eventi estremi, mareggiate in particolare, colpiranno anche il settore della pesca e dell'acquacoltura, con perdita di produzione, diminuzione del pescato tipico e aumento dei costi di gestione.

Elementi di criticità/ sistemi interessati, impatti	Sistema Fisco costiero	Sist. Urbano e Paesaggio	Sistema reti Trasporto	Sistema dei Porti	Sistema Aree Protette	Qualità delle Acque	Sistema Turismo	Pesca e Acquacoltura	Sistema Agricoltura
Basse quote di spiaggia	X				X		X		
Scarsa ampiezza di spiaggia	X	X			X		X		
Subsidenza	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Opere marittime e di difesa	X	X		X			X	X	
Erosione litorali, arretramento	X	X	X		X		X	X	X
Accumuli eccessivi di sedimenti	X			X	X			X	
Ingressione marina, acque alte	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Intrusione cuneo salino in falda	X	X			X	X			X
Inquinamento acque trans./ balneazione					X	X	X	X	
Disponibilità qualità risorse idriche		X				X	X	X	X
Domanda, consumo di energia		X	X	X			X	X	X
Infrastrutture energetiche	X	X					X	X	

Matrice riassuntiva dei principali elementi di criticità e relativi sistemi interessati da impatti da essi derivanti.

Tabella 4: Matrice riassuntiva dei principali elementi di criticità legati al cambiamento climatico e relativi sistemi interessati per le aree costiere¹⁹

Gli ecosistemi terrestri saranno soggetti ad alterazioni della composizione e dell'equilibrio flora-faunistico, con perdita delle specie più sensibili a causa della scarsità d'acqua – che durante i momenti di siccità verrà prioritizzata per altri usi –, dell'eutrofizzazione degli ambienti acquatici e della desertificazione nelle aree pianeggianti e pedecollinari.

Per quanto riguarda il patrimonio forestale, gli incendi boschivi aumenteranno in numero (crescita prevista del 20%), estensione delle aree colpite e durata (stagioni degli incendi più lunghe di 20-40 giorni l'anno), anche a causa della combinazione di temperature più alte, piogge ridotte e periodi siccitosi più lunghi e frequenti. La maggior frequenza di incendi, la minore disponibilità idrica e i cambiamenti di temperature e precipitazioni produrranno inoltre:

¹⁹ “Strategia Integrata per la Difesa e l'Adattamento della Costa ai cambiamenti climatici (GIDAC)”.

- ulteriori emissioni di CO₂ e particolato (dovute agli incendi);
- aumento dei costi di gestione e ripristino forestale;
- diminuzione della produzione di legname;
- alterazione della composizione e della consistenza delle coperture forestali;
- distruzione, alterazione e perdita di resilienza degli ecosistemi forestali.

L'agricoltura è fortemente dipendente dalle condizioni climatiche, dagli aumenti delle temperature e dalle diminuzioni delle piogge che influiscono sulla disponibilità idrica, sul ciclo di vita delle piante e sul benessere del bestiame. Le alterazioni di temperature e piovosità possono compromettere la qualità e la quantità dei raccolti e dei prodotti zootecnici. Maggiori vulnerabilità agli impatti dimostrano le colture a pieno campo, con ciclo produttivo primaverile-estivo e alti fabbisogni idrici ma non mancheranno criticità anche per le colture meno idro-esigenti (ad es. soia, girasole e sorgo), che necessiteranno di maggiori apporti irrigui e di soccorso in occasione dei sempre più probabili eventi di siccità estiva.

L'aumento degli eventi estremi, l'intrusione salina e la conseguente minore disponibilità idrica aumenteranno le perdite di superficie coltivabile, degli strati pedologici produttivi, di fertilità e sostanza organica dei suoli, di quantità e qualità dei prodotti tipici. Questo comporterà anche un aumento dei costi di produzione e dei fabbisogni idrici culturali, oltre all'introduzione di colture adatte alle nuove condizioni. I rischi climatici avranno effetti anche per l'allevamento, per le diverse disponibilità di acqua, pascoli e foraggio, per l'esposizione degli animali a stress da caldo per periodi prolungati e a nuovi agenti patogeni.

Le perdite economiche e la diminuzione dell'attrattività produttiva interesseranno anche gli altri settori produttivi e infrastrutturali, poiché gli eventi estremi e i cambiamenti climatici comporteranno perdita di sicurezza e accessibilità, diminuzioni o interruzioni della produzione e dell'approvvigionamento di risorse, peggioramenti strutturali, aumenti dei costi assicurativi, di manutenzione e ripristino.

5. ANALISI DELLE VULNERABILITÀ CLIMATICHE

Tra le innumerevoli ricadute, dirette e indirette, che il cambiamento climatico può avere su un dato territorio e sulla sua gestione, diventa utile indagare due sfere di riferimento: il calore e l'acqua.

Come è emerso nei rapporti Idrometeo Clima²⁰, all'aumento delle temperature possono essere correlati fenomeni di stress idrico e periodi di siccità, che si manifestano, talvolta, anche per tempi prolungati. La variazione dei trend climatici si osserva anche sullo scostamento dei valori registrati rispetto alle curve storiche di precipitazione. Gli eventi di pioggia si polarizzano, migrando verso gli estremi, proprio in relazione alla comparsa di eventi più intensi e più concentrati rispetto al passato. Pertanto, questo scenario richiede di approfondire la localizzazione dei principali impatti attesi, impiegando analisi e valutazioni su scala provinciale. Offrendo una spazializzazione al calore accumulato, alla siccità e alla vulnerabilità agli allagamenti, le successive mappe (Figura 15, Figura 16, Figura 17) descrivono un territorio soggetto a questi fenomeni in maniera eterogenea, soprattutto a seconda della matrice insediativa presente. Nei passaggi seguenti verranno approfondite alcune rielaborazioni, in riferimento alle situazioni di stress e alla scala territoriale di indirizzo.

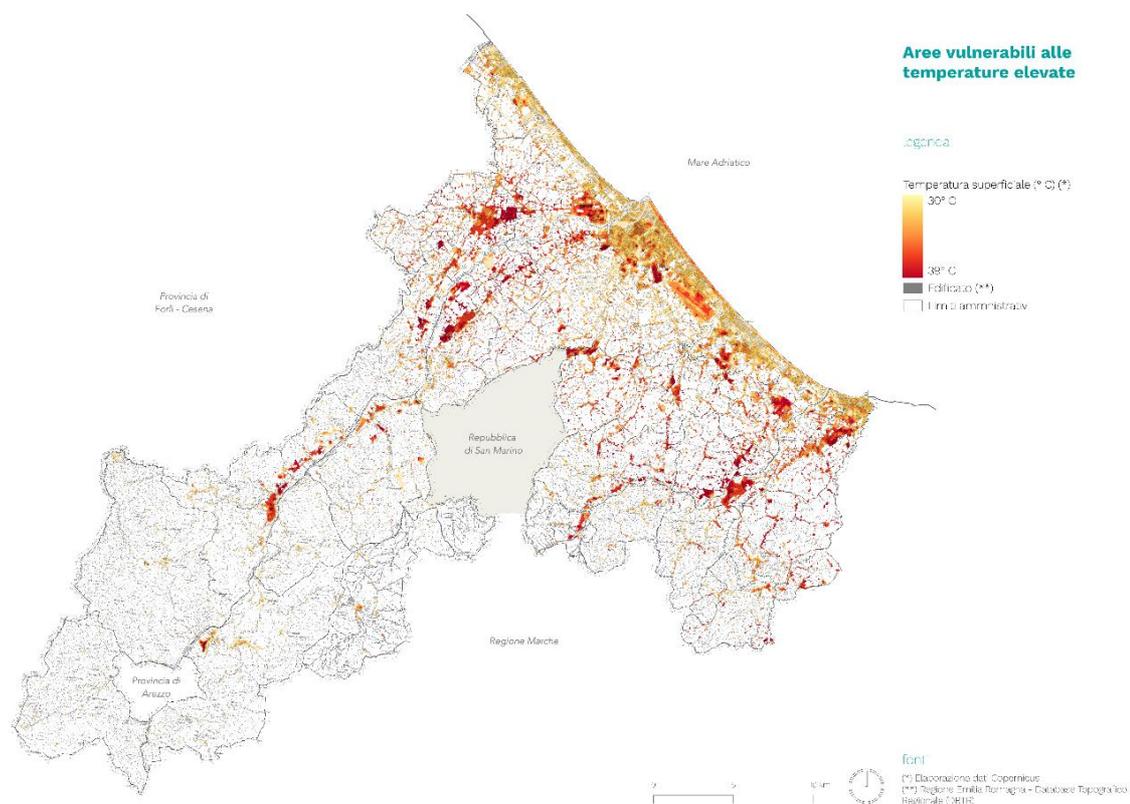


Figura 15: Ondate di calore (Elaborazione IUAV su base dati Copernicus)

²⁰ <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo/report-meteo/rapporti-annuali>.

Il fenomeno dell'isola di calore si verifica sotto forma di gradiente termico tra una porzione di territorio urbano e il sistema rurale che lo contorna.

Di giorno, le superfici artificiali accumulano più energia termica (calore) rispetto agli ambiti agricoli e forestali circostanti. Durante la notte, questa differenza di temperatura si amplifica: mentre il sistema rurale si rinfresca rapidamente, il tessuto urbano impiega molto più tempo, comportando un rilascio di calore lento e graduale, a causa dell'inerzia termica che caratterizza i materiali dello spazio costruito.

Il cambiamento climatico in atto richiede alla pianificazione di dotarsi di strumenti di indagine spaziale in grado di verificare non solo i trend statistici, ma anche la localizzazione degli ambiti urbani e rurali che potranno essere soggetti di fenomeni di questo tipo.

A livello provinciale, l'analisi delle aree vulnerabili alle temperature elevate ha permesso di identificare la distribuzione disaggregata del dato per gradi centigradi maggiori di 30 gradi: più di 6.000 ettari di territorio della provincia di Rimini sono soggetti a temperature superiori alla soglia dei 30°C durante i giorni più caldi dell'anno. Questo pone l'attenzione sugli ambiti urbani coinvolti dal fenomeno e consente di stimolare l'adozione di alcune strategie per l'adattamento, al fine di limitare l'escursione termica. Come è possibile notare dalla mappa (Figura 15), i comuni che risultano avere le maggiori estensioni di territorio vulnerabile alle temperature elevate sono Cattolica, Riccione, Bellaria-Igea Marina, Morciano di Romagna e Misano Adriatico: appare chiara la prossimità con il sistema costiero, più sviluppato dal punto di vista urbanistico rispetto il suo entroterra. Contrariamente a quanto accade nei territori della pianura rivierasca e della Valle del Conca, l'Alta Valmarecchia registra invece una presenza di isole di calore meno severa. Grazie alla diffusa presenza della vegetazione sui versanti, il fenomeno si localizza unicamente lungo il fondovalle, dove le urbanizzazioni e gli spazi dedicati alle attività umane, come zone industriali e commerciali, si addensano e vengono collegati dai nodi infrastrutturali principali.

Determinare le condizioni di stress idrico a livello provinciale richiede un'adeguata base informativa e, per questo, si è fatto ricorso all'uso delle tecniche di telerilevamento²¹ e al calcolo del VHI (*Vegetation Health Index*)²². Presumendo che un costante e intenso aumento della temperatura del suolo agisca negativamente sul vigore della vegetazione, causando importanti stress vegetativi, il VHI si basa sulla correlazione inversa tra LST (temperatura riflessa al suolo) e NDVI (presenza di clorofilla nella foglia). L'indice VHI viene quindi derivato dal rapporto tra il *Temperature Condition Index* (TCI) e il *Vegetation*

²¹ Per utilizzare al meglio le potenzialità delle immagini Landsat-8 è necessario che la scelta del dato satellitare venga effettuata conducendo in parallelo una valutazione delle temperature durante i periodi di caldo più intenso. Si procede quindi alla selezione di un set di immagini satellitari scelte sulla base di quattro criteri: i) anno di acquisizione; ii) mese di acquisizione; iii) temperatura media giornaliera; iv) assenza di annuvolamenti significative. La selezione valuta i momenti orbitali di acquisizione con una minor presenza di nuvole nell'atmosfera.

²² Questo indice viene impiegato per diversi scopi nell'ambito dell'analisi ambientale. Ad esempio, viene usato per condurre valutazioni sul rischio di incendi, per indagare la presenza della frazione di vegetazione al suolo e del suo stato di salute, per calcolare la superficie fogliare nella stima del tasso di sequestro della CO² di una pianta, per monitorare la produttività delle colture e dei pascoli.

Condition Index (VCI). Il calcolo del TCI utilizza dati termici ottenuti dalla LST, mentre quello del VCI si basa su dati vegetazionali NDVI, capaci di riflettere le condizioni di umidità del suolo. L'indice VCI indica valori standardizzati (in %) che riflettono stress vegetativi legati ad un basso tasso di umidità, mentre il TCI riflette valori (in %) relativi a stress vegetativi legati alle alte temperature. Il VHI è quindi un indicatore ancillare rappresentativo delle condizioni di salute generale della vegetazione presente in un territorio al momento dell'acquisizione del dato satellitare. È una stima bilanciata tra lo stato termico del periodo di osservazione e il contenuto di umidità nei tessuti vegetali (Kogan, 1995)²³.

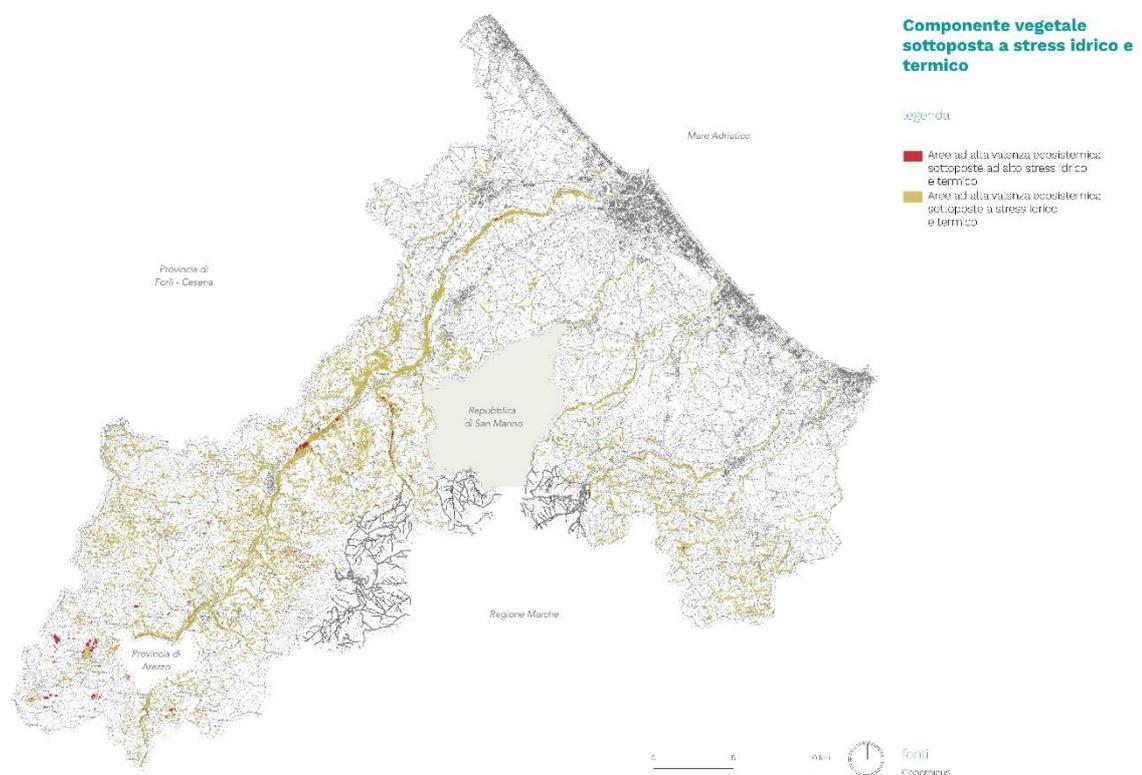


Figura 16: Carta della siccità (Elaborazione IUAV su base dati Copernicus)

In dettaglio, il VHI manifesta condizioni di siccità²⁴ crescenti, al di sotto del valore di soglia 40, dove alcune realtà territoriali presentano uno status di stress vegetativo elevato.

²³ Kogan F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*. 15, 91-100.

²⁴ Si tenga conto che la misura della siccità può avvenire secondo diversi indici. Tra quelli più usati e riconosciuti a livello internazionale si segnala lo SPI (*Standardized Precipitation Index*). Si tratta di un indicatore standardizzato per rilevare e valutare il deficit di precipitazione (siccità) a diverse scale temporali. Lo SPI consente di quantificare il surplus o il deficit idrico rispetto alla climatologia

La spazializzazione del VHI può dunque consentire l'identificazione di gradienti di stress idrico che, se adeguatamente correlati a specifiche informazioni di contesto, possono esprimere la propensione potenziale di una specifica tipologia boschiva o arborea ad essere esposta agli stress di siccità o al passaggio del fuoco²⁵.

Considerando anche i benefici generati dalla presenza di uno o più servizi ecosistemici, l'analisi della condizione di stress viene messa in relazione con la dinamica ecosistemica. In particolare si è voluto indagare il comportamento che aree ad alto valore ecosistemico hanno rispetto l'impatto specifico della siccità. Infatti più l'impatto della siccità aumenta e meno erogazione dei servizi ecosistemici viene garantita sul lungo termine; pertanto al fine di mantenere la fornitura di tali servizi si è ricercato quali aree presentano delle caratteristiche tali da avere una priorità di riflessione e attenzione.

Nello specifico si è indagato sul comportamento geografico che le aree ad alto valore ecosistemico hanno rispetto all'impatto della siccità in riferimento a due dinamiche differenti: una giornata interessata da fenomeni meteorici (precipitazioni) e una giornata caratterizzata da eventi di siccità. Questo raffronto ha permesso di osservare e individuare due comportamenti principali, distinguendo aree poco performanti in cui è presente una forte frammentazione ecologica (in rosso nella Figura 16) e aree che ad oggi mantengono una caratterizzazione positiva ma che è bene attenzionare poiché presentano dei valori soglia al minimo (in giallo nella Figura 16). Posto infatti come le variazioni climatiche seguano un trend in peggioramento si rivela indispensabile agire in maniera prioritaria su questa aree dove risulta necessario garantire una continuità ecologica per garantire l'erogazione dei servizi ecosistemici.

In ambito insediativo, il cambiamento climatico viene spesso associato ad un aumento di piogge intense e concentrate che, confluendo nelle reti di drenaggio sotterranee, causano sovente dei sovraccarichi idrici localizzati. Il manifestarsi di fenomeni meteorici estremi aumenta l'afflusso d'acqua verso i corpi recettori generando allagamenti temporanei. Il cambiamento climatico pone quindi i sistemi di drenaggio in una condizione di inefficienza, evidenziando sempre più la necessità di analizzare, rappresentare e interpretare i percorsi dei deflussi superficiali e dei suoi variegati rapporti urbano-rurali. Per gestire questa fragilità territoriale ed inserire le nuove trasformazioni in una valutazione strategica sistemica, lo studio dei fenomeni meteorici estremi evidenzia la necessità di definire una correlazione spaziale tra i deflussi e gli usi del suolo, identificando le morfologie urbane più vulnerabili e la capacità di assorbimento delle acque meteoriche in modo da ripensare la programmazione del territorio.

dell'area in esame. https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/siccitas/index.html.

Per un approfondimento del tema, si vedano anche Vergni e Todisco (2010) e (2011).

²⁵ Le letture del VHI in aree boschive possono restituire condizioni di stress idrico e termico moderate, severe o estreme. Foreste con un tasso di umidità basso possono favorire il rapido propagarsi di incendi, anche di ampie proporzioni.

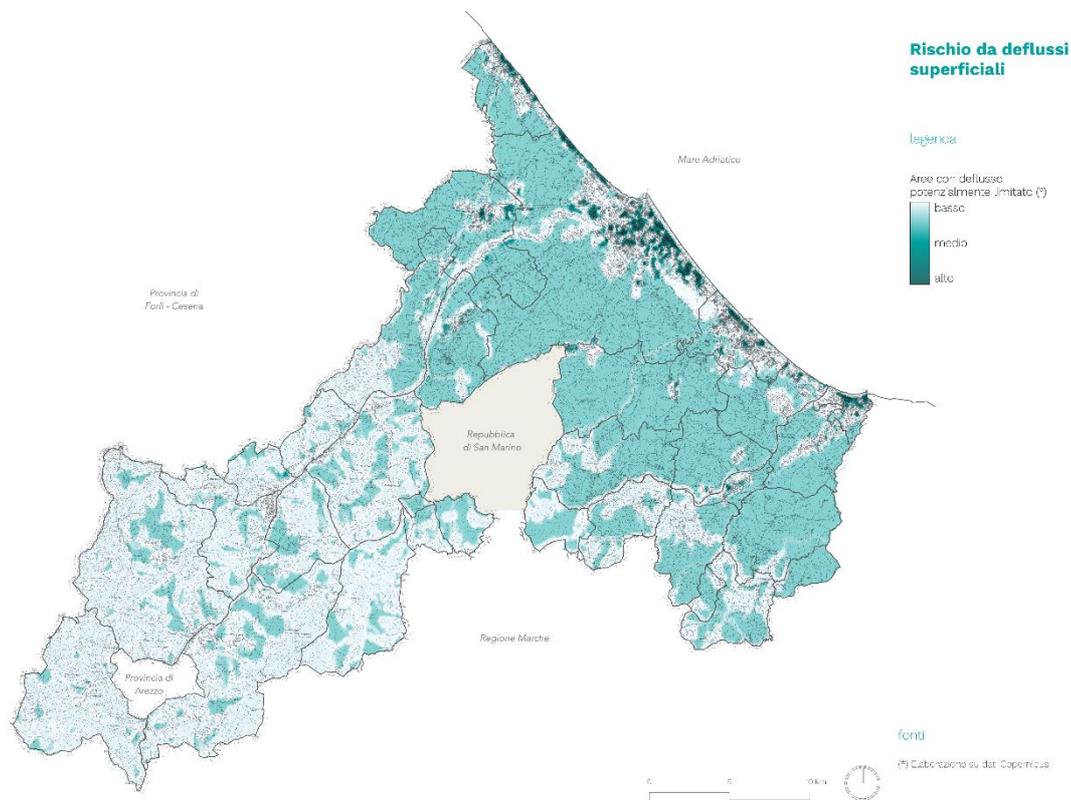


Figura 17: Rischio da deflussi superficiali (Elaborazione IUAV su base dati Copernicus)

Nel territorio della provincia di Rimini, e in particolare nei suoi impianti urbani, il rischio da allagamento viene calcolato simulando il ruscellamento delle acque di pioggia. Conseguentemente, il tracciamento delle aree di afflusso e deflusso si pone in relazione alla morfologia del territorio e alla sua risposta idraulica. Lo studio si avvale dell'elaborazione di un indice spaziale di vulnerabilità idraulica, basato su una logica di associazione tra livelli di impermeabilizzazione del suolo (determinata tramite la procedura del *Curve Number*) e morfologie del terreno (pendenze, depressioni, elevazioni di terreno e avvallamenti). La metodologia restituisce le dinamiche di deflusso superficiale e la stima degli impatti idraulici in base alla variazione della copertura del suolo, monitorata dal progetto europeo *Corine Land Cover* (CLC 2018). Il lavoro consente – come per la valutazione degli indici di qualità della vegetazione – la costruzione di diversi scenari di deflusso superficiale misurati rispetto a specifici indicatori di reattività alla pioggia (H 30mm) che, a loro volta, risultano associati spazialmente al volume specifico di saturazione dei suoli.

Come nel caso delle isole di calore, anche il rischio da deflussi superficiali restituisce una realtà spaziale fortemente impattante per le aree più compatte

della città (Figura 17). La rappresentazione spaziale dello stress climatico, ancorato alle morfologie di uso del suolo, evidenzia una significativa criticità idraulica in contesti territoriali caratterizzati da un'elevata densità abitativa. Si evidenzia una rilevante predisposizione agli allagamenti nell'ambito delle città costiere, dove i livelli di deflusso si mantengono su tassi medio-alti confermando un sistema urbano-infrastrutturale particolarmente vulnerabile. Questa tendenza è più marcata negli spazi urbani complessi e privi di zone permeabili o pertinenze a verde. Inoltre, si osserva come le comunità costiere di Bellaria-Igea Marina, Rimini, Cattolica e, in maniera più contenuta, Riccione e Misano, risultino tra le più predisposte a registrare fenomeni di allagamenti da piogge intense. Meno importante invece è il dato registrato sui territori rurali a basso tasso di urbanizzazione della Valmarecchia e della Valconca.

6. UNA SINTESI VERSO IL PIANO

CAMBIAMENTO CLIMATICO

- Il fenomeno di dissesto idrogeologico accentuato dal cambiamento climatico contribuirà a peggioramenti strutturali, ad aumenti dei costi assicurativi e allo spopolamento dei piccoli centri più esposti;
- Gli impatti legati al cambiamento climatico colpiranno soprattutto le fasce più vulnerabili della popolazione, che saranno in aumento a causa del progressivo invecchiamento;
- I fattori di rischio per gli ecosistemi marini e di transizione e la maggiore esposizione agli eventi estremi (es. mareggiate) colpiranno anche il settore della pesca e dell'acquacoltura, con perdita di produzione, diminuzione del pescato tipico e aumento dei costi di gestione;
- Gli ecosistemi terrestri saranno soggetti ad alterazioni della composizione e dell'equilibrio floro-faunistico, con perdita delle specie più sensibili a causa della scarsità d'acqua – che durante i momenti di siccità verrà prioritizzata per altri usi –, per i processi di eutrofizzazione degli ambienti acquatici e di desertificazione nelle aree pianeggianti e pedecollinari;
- Gli incendi boschivi aumenteranno in numero (crescita prevista del 20%), estensione delle aree colpite e durata (stagioni degli incendi più lunghe di 20-40 giorni l'anno) a causa della combinazione di temperature più alte, piogge ridotte e periodi siccitosi più lunghi e frequenti;
- Le aree vulnerabili alle temperature elevate sono fortemente presenti nei comuni del sistema costiero, con Cattolica al 72,3%, seguito da Riccione al 62,5%;
- La maggior vulnerabilità delle aree costiere al cambiamento climatico comporterà una perdita di attrattività e valore per le attività economiche e turistiche che faticheranno a soddisfare le richieste di risorse (es. acqua) durante l'alta stagione;
- Il settore turistico sarà interessato da aumenti dei costi per la gestione e la messa in sicurezza di infrastrutture e edifici di fronte alla maggior frequenza ed intensità di eventi estremi, alla degradazione dei suoli, delle spiagge e delle coste;
- La compresenza di servizi ecosistemici e di zone periodicamente sottoposte ad elevato stress idrico sono state riscontrate nei comuni della Valconca e nel capoluogo riminese;
- In merito alle aree con deflusso potenzialmente limitato, il comune di Cattolica risulta avere il più alto rapporto rispetto alla superficie

complessiva, con il 16,7 %; a seguire i comuni di Riccione, Rimini e Bellaria-Igea Marina, rispettivamente con il 6,87%, 6,41% e il 5,47%;

- La tendenza agli allagamenti dell'ambito costiero è più marcata negli spazi urbani complessi e privi di zone permeabili o di pertinenze a verde;
- Lo studio dei fenomeni meteorici estremi evidenzia la necessità di definire una correlazione spaziale tra i deflussi e gli usi del suolo.

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

ARPAE (2017). Atlante climatico dell'Emilia-Romagna 1961-2015.

ARPAE (2018). Rapporto IdroMeteoClima 2017.

ARPAE (2019). Rapporto IdroMeteoClima 2018.

ARPAE (2020). Rapporto IdroMeteoClima 2019.

ARPAE (2021). Rapporto IdroMeteoClima 2020.

Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*. 15, 91-100.

Legambiente Emilia-Romagna (2020). Il clima ci riguarda: rischi futuri in Emilia-Romagna.

Regione Emilia-Romagna, DG Cura del Territorio e Ambiente (2018). Documento di sintesi della Strategia di mitigazione e adattamento per i cambiamenti climatici.

Regione Emilia-Romagna, DG Cura del Territorio e Ambiente (2020). Proiezioni climatiche 2021- 2050. Area urbana di Rimini.

Regione Emilia-Romagna, DG Cura del Territorio e Ambiente (2020). Proiezioni climatiche 2021- 2050. Collina Est.

Regione Emilia-Romagna, DG Cura del Territorio e Ambiente (2020). Proiezioni climatiche 2021- 2050. Costa Sud.

Regione Emilia-Romagna, DG Cura del Territorio e Ambiente (2020). Proiezioni climatiche 2021- 2050. Crinale Est.

Regione Emilia-Romagna, DG Cura del Territorio e Ambiente (2020). Proiezioni climatiche 2021- 2050. Pianura Est.

Regione Emilia-Romagna, DG Cura del Territorio e Ambiente (2018). Strategia di mitigazione e adattamento per i cambiamenti climatici della Regione Emilia-Romagna.

Regione Emilia-Romagna, DG Cura del Territorio e Ambiente (2021). Strategia di Gestione Integrata per la Difesa e l'Adattamento della Costa ai cambiamenti climatici (GIDAC). Documento Preliminare - Linee d'indirizzo.

SNPA (2021). Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021.

<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/clima>

<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/clima/dati-e-indicatori/tabelle-climatiche>

<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/siccita/dati-e-indicatori/monitoraggio-siccita>

<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/siccita/dati-e-indicatori/indicatori-di-siccita>

<https://webbook.arpae.it/clima/>

- **TERRE DI CULTURA,**
- **ACCOGLIENZA, CITTÀ,**
- **RESILIENZA.**