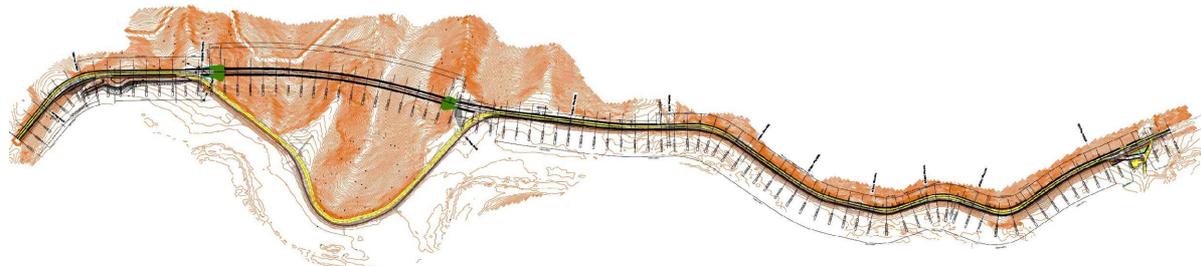


## S.S. 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"

**RETTIFICA DEL TRACCIATO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2 DAL km 41+500 al km 51+500**  
**STRALCIO 1 - LAVORI DI ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2 DAL km 49+300 al km 51+500**



### PROGETTO ESECUTIVO

IMPRESA ESECUTRICE



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gianluca DE PAOLIS

PROGETTAZIONE



IL PROGETTISTA

Ing. Valerio BAJETTI  
Ordine degli Ingegneri della  
provincia di Roma n° A26211  
(Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA  
IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Fabrizio BAJETTI  
Ordine degli Ingegneri della  
provincia di Roma n° 10112  
(Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



PROTOCOLLO

DATA

N. ELABORATO:

**R103**

**R - AMBIENTE**

**R1 - PARTE GENERALE**

**ANALISI DELLA VULNERABILITA' E MISURE  
DI ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI**

CODICE PROGETTO

PROGETTO

PG0374E2201

NOME FILE

R103\_T00IA00AMBRE03\_A.dwg

REVISIONE

SCALA:

CODICE  
ELAB.

T00IA00AMBRE03

A

-----

D

C

B

A

PRIMA EMISSIONE

APRILE  
2024

ING. FABRIZIO  
BAJETTI

ING. GIANCARLO  
TANZI

ING. VALERIO  
BAJETTI

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

## SOMMARIO

1	PREMESSE.....	2
2	INTRODUZIONE.....	3
2.1	La struttura del documento .....	3
2.2	Aspetti generali del fenomeno: mitigazione, adattamento e resilienza per le infrastrutture viarie.....	4
2.3	Obiettivi di sostenibilità .....	6
3	ANALISI DI RISCHIO: CARATTERIZZAZIONE DEGLI HAZARDS E DELLE VULNERABILITÀ AI CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	9
3.1	Definizione della metodologia di analisi.....	9
3.2	Definizione del contesto di analisi: ambito territoriale .....	11
3.3	Evoluzione climatica ed identificazione degli hazards climatici nazionali.....	15
3.3.1	Evoluzione climatica nazionale.....	15
3.3.2	Analisi del clima sul periodo di riferimento (1981-2010).....	21
3.3.3	Variazioni climatiche attese (2036-2065).....	25
3.3.4	Sintesi degli Hazards e valutazione della probabilità.....	31
3.4	Identificazione delle possibili vulnerabilità del contesto territoriale e dell'infrastruttura stradale.....	34
3.4.1	Temperature.....	35
3.4.2	Venti.....	37
3.4.3	Acque.....	37
3.4.4	Massa solida .....	39
3.5	Valutazione del Rischio.....	39
3.5.1	Temperature.....	40
3.5.2	Venti.....	40
3.5.3	Acque.....	41
3.5.4	Massa solida .....	42
3.6	Sintesi dell'incrocio probabilità - vulnerabilità - rischio e strategie progettuali.....	43
4	IDENTIFICAZIONE INTERAZIONI OPERA E CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	46
4.1	Misure di adattamento per aumentare la resilienza climatica dell'opera di progetto .....	46
4.1.1	Misure grigie .....	46
	Protezione del sistema idrico.....	46
4.1.2	Misure verdi .....	47
	Interventi di inserimento paesaggistico - ambientale .....	47

## 1 PREMESSE

Il presente documento rappresenta il Piano Ambientale della Cantierizzazione relativo al progetto esecutivo S.685 "delle tre valli umbre" Rettifica del tracciato e adeguamento alla Sez.Tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500 Stralcio 1 – Lavori di adeguamento alla Se. Tipo C2 dal km 49+300 al km 51+500.

In particolare il documento prende a riferimento gli esiti degli studi e degli approfondimenti eseguiti nella fase di Valutazione di Impatto Ambientale, confermandone gli esiti, non essendo mutati nell'approfondimento progettuale, né gli aspetti relativi alla cantierizzazione né gli aspetti relativi al progetto.

Stante ciò la struttura del documento può essere suddivisa in 3 parti principali:

- La prima parte, costituita dai capitoli 2, 3 e 4 sintetizza i principali aspetti tecnici del progetto e della cantierizzazione;
- La parte seconda, costituita dai capitoli 5 e 6, definisce gli aspetti ambientali e la correlazione tra le azioni di cantiere e la matrici in esame, andando a definire le interazioni cantiere-ambiente;
- La parte terza, costituita dai capitoli 7 ed 8 rappresenta le misure di mitigazione previste, anche in ottemperanza al DM 2024-0000017 nonché i decreti in esso richiamati relativi al Ministero della Cultura ed alla Regione Umbria.

## 2 INTRODUZIONE

### 2.1 LA STRUTTURA DEL DOCUMENTO

Il presente documento è volto ad analizzare le minacce legate ai cambiamenti climatici e determinare le vulnerabilità del progetto del S.S.685 "delle tre valli umbre". Rettifica del tracciato e adeguamento alla Sez.Tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500 - Stralcio 1 – Lavori di adeguamento alla Se. Tipo C2 dal km 49+300 al km 51+500.

Senza voler entrare nel dettaglio delle analisi propriamente legate alla mitigazione degli impatti negativi dovuti al clima ma perseguendo gli obiettivi di sostenibilità finalizzati alla resa adattiva e resiliente dell'opera in esame, gli aspetti trattativi nella presente relazione mirano a valutare i rischi legati alla crisi climatica analizzando le condizioni di maggior vulnerabilità, gli elementi di valore ambientale e le situazioni territoriali che possono essere favorevoli per l'opera, gli esiti della valutazione degli effetti sull'ambiente e il relativo monitoraggio.

Il documento è quindi strutturato in tre parti:

- la prima parte introduttiva legata alla definizione degli obiettivi di Sostenibilità con particolare riferimento agli obiettivi legati all'adattamento ai cambiamenti climatici, nell'ottica di rendere l'infrastruttura maggiormente resiliente;
- la seconda parte è riferita all'analisi di rischio correlata agli hazards climatici, sviluppata anch'essa in tre sottoparti:
  - definizione degli hazards ed analisi probabilistica in relazione alle proiezioni climatiche;
  - definizione delle vulnerabilità agli hazards climatici;
  - definizione del rischio agli hazards climatici;
- la terza parte identifica le misure di adattamento volte alla mitigazione del rischio calcolato nella seconda parte.

## 2.2 ASPETTI GENERALI DEL FENOMENO: MITIGAZIONE, ADATTAMENTO E RESILIENZA PER LE INFRASTRUTTURE VIARIE

È un dato acquisito che il modello di sviluppo della civiltà moderna ha da tempo mostrato i suoi limiti determinando, da un lato, l'impoverimento delle risorse primarie e dall'altro, contribuendo all'inquinamento ambientale ed al cambiamento del clima planetario.

Il manifestarsi di fenomeni climatici sempre più estremi, sono la risposta di un incontrollabile surriscaldamento globale universalmente noto come "greenhouse effect": il fenomeno che consente alle radiazioni solari ad onda corta di attraversare l'atmosfera terrestre impedendo la fuoriuscita di radiazioni a onda più lunga.

Le metropoli, le città e l'insieme delle infrastrutture necessarie, soprattutto se sviluppate secondo modelli tradizionali non rivolti alla sostenibilità, risultano essere fonti significative di emissioni di gas a effetto serra e aree fortemente vulnerabili agli impatti della *climate crisis*.

La città contemporanea e l'insieme delle relazioni complesse che la compongono, è oggi investita da crescenti cambiamenti che, soprattutto considerandone l'effetto cumulativo, stanno compromettendo da un lato gli assetti consolidati delle aree urbane e dall'altro, gli stili di vita delle comunità insediate. I sistemi urbani, infatti, affrontano oggi una serie di eventi estremi che sono effetto, da un lato del fenomeno in atto a scala globale del cambiamento climatico, dall'altro delle intense dinamiche di crescita e concentrazione demografica che rendono i territori più fragili e frammentati.

Gli effetti del cambiamento climatico sono per l'appunto, un prodotto complesso della più alta intensità e frequenza dei fenomeni meteorologici estremi e di una complessiva maggiore vulnerabilità a tali fenomeni dei sistemi territoriali.

Nello specifico, le infrastrutture viarie e gli studi relativi agli impatti climatici che si concentrano sui problemi del trasporto, suggeriscono implicazioni di vasta portata per i trasporti.

È quindi necessario ripensare strategie di adattamento ai rischi legati al clima al fine di rendere resilienti e proteggere tali sistemi infrastrutturali e, dunque, garantirne la continuità dei servizi e delle operazioni da essi svolti.

La resilienza delle infrastrutture autostradali può essere definita come la capacità delle operazioni e del complesso sistema viario, di resistere e riprendersi da disturbi esterni causati dall'attuale variabilità climatica e dai futuri cambiamenti climatici, inclusi eventi a lenta insorgenza ed effetti di maggiore frequenza e intensità di eventi estremi.

Questi effetti sulle infrastrutture stradali dovrebbero verificarsi in tempi variabili e possono essere intermittenti o persistenti. Mentre l'innalzamento del livello del mare e l'aumento della temperatura saranno sperimentati in modo persistente ma graduale – consentendo una pianificazione a lungo termine – si prevede, contrariamente, che le forti precipitazioni o condizioni meteorologiche convettive, si possano verificare con una maggiore frequenza e / o intensità richiedendo, quindi, misure proattive a seconda delle possibili situazioni.

Costruire la resilienza ai cambiamenti climatici mentre si fa fronte a una crescita significativa del traffico è una doppia sfida. Pertanto, queste due questioni non dovrebbero essere affrontate isolatamente, ma in parallelo. In particolare, è importante notare che lo sviluppo della resilienza ai cambiamenti climatici come parte dei continui miglioramenti operativi e infrastrutturali può essere il modo più efficiente ed economico per raggiungere questo obiettivo.

Secondo il progetto in esame, la resilienza climatica è vista come parte integrante di ciò, nel rispetto della sostenibilità ambientale e territoriale.

Nei paragrafi successivi sarà quindi esplicitata detta analisi, evidenziando le vulnerabilità del sistema stradale in relazione agli *hazards* climatici, andando poi ad evidenziare le misure di adattamento previste all'interno del progetto.

## 2.3 OBIETTIVI DI SOSTENIBILITÀ

Nel presente paragrafo saranno mostrate normative e strategie previste per l'adattamento ai cambiamenti climatici. L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile è un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU.

Gli obiettivi definiti dall'Agenda 2030 delle Nazioni Unite sono il frutto di un lungo processo culturale, sociale, economico prima ancora che politico. Lo sviluppo sostenibile, molto prima della sua codificazione attuale e del suo essere diventato riferimento per le priorità di policy per governi e istituzioni varie, va considerato per la sua valenza culturale, come questione centrale da secoli nella convivenza civile, in quanto aspirazione fondamentale, più o meno consapevole, di ogni uomo. Oggi esso rappresenta il più consolidato (e pur sempre in fieri) orizzonte di riferimento unificante, il possibile obiettivo comune, il terreno di dialogo più promettente per chiunque teso al bene, al bene comune, al ben-essere, alla pace, per sé e per tutti.

Gli obiettivi di sviluppo sostenibile sono una serie di 17 obiettivi interconnessi, definiti dall'Organizzazione delle Nazioni Unite come strategia "per ottenere un futuro migliore e più sostenibile per tutti". Sono conosciuti anche come Agenda 2030, dal nome del documento che porta per titolo "Trasformare il nostro mondo. L'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile", che riconosce lo stretto legame tra il benessere umano, la salute dei sistemi naturali e la presenza di sfide comuni per tutti i paesi. Tali obiettivi di sviluppo sostenibile mirano ad affrontare un'ampia gamma di questioni relative allo sviluppo economico e sociale, che includono la povertà, la fame, il diritto alla salute e all'istruzione, l'accesso all'acqua e all'energia, il lavoro, la crescita economica inclusiva e sostenibile, il cambiamento climatico e la tutela dell'ambiente, l'urbanizzazione, i modelli di produzione e consumo, l'uguaglianza sociale e di genere, la giustizia e la pace.

Tra i 17 Goals individuati, in particolare si evidenzia per il progetto in esame il 9 ("Imprese, innovazione e infrastrutture") che mira a costruire un'infrastruttura resiliente, a promuovere l'industrializzazione inclusiva e sostenibile e a sostenere l'innovazione.

Gli obiettivi, enumerati nella Risoluzione delle Nazioni Unite A/RES/70/1 approvata dall'Assemblea generale dell'ONU il 25 settembre 2015, sono complessivamente 169, da raggiungere entro il 2030. Sono stati concordati, a partire dai principi inclusi nella Risoluzione A/RES/66/288, intitolata "Il futuro che vogliamo", un documento non vincolante elaborato dopo la Conferenza delle Nazioni Unite sullo sviluppo sostenibile del 2012, per sostituire gli Obiettivi di sviluppo del Millennio, che avevano come orizzonte temporale il 2015. Mentre questi ultimi si rivolgevano in modo diversificato ai paesi sviluppati e in via di sviluppo, gli obiettivi di sviluppo sostenibile hanno carattere universale e sono fondati sull'integrazione tra le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile (ambientale, sociale ed economico), quale presupposto per eradicare la povertà in tutte le sue forme.

Con l'adozione dell'Agenda 2030 - il cui avanzamento è monitorato dall'*High Level Political Forum* (HLPF) delle Nazioni Unite - è stato espresso un chiaro giudizio sull'insostenibilità dell'attuale modello di sviluppo planetario a favore di una visione integrata dello sviluppo sostenibile, basata su quattro pilastri: Economia, Società, Ambiente e Istituzioni. In questa prospettiva ognuno deve fare la propria parte, sia ai diversi livelli di Governo che nella società: contribuendo allo sforzo per portare il mondo su un cammino di sostenibilità.

Il primo passo per declinare a livello nazionale i principi e gli obiettivi dell'Agenda 2030, con un sistema di scelte strategiche, declinate in obiettivi strategici nazionali, specifici per la realtà italiana, è stato l'approvazione della Strategia Nazionale per lo sviluppo sostenibile (SNSvS), documento di riferimento per tutte politiche settoriali e territoriali in Italia sino al 2030, che trattino di ambiente, di società o di economia.

Come previsto dall'art.34 del decreto legislativo n.152 del 2006, le Regioni, a seguito dell'approvazione della SNSvS sono state chiamate a dotarsi di una complessiva strategia di sviluppo sostenibile che sia coerente e definisca il contributo alla realizzazione degli obiettivi della strategia nazionale, individuando la strumentazione, le priorità, le

azioni che si intendono intraprendere. Tutti i dipartimenti regionali hanno contribuito alla costruzione della Strategia regionale coordinati dal Settore Via e Sviluppo Sostenibile.

Il Gruppo di Lavoro interdipartimentale ha concluso nel 2018 l'analisi del posizionamento della Regione Liguria rispetto all'attuazione degli obiettivi nazionali e di Agenda 2030 (delibera della Giunta regionale n.1061 del 2018) attraverso la mappatura degli strumenti attuativi adottati (riferiti al periodo di programmazione 2014-2020).

Nel dicembre 2018 è stato sottoscritto dalla Regione e dal Ministero dell'Ambiente uno specifico accordo di collaborazione a supporto della costruzione della Strategia Regionale. A seguito di tale accordo la Giunta Regionale ha destinato 182 mila euro ai Centri di Educazione Ambientale e alla Sostenibilità (CEAS) accreditati nel Sistema Regionale, per la realizzazione su tutto il territorio ligure, suddiviso in 12 ambiti, di attività di informazione, animazione territoriale e progettazione partecipata a livello locale, a supporto della costruzione della strategia regionale per lo sviluppo sostenibile.

Con delibera della Giunta regionale n.957 del 15 novembre 2019 sono stati approvati dalla Giunta Regionale gli esiti dei primi contributi dei tavoli di lavoro organizzati dai Cea sul territorio con istituzioni locali e portatori di interesse della società civile; una prima selezione degli obiettivi della SNSvS di interesse regionale e locale; un primo set di indicatori (a partire dai 43 indicatori proposti a livello nazionale, integrati con ulteriori indicatori Istat SDGs/BES e con indicatori di livello regionale); il raccordo con gli obiettivi di missione e di programma del Documento di Economia e Finanza Regionale (Defr) 2020-2022.

Con delibera della Giunta regionale n.217 del 17 marzo 2020 la Giunta regionale ha approvato un protocollo di intesa con Asvis ai fini della collaborazione per la promozione dei principi dell'Agenda 2030 e per la definizione della Strategia Regionale.

Ad aprile 2020 è stato sottoscritto dalla Regione e dal Ministero dell'Ambiente un ulteriore accordo di collaborazione a supporto della attuazione della Strategia Regionale. A seguito di tale accordo la Giunta Regionale ha destinato 180 mila euro ai CEAS accreditati nel Sistema Regionale, per la realizzazione su tutto il territorio ligure, suddiviso nei 12 ambiti, di attività di informazione, ed educazione ambientale e allo sviluppo sostenibile a supporto della attuazione della strategia regionale.

A valle del primo forum regionale per lo sviluppo sostenibile svoltosi il 10 dicembre 2020, la Giunta regionale ha approvato con dgr n.60 del 29 gennaio 2021 la documentazione finale della Strategia regionale per lo sviluppo sostenibile.

Con dgr n.1260 del 30 dicembre 2021 la Giunta regionale ha preso atto altresì delle risultanze dell'attività del gdl interdipartimentale per la programmazione regionale, che a partire dagli obiettivi strategici della SRSVS, attribuiti alle diverse aree di competenza, ha effettuato un raccordo con politiche e strumenti di programmazione sovregionali e regionali, strumenti attuativi regionali e indicatori della SRSVS, dando mandato alle strutture regionali di orientare coerentemente la programmazione generale e settoriale.

In ultimo, in tema di sostenibilità si fa riferimento al Regolamento (UE) 2020/852 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 giugno 2020 relativo all'istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili e recante modifica del regolamento (UE) 2019/2088.

Questo regolamento «tassonomico» sulla sostenibilità di una serie di investimenti finanziari è concepito per contribuire al raggiungimento dei tre obiettivi del piano d'azione, che puntano a<sup>1</sup>:

- riorientare i flussi di capitali verso investimenti sostenibili al fine di realizzare una crescita sostenibile e inclusiva;
- gestire i rischi finanziari derivanti da cambiamenti climatici, catastrofi naturali, degrado ambientale e questioni sociali;
- promuovere la trasparenza e la visione a lungo termine nelle attività finanziarie ed economiche.

All'art. 9 del Regolamento 2020/852 sono definiti gli obiettivi ambientali:

1. mitigazione dei cambiamenti climatici (di cui all'art. 10 del regolamento);
2. l'adattamento ai cambiamenti climatici (di cui all'art. 11 del regolamento);
3. l'uso sostenibile e la protezione delle acque e delle risorse marine (di cui all'art. 12 del regolamento);
4. la transizione verso un'economia circolare (di cui all'art. 13 del regolamento);
5. la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento (di cui all'art. 14 del regolamento);
6. la protezione e il ripristino della biodiversità e degli ecosistemi (di cui all'art. 15 del regolamento).

Sulla base di tali presupposti, la pianificazione sostenibile del progetto in esame tende ad un ripensamento integrato e sistemico dell'opera di progetto inglobata nel territorio in esame per assicurare maggiori benefici per la collettività.

È da qui che le analisi sui possibili scenari climatici, sulle vulnerabilità territoriale e sui rischi relativi, di seguito riportate, tendono ad aprire verso un dibattito più ampio a garanzia della sicurezza, della resilienza e dell'accessibilità dell'opera, del contesto ambientale e della collettività.

---

<sup>1</sup> <https://eur-lex.europa.eu/IT/legal-content/summary/assessing-environmentally-sustainable-investments.html>

### 3 ANALISI DI RISCHIO: CARATTERIZZAZIONE DEGLI HAZARDS E DELLE VULNERABILITÀ AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

#### 3.1 DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA DI ANALISI

Come espresso nei precedenti paragrafi, obiettivo della presente relazione è la definizione dei livelli di rischio associati al fenomeno dei cambiamenti climatici.

A livello teorico-concettuale, il rischio può essere valutato come la produttoria di una probabilità per una vulnerabilità, in relazione ad uno specifico "hazards" o pericolo che si vuole analizzare. Nella logica della presente analisi occorre, in prima istanza definire quali sono gli hazards da considerare, correlati al cambiamento climatico. A tal fine, come meglio espresso nel proseguito della presente trattazione, si è fatto riferimento al Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, il quale fornisce gli scenari evolutivi dei principali parametri meteo-climatici sul territorio nazionale. A valle di detta analisi sono quindi stati definiti gli hazards di riferimento climatico, in relazione alle indicazioni derivanti dalla Tassonomia Europea. Una volta definiti gli Hazards climatici si valuta la probabilità di accadimento di detti hazards sul territorio specifico e parallelamente si valuta la vulnerabilità dell'opera (come caratteristica intrinseca della stessa) a detti Hazards.

Tale processo permette quindi di effettuare una stima qualitativa del Rischio agli Hazards da Cambiamento Climatico a cui è soggetta l'infrastruttura.

Ultimo step dell'analisi è quindi l'individuazione di misure di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici che intervengono al fine di mitigare il rischio, suddivise nelle tre classi, green, grey e soft.

Di seguito si riporta un flow chart della metodologia sopra rappresentata e dettagliata nei paragrafi successivi.

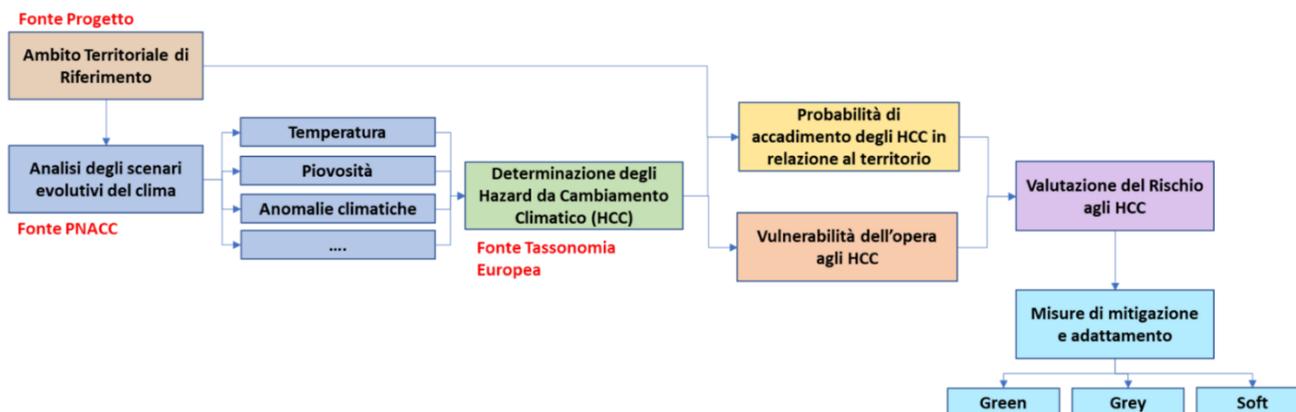


FIGURA 3-1 FLOW CHART METODOLOGICO

La metodologia prevede l'attribuzione quindi dei seguenti livelli di probabilità e della vulnerabilità.

Alto
Medio
Basso

TABELLA 3-1 LIVELLI DI VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ E DELLA VULNERABILITÀ

Per la valutazione del rischio si è fatto riferimento ad una matrice di calcolo che incrocia i dati di vulnerabilità con quelli di probabilità secondo lo schema di cui alla Tabella 3-2.

LEGENDA				
Rischio		Vulnerabilità		
		Basso	Medio	Alto
Probabilità	Basso	Basso	Basso	Intermedio
	Medio	Basso	Intermedio	Elevato
	Alto	Intermedio	Elevato	Molto Elevato

TABELLA 3-2 MATRICE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

In relazione agli interventi previsti per la mitigazione si è scelto di intervenire per quei rischi valutati come elevati e molto elevati, attraverso la definizione di interventi di tipo grey, green e soft, al fine di poter ridurre detto rischio.

### 3.2 DEFINIZIONE DEL CONTESTO DI ANALISI: AMBITO TERRITORIALE

L'area in esame in cui ricade il progetto della "Gronda di Genova" rientra nel territorio della provincia di Genova, come mostrato nella seguente figura.



FIGURA 3-2 COROGRAFIA PROGETTO

Dal punto di vista geologico, l'area in esame è caratterizzata da un'elevata complessità strutturale, essendo collocata in quella che viene tradizionalmente considerata come zona di giustapposizione del dominio orogenico alpino con quello appenninico. In tale contesto, procedendo da ovest verso est, sono riconoscibili tre settori con caratteristiche geologiche e strutturali peculiari:

- il Gruppo di Voltri (unità tettono-metamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella): sono costituite dalle associazioni pre-cenomaniane di ofioli e metasedimenti carbonatici del dominio oceanico ligure-piemontese;
- la Zona Sestri Voltaggio: interessa la dorsale montuosa che costituisce la parte alta del versante in destra idrografica della Val Polcevera fino al Torrente Chiaravagna e comprende Unità Tettonometamorfiche estremamente differenti per litologia e livello di metamorfismo:
  - U.T. del Monte Gazzo, costituita da dolomie e calcari triassici;
  - U.T. Cravasco -Voltaggio, costituita da serpentiniti e scisti filladici;
  - U.T. del M. Figogna, costituita da serpentiniti, metabasiti e argilloscisti, talora con livelli carbonatici e silicoclastici fini.

Il livello del metamorfismo è progressivamente decrescente passando dalle unità carbonatiche triassiche alle serie ofiolitiche delle ultime due unità tettonometamorfiche;

- il Dominio dei Flysch Appenninici: interessa la valle del Torrente Polcevera e comprende una serie di Unità Tettoniche e Tettonometamorfiche assai omogenee dal punto di vista litologico, con un grado di metamorfismo progressivamente decrescente procedendo da Ovest verso Est; le unità in sinistra idrografica del Torrente Polcevera possono essere considerate non metamorfiche. Queste unità si presentano impilate con vergenza da Est verso Ovest, e occupano grossomodo fasce allungate in senso N-S lungo la Val Polcevera.

Il Gruppo di Voltri e la Zona Sestri -Voltaggio, sono separati da un lineamento strutturale diretto NS, noto in bibliografia come "Linea Sestri Voltaggio", alla quale viene fatto corrispondere il limite fisico tra Alpi ed Appennini.

Dal punto di vista dei caratteri geomorfologici il territorio in cui si svilupperà l'opera in progetto è grossolanamente divisibile in 6 settori:

- fascia costiera: la linea di costa lungo il fronte portuale ha subito una progressiva migrazione verso mare ad opera degli interventi di colmata finalizzati ad ampliare l'area industriale. La morfologia della zona risente delle variazioni del livello del mare, che hanno portato alla formazione di terrazzi marini a varie quote, e della presenza dei corsi d'acqua che hanno inciso le rocce alterate e tettonizzate generando valli molto incassate, con versanti ripidi e piccole piane nella zona in cui sfociano in mare;
- Settore a ovest della struttura tettonica "Sestri-Voltaggio": nelle aree più vicine alla costa e nella zona tra il Monte Amandola e Vesima affiorano prevalentemente calcescisti la cui erodibilità determina lo sviluppo di coltri eluvio-colluviali su cui si instaurano diffusi fenomeni erosivi e dissesti, sia attivi che quiescenti (tipo colata o rototraslazione);  
Nella parte alta delle valli, vicino alle testate dei bacini, prevalgono le frane in roccia e le falde di detrito derivanti dal disfacimento dell'ammasso roccioso alterato e fratturato. Diffusi sono i fenomeni erosivi per ruscellamento diffuso e scorrimento superficiale;
- Settore della Dolomia del Monte Gazzo: coincide con l'area di affioramento dell'Unità Morfotettonica Gazzo-Isoverde. Il nucleo dolomitico dell'unità è caratterizzato da un rilievo morfologico significativo, quasi interamente intaccato dalle cave di dolomia.
- Settore tra il Monte Gazzo e la Val Polcevera: il nucleo dolomitico dell'unità è caratterizzato da un rilievo morfologico significativo, quasi interamente intaccato dalle cave di dolomia. Sono presenti alcuni depositi di frana che interessano generalmente le serpentiniti e secondariamente i metabasalti; si tratta sempre di frane a blocchi, talora con caratteristiche di colata se la pendenza del versante è ridotta, probabilmente legate a fenomeni di espansione laterale dovuti all'appoggio sulle facies più laminate e tettonizzate;
- Val Polcevera: dominata dalle successioni di argilloscisti, argilliti ed unità flyschoidi, che determinano morfologie morbide sebbene caratterizzate da versanti ripidi. L'elevato spessore delle coltri di alterazione è facilmente inciso da rii minori e canali di ruscellamento temporaneo; tuttavia, data l'intensa copertura vegetale non si evidenziano testate in arretramento e significativi fenomeni di erosione accelerata;
- Settore ad est del Torrente Polcevera: dominato dalla cresta dei Forti costituita dalla Formazione del Monte Antola che, soprattutto nella parte basale, presenta bancate carbonatiche di discreto rilievo morfologico; queste scarpate hanno generato consistenti falde di detrito.

Nella seguente figura viene mostrato uno stralcio della carta della pericolosità e del rischio idraulico, tratto dalla piattaforma IdroGEO<sup>2</sup> per l'area del progetto, in cui si osserva che, per quanto riguarda le frane, l'area interessata dal progetto ricade in zone a diversa pericolosità che va da P1 – moderata a P3 – elevata. Per le alluvioni, lungo i corsi dei fiumi, il rischio va da basso ad elevato.

<sup>2</sup> <https://idrogeo.isprambiente.it/app/pir?@=44.44212023187754,8.859837528686093,8>

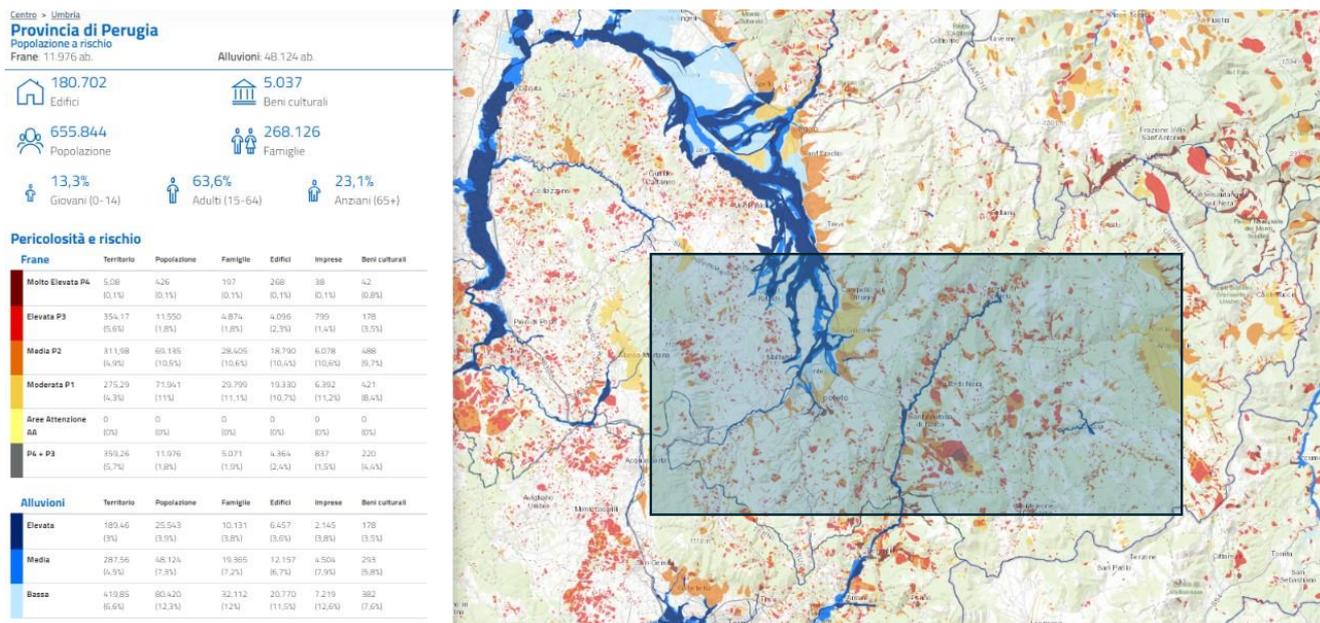


FIGURA 3-3 STRALCIO DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDROGEO

Allo scopo di caratterizzare l'area di interesse anche dal punto di vista meteoroclimatico, è stato preso come riferimento il documento fornito dall'ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia nel 2021 - Anno XVII", redatto a luglio 2022, grazie al quale è stato possibile valutare le temperature e le precipitazioni medie annue registrate nell'anno 2021 relative all'intero territorio nazionale.

Per quanto riguarda il territorio regionale della Regione Umbria, le temperature medie annue registrate si attestano tra i 10 ed i 14 °C e, in particolare, in prossimità dell'area di progetto sono state intorno ai 14 °C, come si osserva in Figura 3-4.

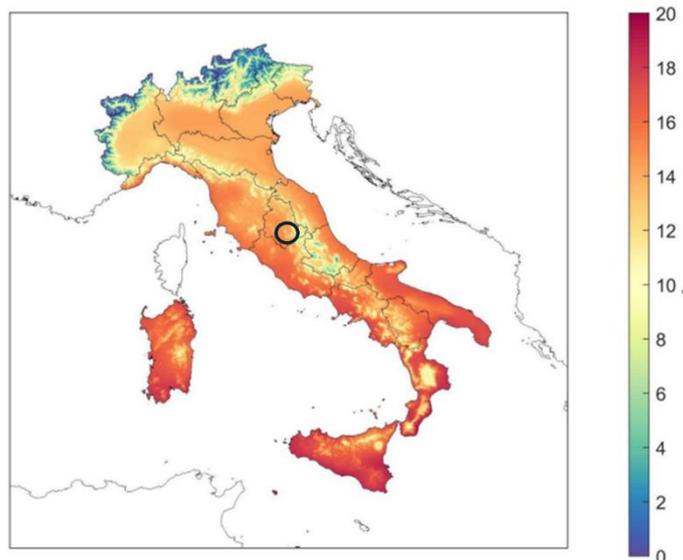


FIGURA 3-4 TEMPERATURA MEDIA ANNUA (FONTE: DOCUMENTO ISPRA "GLI INDICATORI DEL CLIMA IN ITALIA NEL 2021 - ANNO XVII")

La Figura 3-5 mostra la mappa delle precipitazioni cumulate registrate nel 2021; come si può osservare, in Umbria sono stati registrati valori bassi, compresi circa tra 500 e 1500 mm. Per quanto attiene la zona di intervento, i valori delle precipitazioni cumulate sono risultati essere intorno ai 500-1000 mm.

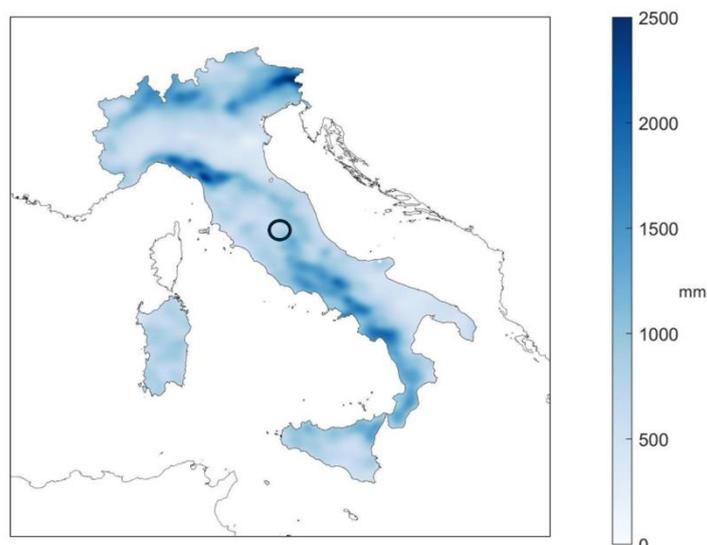


FIGURA 3-5 PRECIPITAZIONE CUMULATA ANNUA (FONTE: DOCUMENTO ISPRA "GLI INDICATORI DEL CLIMA IN ITALIA NEL 2021 – ANNO XVII")

Nella seguente figura, a sinistra, sono mostrate le precipitazioni massime giornaliere registrate nel 2021, ossia il valore massimo delle precipitazioni cumulate su intervalli fissi dalle ore 0 alle ore 24 e non quello su tutti gli intervalli di 24 ore a orario mobile, che può evidentemente essere maggiore. Va inoltre tenuto presente che i valori interpolati sul grigliato regolare e spazializzati su mappa sono generalmente inferiori ai massimi registrati dalle singole stazioni. In particolare, per quanto riguarda la regione Umbria i valori sono compresi tra 0 e 100 mm.

In Figura 3-6 sono rappresentati anche i valori del numero di giorni asciutti, ossia caratterizzati da una precipitazione inferiore a 1 mm. In Umbria tali valori risultano essere maggiori nella parte centrale ed al confine con la Toscana, in cui si raggiungono e superano i 300 giorni, rispetto all'est al confine con le Marche, dove invece sono compresi tra 250 e 300 giorni.

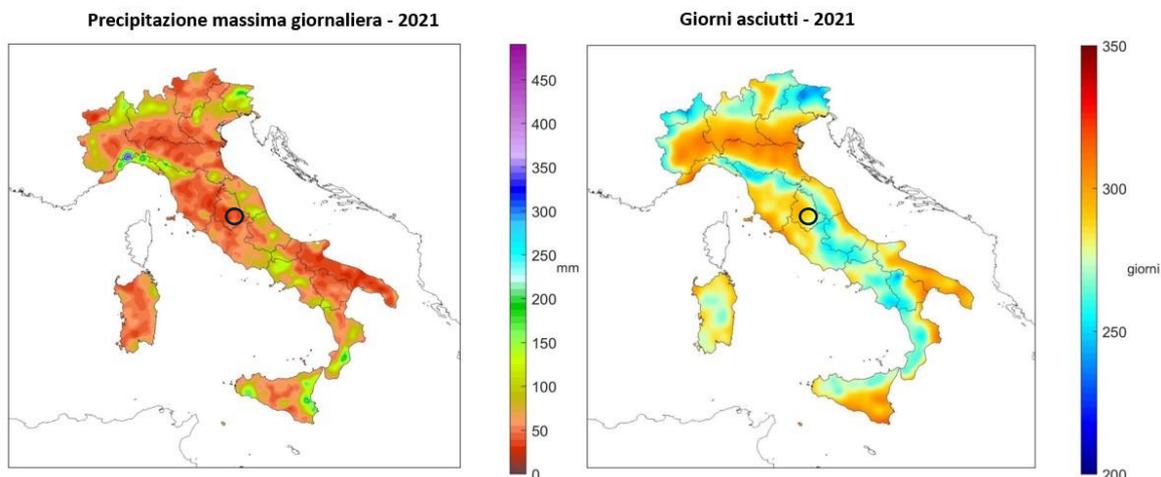


FIGURA 3-6 PRECIPITAZIONE MASSIMA GIORNALIERA E GIORNI ASCIUTTI (FONTE: DOCUMENTO ISPRA "GLI INDICATORI DEL CLIMA IN ITALIA NEL 2021 – ANNO XVII")

### 3.3 EVOLUZIONE CLIMATICA ED IDENTIFICAZIONE DEGLI HAZARDS CLIMATICI NAZIONALI

#### 3.3.1 EVOLUZIONE CLIMATICA NAZIONALE

La presente sezione si avvale degli studi condotti dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica in riferimento all'ultima versione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (gennaio 2023), pubblicata il 16/02/2023.

Tale versione del Piano aggiorna la precedente accogliendo le osservazioni pervenute dalla Sottocommissione VAS, anche tenendo conto delle osservazioni specifiche degli SCA, per la parte relativa allo stato attuale del clima e alle proiezioni climatiche future.

Nello specifico, al fine di supportare la mappatura delle criticità ambientali e delle specificità del contesto a scala regionale e locale con un numero maggiore di informazioni, sono stati considerati 27 indicatori climatici (cfr. Tabella 3-3) messi in relazione con determinati pericoli; in precedenza l'analisi era basata su 10 indicatori.

Inoltre, in considerazione delle osservazioni pervenute relativamente alla non adeguatezza dell'analisi macroregionale, è stata aggiornata l'analisi climatica in modo tale da non prevedere alcun tipo di accorpamento per zone omogenee.

Per le proiezioni future è stato elaborato un quadro climatico basato su un insieme di diversi modelli climatici prodotti dalla comunità scientifica internazionale che ha anche permesso di includere nel documento una valutazione dell'incertezza per i diversi indicatori climatici considerati.

Il quadro climatico nazionale riporta l'analisi del clima sul periodo di riferimento 1981-2010 e le variazioni climatiche attese sul trentennio centrato sull'anno 2050 (2036-2065), rispetto allo stesso periodo 1981-2010, considerando i tre scenari IPCC: RCP8.5 "Business as usual", RCP4.5 "Forte mitigazione", RCP2.6 "Mitigazione aggressiva".

Per il clima sul periodo di riferimento è stato utilizzato il dataset grigliato di osservazioni E-OBS (Cornes et al., 2018<sup>3</sup>; Haylock et al., 2008<sup>4</sup>) versione 25<sup>5</sup> alla risoluzione di circa 12 km, mentre le variazioni climatiche attese sono state ottenute a partire da un insieme di modelli climatici disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX (Hennemuth et al., 2017<sup>6</sup>; Jacob et al., 2020<sup>7</sup>) alla maggior risoluzione disponibile (circa 12 km)<sup>8</sup>. Come riferimento, è stato utilizzato il periodo 1981-2010 in quanto le simulazioni relative allo scenario IPCC "historical experiment" sono disponibili fino al 2005. Per la stima delle variazioni future il periodo di riferimento è stato quindi ottenuto utilizzando le simulazioni "historical experiment" per il periodo 1981-2005, e i dati basati sullo scenario IPCC RCP4.5 per il periodo 2006-2010. Pertanto, anche per l'analisi del clima osservato si è considerato il periodo 1981-2010.

Il cambiamento climatico induce variazioni complesse delle caratteristiche del clima su diverse scale spaziali e temporali, in quanto influenza sia la frequenza, l'intensità, l'estensione spaziale, la durata degli eventi meteorologici estremi, sia fenomeni come l'innalzamento del livello del mare, che interessano scale spazio-temporali più ampie<sup>9</sup>.

<sup>3</sup> Cornes, R.; van der Schrier, G.; van den Besselaar, E.J.M.; Jones, P.D. An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation datasets. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2018, 123, 9391–9409, doi: 10.1029/2017JD028200

<sup>4</sup> Haylock, M.R.; Hofstra, N.; Klein Tank, A.M.G.; Klok, E.J.; Jones, P.D.; New, M. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *J. Geophys. Res. Atm.* 2008, 113, doi: 10.1029/2008jd010201

<sup>5</sup> La versione 25 utilizzata è quella attualmente disponibile sulla piattaforma C3S di Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/insitu-gridded-observations-europe?tab=overview>)

<sup>6</sup> Hennemuth, Tamás Illy, et al. "Guidance for EURO-CORDEX climate projections data use." Version1. 0-2017.08. Retrieved on 6 (2017): 2019.

<sup>7</sup> Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S. et al. Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. *Reg Environ Change* 20, 51 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9>

<sup>8</sup> Tra i diversi modelli disponibili nel programma EURO-CORDEX alla risoluzione di 12 km sono stati selezionati quelli attualmente disponibili per la consultazione sulla piattaforma C3S di Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cordex-domains-single-levels?tab=overview>)

<sup>9</sup> [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3\\_FINAL-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3_FINAL-1.pdf)

Quando tali variazioni delle diverse caratteristiche del clima assumono un'entità tale da poter causare degli impatti negativi sui sistemi ambientali e socioeconomici, vengono tipicamente definiti "pericoli climatici". Pertanto, il pericolo climatico costituisce un elemento fondamentale per lo studio e la valutazione del rischio climatico. In particolare, comprendere le caratteristiche del pericolo climatico (che possono essere controintuitive e complesse) è fondamentale per una corretta e adeguata definizione delle strategie di adattamento<sup>10</sup>.

Nello specifico, per caratterizzare l'evoluzione spaziale e temporale del pericolo climatico, vengono solitamente utilizzati indicatori climatici che descrivono specifici aspetti del clima (sia in termini di valori medi che in termini di estremi) ritenuti rilevanti per lo studio degli impatti di interesse per il territorio nazionale. Tuttavia, è importante rilevare che gli indicatori climatici possono avere un contenuto informativo differente a seconda della dinamica di interesse ma restano un metodo speditivo che non può sostituire l'analisi degli impatti tramite l'adozione di modelli fisicamente basati (EEA 2009<sup>11</sup>; EEA 2018<sup>12</sup>; EEA 2019<sup>13</sup>).

La valutazione dei 27 indicatori climatici considerati (due dei quali relativi all'area marino-costiera, SST e SSH) rappresenta un primo passo per individuare priorità e strategie di intervento a livello di aree geografiche nazionali. Per ciascun indicatore sono state riportate le seguenti informazioni:

- la definizione dell'indicatore climatico;
- le variabili atmosferiche su cui si basa;
- le unità di misura dell'indicatore e della sua variazione;
- la scala temporale su cui l'indicatore è valutato (stagionale/annuale);
- i riferimenti bibliografici da cui è stata derivata la definizione dell'indicatore;
- il pericolo climatico (differenziato dai diversi colori nella tabella sotto) al quale l'indicatore è correlato, sulla base di quanto elaborato da studi analoghi disponibili in letteratura;
- il settore principalmente e potenzialmente interessato dal suddetto pericolo climatico.

Tali indicatori, riportati in Tabella 3-3, sono stati calcolati sia in termini assoluti, come valori medi sul periodo di riferimento (cfr. paragrafo 3.3.2), che in termini di variazione tra il periodo futuro selezionato e quello di riferimento (cfr. paragrafo 3.3.3), utilizzando differenti scenari di concentrazione e molteplici modelli climatici.

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
<b>Temperatura Media (TG):</b> media della temperatura media giornaliera	T	°C	+ - °C	stagionale/ annuale		Aumento delle temperature	
<b>WD: Giorni caldi -secchi -</b> Numero di giorni con temperatura media giornaliera maggiore del 75° percentile della temperatura media giornaliera e con precipitazione giornaliera minore del 25° percentile	T - Prec	giorni	+ - giorni	annuale	ECAD-EU, Beniston 2009	Esempi di impatti attesi dei quali l'indicatore può rappresentare un proxy	Salute, agricoltura

<sup>10</sup> <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>

<sup>11</sup> European Environmental Agency (EEA): Regional Climate Change and Adaptation: The Alps Facing the Challenge of Changing Water Resources. <https://www.eea.europa.eu/publications/alps-climate-change-and-adaptation-2009>, 2009

<sup>12</sup> European Environment Agency (EEA): National climate change vulnerability and risk assessments in Europe, EEA Report No 1/2018. <https://www.eea.europa.eu/publications/national-climate-change-vulnerability-2018>, 2018

<sup>13</sup> European Environment Agency (EEA): Spatial distribution of extreme temperature indicators across Europe, 2019

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
della precipitazione giornaliera.							
<b>WW:</b> Giorni caldi - piovosi - Numero di giorni con temperatura media giornaliera maggiore del 75° percentile della temperatura media giornaliera e con precipitazione giornaliera maggiore del 75° percentile della precipitazione giornaliera.	T - Prec	giorni	+ - giorni	annuale			
<b>HDDs:</b> Gradi giorni di riscaldamento - Somma di 18°C meno la temperatura media giornaliera se la temperatura media giornaliera è minore di 15°C.	T	GG	GG o %	annuale	<a href="https://www.isprambiente.gov.it/files/2018/publicazioni/rapporti/R_277_17_Allegati_RelazioniidelsottogruppoHDD_CD.pdf">https://www.isprambiente.gov.it/files/2018/publicazioni/rapporti/R_277_17_Allegati_RelazioniidelsottogruppoHDD_CD.pdf</a>	Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento	Energia
<b>CDDs:</b> Gradi giorni di raffrescamento - Somma della temperatura media giornaliera meno 21°C se la temperatura media giornaliera è maggiore di 24°C.	T	GG	GG o %	annuale			
<b>PRCPTOT:</b> Precipitazione cumulata nei giorni piovosi (mm) - Cumulata (somma) della precipitazione per i giorni con precipitazione maggiore/uguale a 1 mm.	Prec	mm	%	stagionale/ annuale	ETCCDI	Dissesto geo-idrologico	NOTA: si è ritenuto opportuno non assegnare al dissesto geo-idrologico un settore a se stante. Esso costituisce un pericolo che interessa la maggior parte dei settori, ognuno con diverso grado di esposizione.
<b>R20:</b> Giorni di precipitazioni intense - Numero di giorni con precipitazione superiore a 20 mm.	Prec	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI		
<b>RX1DAY:</b> Valore massimo della precipitazione giornaliera	Prec	mm	%	annuale	ETCCDI		
<b>SDII:</b> Indice di intensità di precipitazione giornaliera - Precipitazione media giornaliera nei giorni di precipitazione maggiore o uguale a 1 mm.	Prec	mm	%	annuale	ETCCDI		
<b>PR99prctile:</b> 99° percentile della precipitazione giornaliera per i giorni con precipitazione maggiore/uguale a 1 mm.	Prec	mm	%	annuale	Kumar et al, 2020		
<b>CDD:</b> Giorni consecutivi secchi - Numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera minore a 1 mm.	Prec	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Siccità	Produzioni agricole, Risorse idriche ed Ecosistemi terrestri

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
<b>SPI3:</b> Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 3 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI3 calcolato per un periodo di accumulo corto (3 mesi), nell'indice SPI3 calcolato per un periodo di accumulo corto (3 mesi).	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sugli impatti immediati, quali quelli relativi alla riduzione di umidità del suolo, del manto nevoso e della portata nei piccoli torrenti.	
<b>SPI6:</b> Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 6 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI6 calcolato per un periodo di accumulo medio (6 mesi).	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e delle capacità negli invasi.	
<b>SPI12</b> Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 12 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI12 calcolato per un periodo di accumulo medio (12 mesi).	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e delle capacità negli invasi.	
<b>SPI24:</b> Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 24 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI24 calcolato per un periodo di accumulo lungo (24 mesi).	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sulla ridotta ricarica degli invasi e sulla disponibilità di acqua nelle falde.	

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
PET: Evapotraspirazione Potenziale (con metodo Thornwaite)	Tmin, Tmax, Tmean	mm	%	annuale	Thornwaite (1948)	Siccità e desertificazione. Fornisce, nell'ambito della stima della risorsa idrica disponibile o potenziale, una valutazione della massima quantità di acqua che passerebbe in atmosfera, attraverso i processi di evaporazione e traspirazione, qualora la quantità di acqua nel terreno non costituisca un fattore limitante. L'evapotraspirazione potenziale è utilizzata per il calcolo di indici climatici come, ad esempio, l'"indice di aridità" (UNEP, United Nations Environment Programme) adottato come indice ufficiale nell'ambito della Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla siccità e alla desertificazione, che sintetizza qualitativamente le caratteristiche climatiche del territorio. L'indice di aridità è definito come il rapporto tra la precipitazione annua e l'evapotraspirazione potenziale: $I_a = P / E_{tp}$ L'evapotraspirazione potenziale è alla base dei modelli per la stima dell'evapotraspirazione reale.	
CSDI: <i>Indice di durata dei periodi di freddo</i> - Numero totale di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore al 10° percentile* della temperatura minima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi.	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Ondate di freddo	Salute, Energia
FD: <i>Giorni con gelo</i> - Numero di giorni con temperatura minima giornaliera inferiore a 0°C.	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI		
WSDI: <i>Indice di durata dei periodi di caldo</i> - Numero totale di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile* della	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Ondate di caldo	Salute, Energia

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
temperatura massima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi.							
<b>FWI:</b> <i>Indice di pericolo incendio</i> (basato su velocità massima del vento, umidità relativa, precipitazione cumulata, temperatura). Tale indice prevede il calcolo di 5 sottoindici: tre sottoindici primari (FFMC, DMC, DC) che rappresentano l'umidità del combustibile; due sottoindici intermedi (ISI, BUI) che rappresentano il tasso di dispersione ed il consumo del combustibile disponibile.	T - Prec - UR - V	-	%	annuale	Van Wagner, 1987	Incendi	Foreste, Ecosistemi terrestri, Insediamenti
<b>EWS:</b> 98° percentile della velocità massima giornaliera del vento.	V	m/s	%	annuale/ stagionale	EEA, 2017	Tempeste di vento	Insediamenti, Foreste
<b>SCD:</b> <i>Durata del manto nevoso</i> - Numero di giorni nella stagione nivale (dal primo novembre di un dato anno al 31 marzo dell'anno successivo) con quantità di neve superficiale giornaliera superiore a 300 mm.	Hn	giorni	+ - giorni	novembre-marzo	Durand et al.2009, Marcolini et al. 2017	Diminuzione/assenza di precipitazione nevosa	Turismo invernale
<b>Humidex5 (giorni):</b> <i>Indice di disagio termico</i> - Misura del calore percepito che risulta dall'effetto combinato dell'umidità e della temperatura - Categoria 5: numero di giorni per anno nel quale l'indice humidex è maggiore di 45°C.	T - UR	giorni	+ - giorni	annuale	Masterson and Richardson 1979	Disagio termico	Salute
<b>SU95p:</b> <i>Giorni estivi</i> - Numeri di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 29.2°C. Tale indicatore è stato definito per il territorio italiano (PNACC 2018).	T	giorni	+ - giorni	annuale	PNACC 2018	Disagio termico	Salute
<b>TR (giorni):</b> <i>Notti tropicali</i> - Numero di giorni con temperatura minima giornaliera superiore a 20°C.	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Disagio termico	Salute
<b>SST:</b> Temperatura superficiale dell'acqua	T	°C	°C			Impatti sulle biocenosi	

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
SSH: Livello del mare	W	m	m				Ecosistemi marini, Turismo estivo, Infrastrutture (porti)

TABELLA 3-3 INDICATORI DI RIFERIMENTO PER IL QUADRO CLIMATICO DEL PNACC (FONTE: PNACC – GENNAIO 2023)

### 3.3.2 ANALISI DEL CLIMA SUL PERIODO DI RIFERIMENTO (1981-2010)

L'analisi del clima sul periodo di riferimento 1981-2010, come anticipato, è stata effettuata utilizzando il dataset osservativo grigliato E-OBS. Tale dataset fornisce dati giornalieri di precipitazione, temperatura e umidità su un grigliato regolare con risoluzione orizzontale di circa 12 km (0,1° x 0,1°) sull'intero territorio nazionale. Sebbene tale dataset sia largamente utilizzato per lo studio delle caratteristiche del clima e sia costantemente aggiornato e migliorato<sup>14</sup> sull'area europea, è importante sottolineare che esso presenta alcune limitazioni dovuta all'accuratezza dell'interpolazione dei dati, che, in particolare risulta ridotta al diminuire della densità del numero di stazioni, come accade nel territorio del sud Italia e in corrispondenza di aree ad orografia complessa.

Tale dataset è stato selezionato in quanto è quello che attualmente rende disponibile il maggior numero di variabili osservate, spazializzate sull'intero territorio nazionale, tuttavia, anche in questo caso è stato possibile valutare solo 22 dei 25 indicatori climatici analizzati per la parte terra, selezionati per lo svolgimento dell'attuale lavoro (cfr. Tabella 3-3).

La Figura 3-7 riporta i valori medi stagionali della temperatura media e della precipitazione cumulata nel trentennio 1981-2010 nella penisola italiana.

Dall'osservazione di tale figura, si può affermare che, in termini di precipitazione totale, nella penisola italiana si registrano i valori più alti durante la stagione autunnale soprattutto in Liguria e Friuli-Venezia Giulia; le aree geografiche del Sud - Italia e le Isole, invece risultano, in particolare nella stagione estiva, le meno piovose.

In particolare, per quanto riguarda il Nord - Ovest Italia, in cui ricade l'area di interesse, si può osservare che la stagione più piovosa risulta essere quella autunnale.

In termini di temperatura media i valori più bassi si registrano, nell'intera penisola, in tutte le stagioni lungo le catene montuose delle Alpi e degli Appennini. La forte differenza orografica è messa in perfetta luce nella stagione estiva dalla distribuzione dei valori della temperatura media.

<sup>14</sup> Descrizione delle migliorie apportate nella configurazione utilizzata nel presente documento rispetto alle versioni precedenti [https://surfobs.climate.copernicus.eu/dataaccess/access\\_eobs.php](https://surfobs.climate.copernicus.eu/dataaccess/access_eobs.php)

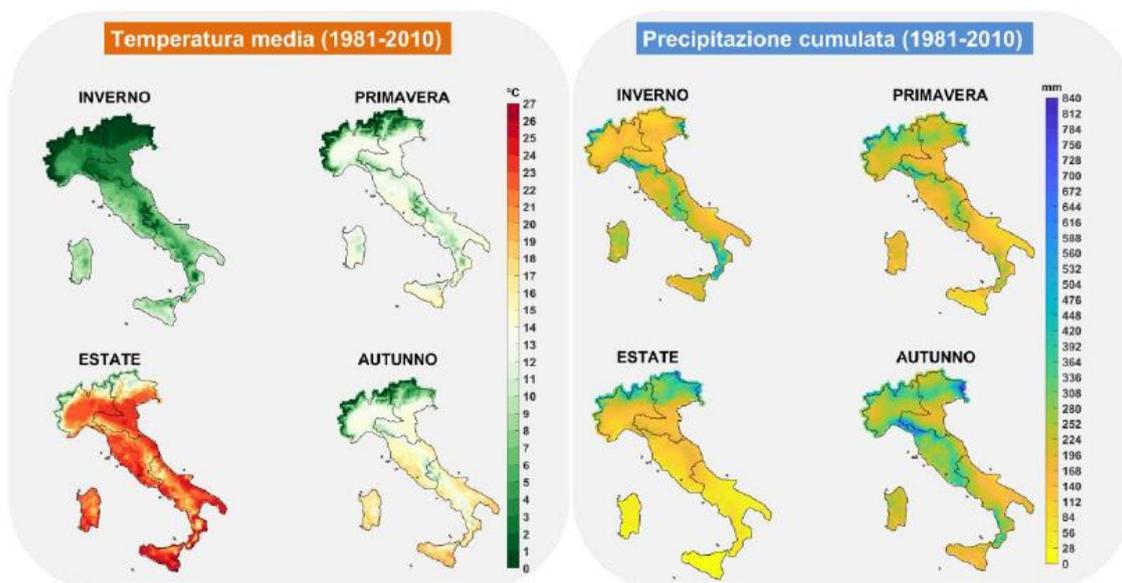


FIGURA 3-7 VALORI MEDI STAGIONALI DELLE TEMPERATURE MEDIE E DELLE PRECIPITAZIONI CUMULATE SU PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 A PARTIRE DAL DATASET GRIGLIATO E-OBS V25. (FONTE: PNACC – GENNAIO 2023)

Oltre a tali valori, sul periodo di riferimento (1981-2010) sono stati calcolati i valori medi annuali/stagionali di diversi indicatori climatici utili a comprendere l'evoluzione di specifici pericoli climatici. A tale scopo, in Figura 3-8 è riportata la distribuzione spaziale, relativamente al periodo di riferimento 1981-2010, per gli indicatori ritenuti più rilevanti anche in relazione alla loro rappresentatività dei pericoli climatici attesi. Per quanto riguarda gli indici di siccità, tali valori sono stati registrati massimi nelle aree a nord-ovest e tendono a diminuire muovendosi verso sud.

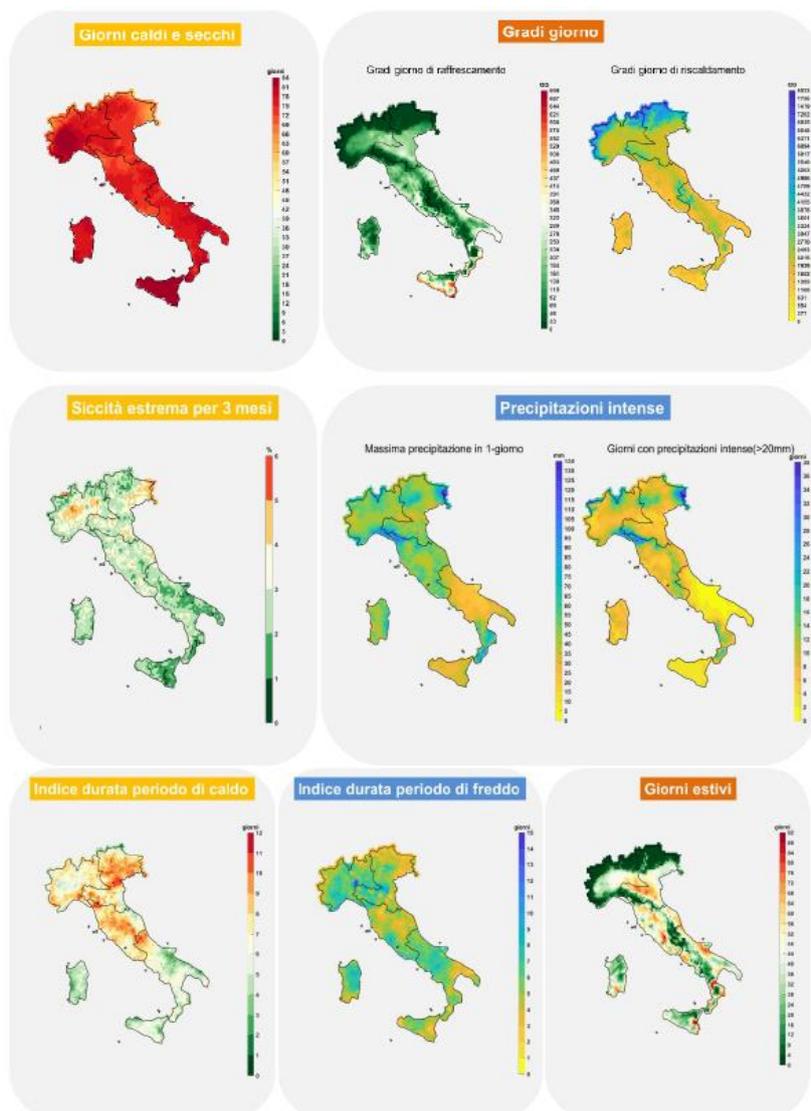


FIGURA 3-8 MAPPE DI ALCUNI DEGLI INDICATORI CLIMATICI ANALIZZATI SUL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 A PARTIRE DAL DATASET GRIGLIATO E-OBS V25 (FONTE: PNACC – GENNAIO 2023)

Infine, in Figura 3-9 e Figura 3-10 sono riportati rispettivamente i valori medi annuali della temperatura media e della precipitazione cumulata e i valori stagionali degli indicatori calcolati (DJF: inverno; MAM: primavera; JJA: estate; SON: autunno), suddivisi per area geografica al fine di valutare i principali impatti di interesse. Inoltre, nelle colonne “+/-DS”, è riportata la deviazione standard, come stima della variabilità spaziale degli indicatori selezionati all’interno dell’area geografica.

	Valori medi stagionali 1981-2010								
	DJF	±DS	MAM	±DS	JJA	±DS	SON	±DS	
Nord-Ovest	1,6	3,6	9,2	5,0	18,6	5,1	10,4	4,2	Temperatura media (°C)
	170	83	249	70	205	94	289	81	Precipitazione cumulata (mm)
Nord-Est	1,1	3,2	9,4	4,5	19,1	4,8	10,6	4,0	Temperatura media (°C)
	160	69	228	64	242	101	293	104	Precipitazione cumulata (mm)
Centro	6,3	2,0	12,4	1,9	22,1	1,9	14,8	2,1	Temperatura media (°C)
	247	75	217	61	118	41	314	87	Precipitazione cumulata (mm)
Sud	6,7	2,5	11,8	2,5	21,9	2,5	15,1	2,5	Temperatura media (°C)
	228	92	157	59	64	31	216	66	Precipitazione cumulata (mm)
Isole	9,2	1,5	13,4	1,8	23,1	1,9	17,3	1,7	Temperatura media (°C)
	216	36	129	46	23	11	194	33	Precipitazione cumulata (mm)

FIGURA 3-9 VALORI MEDI STAGIONALI PER AREE GEOGRAFICHE DI TEMPERATURA MEDIA E PRECIPITAZIONE A PARTIRE DAL DATASET DI OSSERVAZIONE E-OBS (VERSIONE 25) PER IL PERIODO 1981-2010; NELLA COLONNA +/-DS VIENE INVECE RIPORTATA, PER CIASCUN VALORE STAGIONALE, UNA STIMA DELLA VARIABILITÀ SU SCALA AREALE (FONTE: PNACC – GENNAIO 2023)

Considerando l'area di interesse, ossia il Centro Italia, la Figura 3-9 mette in luce che l'autunno è la stagione con accumuli precipitativi maggiori su tale area geografica. In generale, la deviazione standard invece mette bene in mostra la complessità orografica delle diverse aree.

	Nord-ovest		Nord-est		Centro		Sud		Isole	
	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS
TG (°C)	10,0	4,5	10,1	4,1	13,9	2,0	13,9	2,5	15,8	1,7
WD (giorni)	77	5	73	4	74	2	77	2	80	2
WW (giorni)	55	20	52	16	52	10	62	12	62	7
HDDS (GG)	3180	1448	3171	1293	1934	535	1925	669	1384	390
CDDS (GG)	78	81	97	97	157	91	164	128	225	155
PRCPTOT (mm)	912	277	922	288	897	246	667	227	561	121
R20 (giorni)	10	5	11	6	10	5	5	4	5	2
RX1DAY(mm)	50	12	51	15	51	13	35	16	39	10
SDII(mm)	10	2	10	2	10	2	8	2	8	1
PR99PRCTILE(mm)	46	11	46	12	46	11	34	13	39	8
CDD(giorni)	35	7	33	4	37	8	50	11	81	12
SPI3 classe siccità severa (%)	5	1	5	1	5	1	4	1	4	1
SPI3 classe siccità estrema (%)	3	1	3	1	3	1	2	1	2	1
SPI6 classe siccità severa (%)	4	1	5	1	5	1	4	1	5	1
SPI6 classe siccità estrema (%)	2	1	2	1	3	1	2	1	2	1
SPI12 classe siccità severa (%)	5	1	4	1	4	1	3	2	5	2
SPI12 classe siccità estrema (%)	2	1	2	1	3	1	2	1	2	1
SPI24 classe siccità severa (%)	6	2	4	2	4	1	3	2	4	2
SPI24 classe siccità estrema (%)	2	2	2	2	3	2	1	1	1	1
PET(mm)	650	138	658	130	757	68	750	88	806	72
CSDI(giorni)	6	2	5	2	5	1	6	1	5	1
FD(giorni)	93	63	98	56	34	22	23	26	3	7
WSDI(giorni)	7	1	8	2	8	1	6	2	5	1
HUMIDEX(giorni)	4	6	7	9	13	9	9	9	6	8
SU95P(giorni)	23	21	28	24	43	18	37	21	34	17
TR(giorni)	8	8	9	12	9	11	24	21	36	19

FIGURA 3-10 VALORI MEDI ANNUALI PER AREE GEOGRAFICHE DEGLI INDICATORI CALCOLATI A PARTIRE DAL DATASET DI OSSERVAZIONE E-OBS (VERSIONE 25) PER IL PERIODO 1981-2010; NELLA COLONNA +/-DS VIENE INVECE RIPORTATA UNA STIMA DELLA VARIABILITÀ SU SCALA AREALE (TRAMITE IL CALCOLO DELLA DEVIAZIONE STANDARD) (FONTE: PNACC – GENNAIO 2023)

La Figura 3-10 mostra come l'area del centro i valori delle temperature medie (TG) siano poco sotto le massime registrate nelle isole. Anche in termini di precipitazione cumulata nei giorni piovosi (PRCPTOT) risulta essere ad una condizione intermedia rispetto al resto d'Italia.

Per quanto riguarda gli impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento, nel centro Italia, i gradi giorno di riscaldamento (HDDs) risultano essere quasi sempre inferiori rispetto al resto d'Italia, così come i gradi giorno di raffrescamento (CDDs).

Le aree geografiche del centro hanno registrato un numero di giorni consecutivi secchi (CDD) minore in particolare rispetto al Sud e alle Isole, e di poco superiore al Nord-Est e ovest. Un altro indice correlato al pericolo climatico della siccità, oltre al CDD, è l'evapotraspirazione potenziale (PET), che risulta essere tra i più alti.

Infine, per quanto riguarda il settore della salute umana, per il Centro si può fare riferimento anche all'indice rappresentante i giorni di gelo (FD), ossia il numero di giorni con temperatura minima giornaliera inferiore a 0°C, che riguarda anche l'energia, e all'indicatore climatico (TR) che definisce le notti tropicali, ossia il numero di giorni con temperatura minima giornaliera superiore a 20°C. Il primo indice (FD) risulta essere a metà se confrontato alle altre macroaree così come il secondo indice (TR) risulta tra i più bassi.

Inoltre, si può osservare come l'indicatore relativo all'indice di disagio termico (Humidex5), che misura il calore percepito risultante dall'effetto combinato di umidità e temperatura, e l'indicatore relativo al numero di giorni estivi con temperatura massima giornaliera maggiore di 29,2°C (SU95p), risultano essere i maggiori registrati nella macroarea di interesse rispetto al resto d'Italia. Questi ultimi due indicatori sono correlati al pericolo climatico del disagio termico e quindi interessano potenzialmente il settore della salute umana (cfr. Tabella 3-3).

### 3.3.3 VARIAZIONI CLIMATICHE ATTESE (2036-2065)

Di seguito vengono riportate le variazioni climatiche degli indicatori precedentemente identificati per il periodo futuro 2036-2065 (centrato sull'anno 2050), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.

Come già indicato, sono state utilizzate alcune delle simulazioni del programma EURO-CORDEX disponibili in C3S; in particolare per ogni scenario sono stati utilizzati 14 possibili simulazioni climatiche, in accordo con quanto attualmente disponibile sulla piattaforma Copernicus. Questo dataset, largamente utilizzato per la valutazione a scala regionale del cambiamento climatico in Europa (Jacob et al; 2020), include i dati di diversi modelli, frequenze temporali e periodi calcolati secondo il protocollo degli esperimenti CORDEX <sup>15</sup>.

In generale, questi esperimenti consistono in simulazioni con modelli regionali che rappresentano diversi scenari socioeconomici futuri (Jacob et al., 2014<sup>16</sup>; Giorgi e Gutowski, 2015<sup>17</sup>). L'utilizzo di questo insieme di modelli climatici ha permesso di valutare non solo il valore medio (denominato "ensemble mean", media d'insieme, e ritenuto in letteratura il valore più affidabile), ottenuto a partire dai valori dei singoli modelli che rappresentano l'insieme ma anche la dispersione dei singoli modelli intorno a questo valore medio (incertezza). Conoscere tale dispersione è molto importante per una valutazione dell'accordo tra i modelli nella valutazione dell'indicatore e quindi stimarne l'incertezza che origina dal segnale climatico.

Nel seguito, la dispersione verrà quantificata attraverso il calcolo della deviazione standard: in altre parole, per ogni punto del dominio, quanto più è basso il valore di deviazione standard tanto più sarà elevato il grado di accordo tra

---

<sup>15</sup> <https://www.euro-cordex.net/060378/index.php.en>

<sup>16</sup> Jacob, D.; Petersen, J.; Eggert, B.; Alias, A.; Christensen, O.B.; Bouwer, L.M.; Braun, A.; Colette, A.; Deque, M.; Georgievski, G.; et al. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Reg. Environ. Change. 2014, 14, 563–578, doi: 10.1007/s10113-013-0499-2

<sup>17</sup> Giorgi, F.; Gutowski, W.J. Regional dynamical downscaling and the CORDEX initiative. Annu. Rev. Environ. Resour. 2015, 40, 467–490, doi: 10.1146/annurev-environ-102014-021217

i modelli climatici dell'insieme EURO-CORDEX, e viceversa (Von Trentini et al., 2019<sup>18</sup>). Per ciascun indicatore analizzato, dunque, sono state calcolate le variazioni medie attese in futuro, corredate dall'informazione relativa all'incertezza, per ciascuno scenario di emissione considerato.

In particolare, gli scenari IPCC considerati per l'analisi sono:

- RCP8.5 ("Business-as-usual") – crescita delle emissioni ai ritmi attuali. Assume, entro il 2100, concentrazioni atmosferiche di CO<sub>2</sub> triplicate o quadruplicate (840-1120 ppm) rispetto ai livelli preindustriali (280 ppm). Lo scenario RCP 8.5 risulta caratterizzato dal verificarsi di un consumo intensivo di combustibili fossili e dalla mancata adozione di qualsiasi politica di mitigazione con un conseguente innalzamento della temperatura globale pari a +4-5°C rispetto ai livelli preindustriali atteso per la fine del secolo;
- RCP4.5 ("Forte mitigazione") – assumono la messa in atto di alcune iniziative per controllare le emissioni. Sono considerati scenari di stabilizzazione: entro il 2070 le emissioni di CO<sub>2</sub> scendono al di sotto dei livelli attuali (400 ppm) e la concentrazione atmosferica si stabilizza, entro la fine del secolo, a circa il doppio dei livelli preindustriali. In RCP6.0, le emissioni di CO<sub>2</sub> continuano a crescere fino a circa il 2080; le concentrazioni impiegano più tempo a stabilizzarsi e sono circa il 25% superiori rispetto ai valori di RCP4.5;
- RCP2.6 ("Mitigazione aggressiva") – emissioni dimezzate entro il 2050. Assume strategie di mitigazione 'aggressive' per cui le emissioni di gas serra iniziano a diminuire dopo circa un decennio e si avvicinano allo zero più o meno in 60 anni a partire da oggi. Secondo questo scenario è improbabile che si superino i 2°C di aumento della temperatura media globale rispetto ai livelli preindustriali. L'incremento di temperatura coerente con questo scenario è di circa 3 gradi a fine secolo (rispetto ai livelli preindustriali, circa 2°C rispetto ad oggi).

Gli incrementi di temperatura sopra riportati ed associati agli scenari RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP8.5, rappresentano valori di aumento medio a livello mondiale, mentre a livello italiano sono previsti essere leggermente superiori, come si evince dalle elaborazioni proposte in Figura 3-11, che prendono come riferimento il periodo 1976-2005.

Per quanto attiene la temperatura media, entro il 2100 è attesa mediamente sull'area italiana una crescita con valori compresi tra 1° C, secondo lo scenario RCP2.6, e 5°C, secondo lo scenario RCP8.5.

Nella Figura 3-11, è stato utilizzato il test di Mann-Kendall (Kendall,1975)<sup>19</sup>, con un livello di confidenza del 95% per valutare la significatività statistica del trend di crescita dell'anomalia di temperatura calcolata a partire dai modelli EURO-CORDEX. I trend risultano statisticamente significativi per tutti e tre gli scenari IPCC considerati, nella Figura 3-11 i trend statisticamente significativi sono individuati da un asterisco. Le anomalie annuali sono calcolate rispetto al valore medio del periodo di riferimento 1976-2005. La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (media d'insieme), calcolata mediando i valori annuali di tutte le simulazioni considerate per ogni scenario di concentrazione; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo alla media d'insieme la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

---

<sup>18</sup> Von Trentini, F., Leduc, M., and Ludwig, R.: Assessing natural variability in RCM signals: comparison of a multi-model EURO-CORDEX ensemble with a 50-member single model large ensemble, Climate Dynamics, doi: 10.1007/s00382-019-04755-8, 2019

<sup>19</sup> Kendall, M.G. (1975) Rank Correlation Methods. 4th Edition, Charles Griffin, London

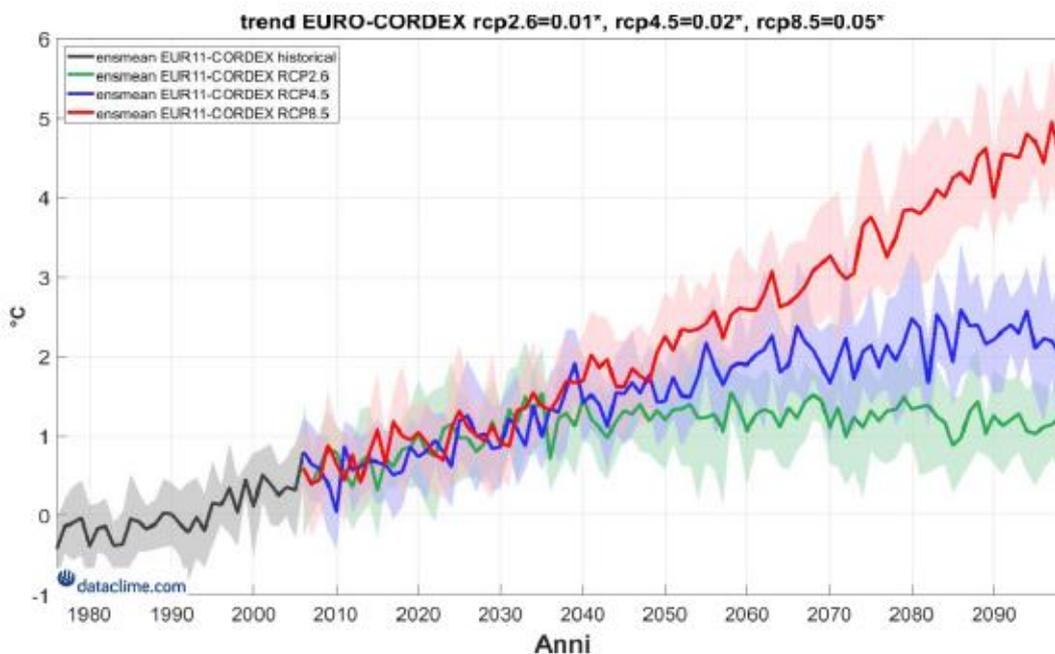


FIGURA 3-11 ANOMALIE ANNUALI DI TEMPERATURA MEDIA (°C) SU SCALA NAZIONALE OTTENUTE A PARTIRE DAI MODELLI EURO-CORDEX, CONSIDERANDO IL PERIODO STORICO (IN GRIGIO) E GLI SCENARI RCP8.5 (IN ROSSO), RCP4.5 (IN BLU) E RCP2.6 (IN VERDE). (FONTE: PNACC – GENNAIO 2023)

La Figura 3-12 riporta le variazioni annuali per la precipitazione totale e la temperatura media su scala annuale, insieme alla stima dell'incertezza. Tale analisi evidenzia un generale aumento delle temperature per tutti gli scenari considerati (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP8.5), più pronunciato considerando lo scenario RCP 8.5, con incrementi superiori ai 2°C.

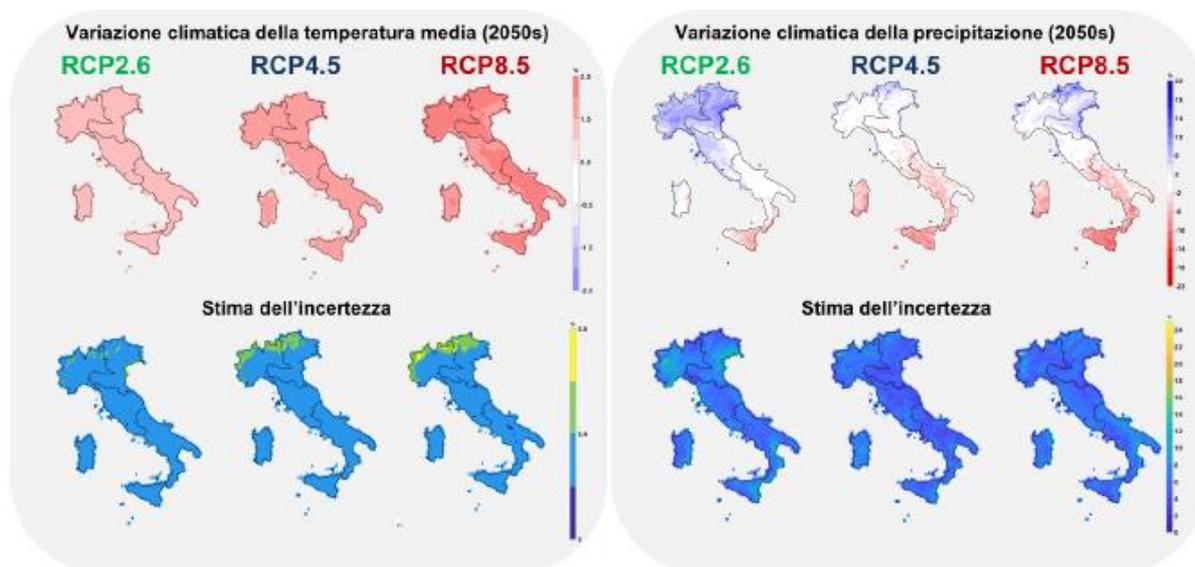


FIGURA 3-12 VARIAZIONI CLIMATICHE ANNUALI DELLE TEMPERATURE MEDIE E DELLE PRECIPITAZIONI CUMULATE MEDIE PER IL PERIODO 2036-2065 (2050s), RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010, PER GLI SCENARI RCP 2.6, RCP 4.5 E RCP8.5. VALORI ESPRESI IN TERMINI DI MEDIA E DEVIAZIONE STANDARD CALCOLATI SULL'INSIEME DELLE PROIEZIONI DEI MODELLI CLIMATICI REGIONALI DISPONIBILI NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA EURO-CORDEX (FONTE: PNACC – GENNAIO 2023)

Per quanto riguarda le precipitazioni, invece, le proiezioni indicano per il Centro Italia, nello scenario RCP2.6, un aumento delle precipitazioni complessive annue, mentre negli altri due scenari la variazione climatica della precipitazione è circa pari a zero.

In generale, la stima delle variazioni di precipitazione, sia in senso spaziale che temporale, è più incerta di quella delle variazioni della temperatura essendo le precipitazioni già soggette a forti variazioni naturali (MATTM, SNACC, Rapporto sullo stato delle conoscenze, 2014). Come mostrato in Figura 3-12, si osserva infatti una maggiore dispersione (espressa in termini di deviazione standard) intorno ai valori medi per le variazioni di precipitazione rispetto a quelle di temperatura. Tali incertezze appaiono particolarmente pronunciate nel nord Italia, secondo lo scenario RCP 2.6.

In Figura 3-13 sono mostrate le variazioni di temperatura media e precipitazione cumulata (media d'insieme) per il periodo centrato su 2050 (2036-2065) rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, su scala stagionale (DJF: inverno; MAM: primavera; JJA: estate; SON: autunno) per le diverse macroaree. Nella seconda riga viene invece riportata una stima dell'incertezza (tramite il calcolo della deviazione standard) per la temperatura media e precipitazione cumulata riportate nella prima riga.

In generale, la stima delle variazioni di precipitazione, sia in senso spaziale che temporale, è più incerta di quella delle variazioni della temperatura essendo le precipitazioni già soggette a forti variazioni naturali (MATTM, SNACC, Rapporto sullo stato delle conoscenze, 2014). Come mostrato nelle seguenti figure, si osserva infatti una maggiore dispersione (espressa in termini di deviazione standard) intorno ai valori medi per le variazioni di precipitazione rispetto a quelle di temperatura.

**Variazione della temperatura media (°C)**

	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5				
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	
Nord-Ovest	1,2	0,9	1,1	1,5	1,8	1,2	1,9	1,8	2,3	1,7	2,3	2,8	Variazione climatica (2050s)
	0,3	0,4	0,3	0,8	0,5	0,4	0,3	0,8	0,4	0,5	0,4	0,9	Stima dell'incertezza (2050s)
Nord-Est	1,2	0,9	1,1	1,4	1,7	1,2	1,9	1,7	2,2	1,7	2,2	2,4	Variazione climatica (2050s)
	0,3	0,4	0,3	0,7	0,4	0,4	0,3	0,7	0,3	0,5	0,4	0,8	Stima dell'incertezza (2050s)
Centro	1,0	0,9	1,2	1,3	1,5	1,1	2,0	1,7	1,9	1,5	2,3	2,3	Variazione climatica (2050s)
	0,3	0,4	0,4	0,7	0,3	0,4	0,3	0,7	0,3	0,4	0,3	0,8	Stima dell'incertezza (2050s)
Sud	1,0	0,9	1,3	1,3	1,5	1,1	2,0	1,6	1,8	1,6	2,3	2,2	Variazione climatica (2050s)
	0,4	0,4	0,4	0,7	0,4	0,4	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3	0,7	Stima dell'incertezza (2050s)
Isole	1,0	0,9	1,2	1,3	1,3	1,1	1,9	1,6	1,7	1,6	2,2	2,2	Variazione climatica (2050s)
	0,3	0,3	0,4	0,7	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3	0,7	Stima dell'incertezza (2050s)

**Variazione della precipitazione cumulata (%)**

	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5				
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	
Nord-Ovest	12,3	3,2	5,9	5,1	14,3	-0,3	-4,8	-2,3	2,5	3,3	-0,9	2,4	Variazione climatica (2050s)
	15	5	7	13	10	4	8	11	12	10	11	9	Stima dell'incertezza (2050s)
Nord-Est	12	4	6	5	10	1	-6	2	5	3	0	6	Variazione climatica (2050s)
	16	5	9	11	8	4	11	10	9	7	12	12	Stima dell'incertezza (2050s)
Centro	9	-1	3	3	5	-2	-14	1	0	-3	-6	4	Variazione climatica (2050s)
	13	4	12	11	7	4	13	10	7	6	12	15	Stima dell'incertezza (2050s)
Sud	3	-2	0	1	0	-3	-15	2	-2	-5	-12	1	Variazione climatica (2050s)
	9	7	16	12	6	5	14	10	9	7	13	9	Stima dell'incertezza (2050s)
Isole	3	-6	7	-1	-2	-7	-14	-3	-7	-8	-13	-2	Variazione climatica (2050s)
	8	7	25	11	5	8	14	9	7	7	16	10	Stima dell'incertezza (2050s)

FIGURA 3-13 VARIAZIONI DI TEMPERATURA MEDIA E DELLA PRECIPITAZIONE CUMULATA (MEDIA D'INSIEME) PER IL PERIODO CENTRATO SU 2050 (2036-2065) RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010, SU SCALA STAGIONALE (FONTE: PNACC – GENNAIO 2023)

In Figura 3-14 sono riportati a titolo esemplificativo alcune delle mappe più rilevanti, in termini di variazione attesa, per gli indicatori considerati.

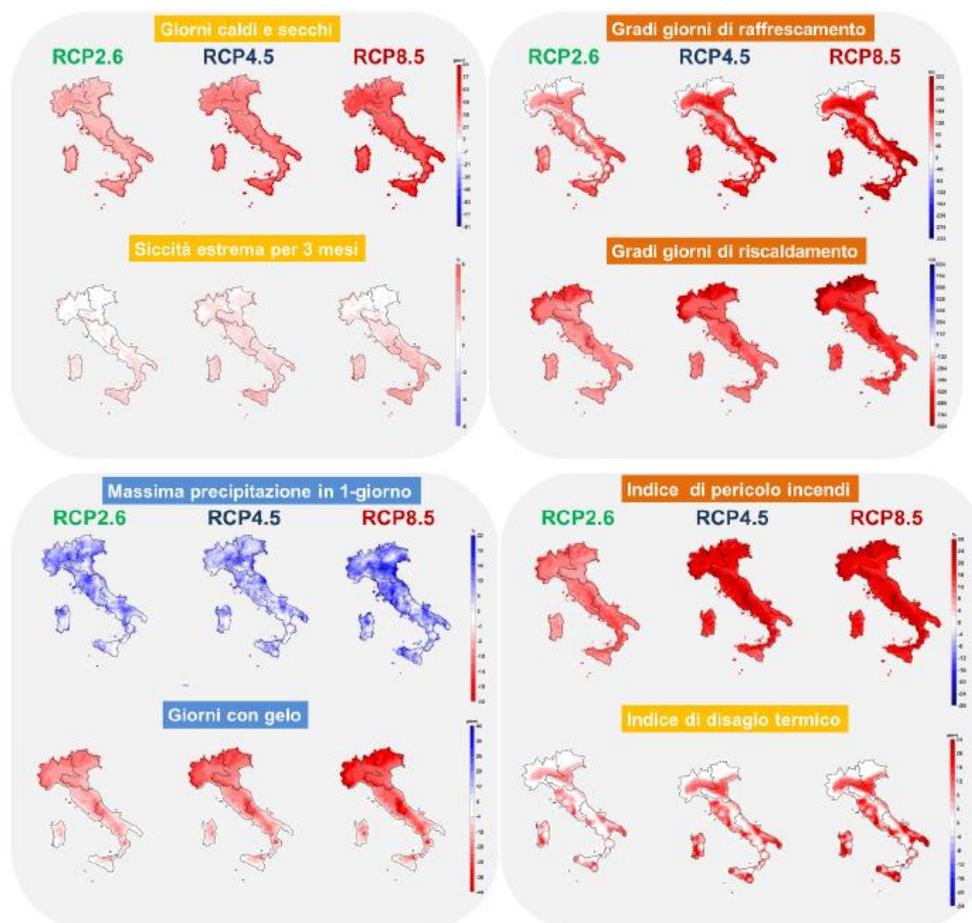


FIGURA 3-14 VARIAZIONI CLIMATICHE ANNUALI (MEDIA D'INSIEME) PER ALCUNI DEGLI INDICATORI CLIMATICI ANALIZZATI PER IL PERIODO 2036-2065 (2050s), RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010, PER GLI SCENARI RCP 2.6, RCP 4.5 E RCP8.5 (FONTE: PNACC – GENNAIO 2023)

In particolare, la Figura 3-15 mostra in maniera sintetica le variazioni attese (valori medi e stima delle incertezze) per l'area geografica di interesse per il progetto in esame, ossia il Centro Italia, per tutti gli indicatori selezionati che sono stati utilizzati per dare informazione sui pericoli climatici di interesse. Nella seconda colonna di ogni tabella viene riportata una stima dell'incertezza (tramite il calcolo della deviazione standard) per gli indicatori riportati nella prima colonna. I colori della tabella sono da interpretarsi in modo qualitativo: colori più intensi indicano variazioni maggiori mentre colori tenui indicano variazioni di intensità minore.

	Centro					
	RCP2.6	±SD RCP2.6	RCP4.5	±SD RCP4.5	RCP8.5	±SD RCP8.5
TG (°C)	1,1	0,3	1,5	0,2	2,0	0,2
WD (giorni)	21	10	32	12	41	15
WW (giorni)	15	6	19	4	24	4
HDDS (GG)	-273	59	-358	51	-475	63
CDDS (GG)	77	50	127	60	157	83
PRCPTOT (%)	3	5	-1	4	0	5
R20 (giorni)	1	1	0	1	1	1
RX1DAY(%)	8	6	7	4	10	6
SDII(%)	4	3	3	2	5	3
PR99PRCTILE(%)	6	4	7	4	10	6
CDD(giorni)	0	2	2	3	1	2
SPI3 classe siccità severa (%)	0	1	0	1	0	1
SPI3 classe siccità estrema (%)	1	1	2	1	2	1
SPI6 classe siccità severa (%)	0	1	0	1	0	1
SPI6 classe siccità estrema (%)	1	2	1	2	2	2
SPI12 classe siccità severa (%)	-1	2	0	2	0	2
SPI12 classe siccità estrema (%)	1	2	2	2	2	2
SPI24 classe siccità severa (%)	0	3	2	3	1	2
SPI24 classe siccità estrema (%)	2	4	3	3	4	5
PET (%)	6	2	8	2	11	2
CSDI(giorni)	-3	1	-3	1	-4	1
FD(giorni)	-10	4	-14	4	-18	6
WSDI(giorni)	20	12	31	12	44	14
HUMIDEX(giorni)	3	3	5	5	6	6
SU95P(giorni)	11	6	18	6	21	9
TR(giorni)	10	6	15	8	19	10
SCD(giorni)	0	0	0	0	0	0
EWS(%)	0	1	0	1	0	1
FWI(%)	9	7	18	5	19	4

FIGURA 3-15 VARIAZIONI CLIMATICHE (MEDIA D'INSIEME) ANNUALI PER L'AREA GEOGRAFICA DEL CENTRO ITALIA, CONSIDERANDO TUTTI GLI INDICATORI CLIMATICI, PER IL PERIODO 2036-2065 (2050s), RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1981-2010 PER GLI SCENARI RCP2.6, RCP4.5 E RCP8.5. (FONTE: PNACC - GENNAIO 2023)

Dall'osservazione della Figura 3-14 e della Figura 3-15, per quanto riguarda gli impatti sulla domanda energetica, si evince una riduzione dei gradi giorno di riscaldamento (HDDs) e un generale aumento dei gradi giorno di raffrescamento (CDDs). Tali variazioni, più marcate considerando lo scenario RCP8.5, potrebbero comportare una ridotta esigenza di energia necessaria per il riscaldamento degli ambienti e un incremento della richiesta di energia per il loro raffrescamento, in particolare nella stagione estiva. Tale trend è influenzato anche dall'aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di caldo, rappresentate dall'indice WSDI.

Si osserva anche una riduzione dei fenomeni di ondata di freddo (indici CSDI e FD) e una riduzione della durata del manto nevoso (SCD), in misura maggiore nello scenario RCP 8.5. Per lo stesso scenario è inoltre atteso un aumento del pericolo incendi (FWI), fino al 19%.

Per quanto riguarda il dissesto geo-idrologico, sono state valutate diverse caratteristiche delle precipitazioni intense e dalle analisi si evince un incremento dell'intensità degli eventi di precipitazione (RX1DAY e PR99prctile). Questo aspetto denota un potenziale aumento del pericolo per fenomeni di frane meteo-indotte e fenomeni di alluvioni che tuttavia necessita di essere studiato con maggior dettaglio locale grazie a modelli di impatto accoppiati con modelli di pericolo.

Per quanto attiene il fenomeno della siccità, esso è stato valutato mediante l'indice SPI (McKee et al. 1993<sup>20</sup>) considerando diverse finestre temporali per i cumuli di precipitazione (3 mesi, 6 mesi, 9 mesi, 12 mesi e 24 mesi). Tale indice, a seconda dell'arco temporale considerato, può fornire indicazioni su impatti immediati, medio e lungo termine. Nella tabella sono state considerate le sole due classi di siccità severa ed estrema (in termini di variazione dell'occorrenza rispetto al periodo climatologico), che, sulla durata di 3-6 mesi hanno impatti prevalentemente agronomici, mentre sulla durata 12-24 mesi hanno impatti di tipo prevalentemente idrologico e socioeconomico. Per tutte le scale temporali considerate, è da attendersi un leggero incremento del numero di episodi di siccità estrema, pari all'1%. Un altro indice correlato alla siccità è l'indice rappresentante l'evapotraspirazione potenziale (PET), per i quali si osserva un aumento, in particolare nello scenario RCP 8.5.

Inoltre, in tutti e tre gli scenari, ma in particolare nell'RCP 8.5, è possibile osservare un aumento della temperatura media (TG) e un aumento del pericolo climatico del disagio termico, correlato agli indicatori climatici: Humidex5, che misura il calore percepito in funzione dell'effetto combinato dell'umidità e della temperatura, SU95p e TR che rappresentano rispettivamente il numero di giorni estivi e il numero di notti tropicali.

Come appena osservato, le variazioni climatiche previste risultano maggiori per lo scenario RCP 8.5, pertanto, per le successive analisi saranno cautelativamente considerati i pericoli climatici correlati alle variazioni climatiche previste da tale scenario per l'area interessata dal progetto in esame, il Nord-Ovest Italia.

### 3.3.4 SINTESI DEGLI HAZARDS E VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ

#### Identificazione degli hazards

Come espresso nella parte metodologica una volta definito lo scenario evolutivo occorre definire gli Hazards rispetto ai quali poter valutare vulnerabilità e successivamente il rischio.

Al fine di potersi riferire ad una nomenclatura comune si è considerato quanto individuato dalla Tassonomia Europea e nello specifico quanto definito dalle procedure per "non arrecare un danno significativo". Tale metodologia, in relazione ai cambiamenti climatici prevede la definizione di alcuni hazards specifici, suddivisi in "Cronici" ed "Acuti".

Detti Hazards sono inoltre suddivisi in 4 macrocategorie:

- temperatura,
- venti,
- acque,
- massa solida.

---

<sup>20</sup> McKee, Thomas B., Nolan J. Doesken, and John Kleist. "The relationship of drought frequency and duration to time scales." Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Vol. 17. No. 22. 1993

CRONICI			
Temperatura	Venti	Acque	Massa solida
Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	Cambiamento del regime dei venti	Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Erosione costiera
Stress termico		Variabilità idrologica o delle precipitazioni	Degradazione del suolo
Variabilità della temperatura		Acidificazione degli oceani	Erosione del suolo
Scongelamento del permafrost		Intrusione salina	Soliflusso
	Innalzamento del livello del mare		
	Stress idrico		

TABELLA 3-4 HAZARDS CLIMATICI CRONICI

ACUTI			
Temperatura	Venti	Acque	Massa solida
Ondata di calore	Ciclone, uragano, tifone	Siccità	Valanga
Ondata freddo / gelata	Tempesta (comprese quelle di neve, polvere o sabbia)	Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Frana
Incendio di incolto	Tromba d'aria	Inondazione (costiera, fluviale, pluviale, di falda)	Subsidenza
		Collasso di laghi glaciali	

TABELLA 3-5 HAZARDS CLIMATICI ACUTI

Partendo da tale suddivisione, la sintesi dell'analisi sugli *hazards* climatici che potranno interessare la porzione territoriale all'interno della quale si sviluppa il progetto oggetto di studio, è riportata nei capitoli successivi.

**Analisi della probabilità di accadimento di Hazards Cronici e Acuti nel contesto territoriale di interesse**

Secondo gli scenari delineati in precedenza nel presente documento, il contesto territoriale di riferimento al progetto in esame è esposto a diverse anomalie climatiche.

Dall'incrocio delle seguenti anomalie è possibile avere una previsione di massima rispetto alle anomalie climatiche, gli *hazards* climatici cronici e/o acuti, di cui al paragrafo precedente.

La sintesi proposta in tabella prende in considerazione la probabilità di esposizione:

- ad un aumento delle ondate di caldo e del disagio termico, e una riduzione delle ondate di freddo e della durata del manto nevoso, correlate ad un aumento della temperatura media,
- ad un aumento del pericolo di incendi;
- ad un aumento dell'intensità degli eventi di precipitazione estremi.

Il risultato dato da questo incrocio è proposto attraverso una differente campitura delle caselle in Tabella 3-7.

Secondo tre livelli di probabilità, come da definizione riportata nel paragrafo 3.1, relativo alla metodologia di analisi, si propone una lettura per colori che al valore alto associa il colore rosso, al valore basso il verde e al valore medio il giallo.

Alto
Medio
Basso

TABELLA 3-6 LIVELLI DI VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ

	Temperatura	Venti	Acque	Massa solida
CRONICI	Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	Cambiamento del regime dei venti	Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Erosione costiera
	Stress termico		Variabilità idrologica o delle precipitazioni	Degradazione del suolo
	Variabilità della temperatura		Acidificazione degli oceani	Erosione del suolo
	Scongelamento del permafrost		Intrusione salina	Soliflusso
	Innalzamento del livello del mare			
			Stress idrico	
ACUTI	Ondata di calore	Ciclone, uragano, tifone	Siccità	Valanga
	Ondata freddo / gelata	Tempesta (comprese quelle di neve, polvere o sabbia)	Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Frana
	Incendio di incolto	Tromba d'aria	Inondazione (costiera, fluviale, pluviale, di falda)	Subsidenza
		Collasso di laghi glaciali		

TABELLA 3-7 INCROCIO DELLE ANOMALIE E SINTESI DEGLI HAZARDS CLIMATICI CRONICI E ACUTI.

### 3.4 IDENTIFICAZIONE DELLE POSSIBILI VULNERABILITÀ DEL CONTESTO TERRITORIALE E DELL'INFRASTRUTTURA STRADALE

I diversi modelli climatici, assieme agli studi condotti dall'IPCC, sono concordi nel valutare un aumento della temperatura terrestre fino al 2° C nel periodo futuro 2036-2065, centrato sul 2050, rispetto al periodo di riferimento 1981 -2010.

Tra i principali risultati evidenziati dalle analisi delle proiezioni climatiche future vi è un aumento delle ondate di caldo e una riduzione delle ondate di freddo, legato all'aumento della temperatura media, e un aumento dell'intensità e della frequenza degli eventi di precipitazione estremi.

Tenuto conto dei possibili scenari di cambiamento climatico e considerando le differenti vulnerabilità a cui l'infrastruttura di progetto può essere esposta, si esemplificano di seguito le fragilità a cui il complesso infrastrutturale potrebbe essere esposto a seconda del verificarsi di eventi calamitosi indotti dal cambiamento climatico.

Aumento delle ondate di calore e delle temperature medie:

- mette alla prova i mezzi con motori termici ed esalta i consumi energetici dovuti alle diverse azioni di raffrescamento (auto, mezzi pubblici, ecc.);
- le sedi stradali, o le parti asfaltate, possono essere sottoposte a cicli di surriscaldamento tali da degradarne le caratteristiche tecniche e funzionali, e in termini di deformazione, con conseguenze sulla capacità di carico e sulla durata dell'opera stessa;
- eccessivo surriscaldamento delle componenti di segnalamento e di telecomunicazione che potrebbe ridurre l'affidabilità e generare malfunzionamenti (Ferranti et al., 2016);
- particolarmente significativi potrebbero risultare gli incrementi degli spostamenti richiesti ai dispositivi mobili di vincolo e ai giunti di dilatazione dei ponti stradali e ferroviari; ne possono derivare riduzioni inaccettabili del comfort di marcia o la percolazione di acque aggressive, quali quelle ricche di sali antigelo, provenienti dall'impalcato, con esaltazione dei fenomeni di degrado. Tali impatti fisici si traducono in conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali danneggiate e in una possibile riduzione di operatività<sup>21</sup>.

Aumento del pericolo di incendi:

- la propagazione di incendi in prossimità delle infrastrutture terrestri generalmente causa una temporanea chiusura delle strade. In presenza di eventi particolarmente severi, il calore sprigionato da un incendio può compromettere parti dell'infrastruttura interessata (es., danni materiali a ponti stradali) e causare guasti ai sistemi di controllo e di monitoraggio o danneggiare la segnaletica stradale aumentando i costi di manutenzione necessari per gli interventi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite (Fraser et al., 2020).

Eventi estremi di precipitazione, che possono comportare:

- tramite l'azione dell'acqua piovana, l'erosione idrica del suolo, ossia la perdita dello strato superficiale del suolo, che causerebbe una riduzione o una perdita delle proprietà meccaniche del suolo, e di conseguenza eventuali cedimenti differenziali del suolo, che possono comportare danni strutturali all'opera stessa;

<sup>21</sup> [https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-02/Rapporto\\_Carraro\\_Mims.pdf](https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-02/Rapporto_Carraro_Mims.pdf)

- un maggiore rischio di alluvioni e in conseguenza l'allagamento temporaneo delle sedi stradali e/o il loro danneggiamento dovuto allo scorrimento delle acque e il malfunzionamento/collasso dei sistemi di drenaggio (Nemry & Demirel, 2012; UNECE, 2020);
- un maggiore rischio di frane, che a causa di fango, detriti e massi che possono invadere le sedi stradali, possono comportare l'interruzione della circolazione. In presenza di eventi particolarmente severi, le frane possono generare danni a varie componenti dell'infrastruttura o addirittura distruggerle come nel caso del crollo di ponti e viadotti (OECD, 2016)<sup>22</sup>.

Si osserva tuttavia, che le opere stradali potrebbero beneficiare di una riduzione delle ondate di freddo, correlate alla riduzione dei giorni di gelo, in quanto si ridurrebbe il rischio di danneggiamenti delle infrastrutture.

La panoramica qui sopra, evidenzia l'ampia variabilità dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici sull'infrastruttura viaria, che potrebbero influenzare una gamma molto diversificata di operazioni, nonché le loro elevate specificità locali. Pertanto, le azioni volte a migliorare la capacità di adattamento (ovvero comprendere i problemi, valutare i problemi, selezionare e attuare misure di adattamento, comunicazione e coinvolgimento degli stakeholder) necessitano di un approccio locale.

Rispetto alle anomalie climatiche analizzate e sintetizzate nel precedente paragrafo, si definiscono di seguito le probabili vulnerabilità climatiche a cui il contesto territoriale e il progetto in esame essere esposte. In tal senso si propone un'analisi incrociata tra anomalie climatiche a cui l'area potrà essere esposta in maniera elevata (rosso) e media (arancione) e impatti potenziali relativi alle variazioni: (i) di temperature; (ii) di ventosità; (iii) di acque; (iv) di degrado del suolo. Tali valutazioni sono state svolte per delineare in fase successiva, una più coerente analisi del rischio.

### 3.4.1 TEMPERATURE

L'aumento delle temperature estive interessa nello specifico il sistema infrastrutturale viario, per il quale la resistenza dei materiali e della struttura è vulnerabile alla temperatura. In particolare, il fenomeno si manifesta sulle superfici stradali asfaltate importanti.

La presenza di superfici asfaltate inoltre accentua il surriscaldamento della superficie stessa e dell'ambiente circostante come evidenziato dagli studi legati all'isola di calore urbana.

In generale gli effetti dell'aumento della temperatura possono indurre una modificazione delle caratteristiche funzionali delle pavimentazioni e determinarne quindi:

- un degrado accelerato nel tempo, che richiede interventi manutentivi più importanti o ravvicinati;
- una riduzione della sicurezza nell'uso della struttura, ad esempio, per variazione del rapporto di aderenza tra la superficie pavimentata e la ruota.

Di contro la diminuzione delle ondate di freddo e del numero dei giorni di gelo costituisce un potenziale impatto positivo sul sistema dei trasporti, in quanto comporta:

- una riduzione del rischio delle gelate e del conseguente danno della superficie asfaltata;
- una riduzione della necessità di manutenzione della struttura;
- una riduzione degli interventi di applicazione di sistemi antigelo.

Ulteriori benefici da valutare rispetto alla riduzione dei giorni di freddo (gelo) sono:

---

<sup>22</sup> [https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-02/Rapporto\\_Carraro\\_Mims.pdf](https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-02/Rapporto_Carraro_Mims.pdf)

- riduzione degli interventi di rimozione della neve;
- riduzione degli interventi di applicazione sistemi antigelo.

La stima della vulnerabilità ai diversi Hazards è riportata nella tabella seguente.

Temperatura	
Hazard climatico	Vulnerabilità dell'opera
Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	-
Stress termico	Effetti sui conglomerati bituminosi e cementizi e sulle strutture metalliche; maggiori ammaloramenti e minore durabilità delle pavimentazioni e delle strutture
Variabilità della temperatura	
Ondata di calore	
Incendio di incolto	Possibili disagi per chiusura tratto stradale; danni all'opera a causa del calore elevato

TABELLA 3-8 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'INFRASTRUTTURA AGLI HAZARDS CLIMATICI

### 3.4.2 VENTI

In merito agli impatti potenziali relativi all'aumento dei valori estremi di ventosità e loro frequenza è possibile individuare alcuni elementi infrastrutturali vulnerabili a detti fenomeni come, ad esempio, la segnaletica verticale che può subire danni e, se divelta, costituire essa stessa un pericolo.

A seguito di forti raffiche di vento le carreggiate stradali possono essere temporaneamente inutilizzabili per la presenza di rami e alberi caduti o di detriti trasportati dal vento. Inoltre, in presenza di venti particolarmente forti si possono registrare danni strutturali alle componenti dell'infrastruttura stradale in seguito all'impatto diretto con detriti trasportati dal vento o alla pressione esercitata dallo stesso (es., danni a ponti e viadotti strallati, agli stabilimenti)<sup>23</sup>.

Per quanto riguarda l'operatività la vulnerabilità dell'infrastruttura è si può esprimere:

- nella movimentazione delle merci (container);
- nell'aumentato rischio per la guida in particolare per i mezzi pesanti.

Sempre in relazione agli hazard relativi al vento un elevata vulnerabilità dell'infrastruttura è alle tempeste, le quali rappresentano un hazard trasversale con la tematica acque a cui si rimanda.

Venti	
Hazard climatico	Vulnerabilità dell'opera
Tempesta (comprese quelle di neve, polvere o sabbia)	Possibili allagamenti del tratto stradale, riduzione dell'aderenza con riduzione della sicurezza nella circolazione
Tromba d'aria	Possibili danneggiamenti alla segnaletica ed altri elementi dell'infrastruttura quali barriere acustiche, velette di copertura, ecc.

TABELLA 3-9 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ AGLI HAZARDS RELATIVI AI VENTI

### 3.4.3 ACQUE

La gestione delle acque pluviali sulle superfici impermeabilizzate viene considerata un problema strutturale in quanto la relativa soluzione va affrontata adeguando l'infrastruttura o il relativo progetto, prevedendo sistemi di raccolto più capienti ed efficaci, valutando geometrie materiali e tecnologie utili a contenere gli allagamenti delle sedi pavimentate. L'allagamento permanente di tratte stradali, anche se più direttamente impattante sull'operatività che sulla struttura, richiede una soluzione strutturale, sia essa di contenimento che di modifica dell'esistente.

Il rischio maggiore, collegato agli eventi piovosi estremi e in generale all'aumento delle precipitazioni, è di natura indiretta: alterazioni del territorio quali frane e cedimenti che interessino le infrastrutture di trasporto.

Tale aspetto è particolarmente rilevante in alcune zone del territorio nazionale, ma richiede una trattazione concertata con il settore relativo alla gestione del territorio e la difesa del suolo. Gli impatti diretti dell'aumento degli eventi estremi delle precipitazioni sulle infrastrutture di trasporto sono:

- l'erosione alla base dei ponti o delle strutture di trasporto;
- il cedimento di argini e terrapieni per erosione;
- il danneggiamento delle superfici asfaltate per allagamento o erosione dovuto allo scorrimento delle acque (in particolare l'erosione accentua danni o imperfezioni preesistenti);

<sup>23</sup> [https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-02/Rapporto\\_Carraro\\_Mims.pdf](https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-02/Rapporto_Carraro_Mims.pdf)

- il drenaggio e la gestione delle acque pluviali raccolte su ampie superfici impermeabilizzate quali strade a più corsie.

A livello di operatività gli impatti principali che si manifestano sono:

- l'aumentato rischio nella circolazione veicolare per pavimentazioni bagnate (riduzione dell'aderenza e della visibilità);
- la sospensione dell'operatività per allagamento infrastrutturale;
- la rimessa in funzione degli stessi sistemi richiede inoltre interventi straordinari di manutenzione e pulizia dei residui lasciati dall'allagamento.

Inoltre, per quanto riguarda l'opera a mare, in quanto soggetta a eventi meteomarinari, è da tenere in considerazione l'innalzamento del livello medio del mare e l'incremento della frequenza degli eventi estremi, in quanto possono comportare impatti sul sistema fisico costiero, quali l'inondazione temporanea dovuta alle tempeste e l'erosione costiera, per la quale si rimanda alla tematica massa solida.

A seguito delle analisi condotte, la vulnerabilità del progetto in esame è mostrata in Tabella 3-10.

Acque	
Hazard climatico	Vulnerabilità dell'opera
Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo, possibili allagamenti, malfunzionamenti dei sistemi di drenaggio delle acque e danni a ponti, viadotti e tombini in caso di alluvione
Variabilità idrologica o delle precipitazioni	
Innalzamento del livello del mare	Possibile allagamento/erosione dell'opera a mare
Stress idrico	Possibili malfunzionamenti dei sistemi di trattamento delle acque. Maggiore manutenzione delle aree verdi
Siccità	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo
Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo, possibili allagamenti, malfunzionamenti dei sistemi di drenaggio delle acque e danni a ponti, viadotti e tombini in caso di alluvione
Inondazione (costiera, fluviale, pluviale, di falda)	Possibili allagamenti e danni alle opere

TABELLA 3-10 VULNERABILITÀ LEGATA AGLI HAZARD RELATIVI ALLE ACQUE

### 3.4.4 MASSA SOLIDA

Le variazioni climatiche relative alla categoria Massa solida influiscono sulle proprietà meccaniche del terreno, con conseguenti cedimenti del terreno ed eventuali frane, e quindi potrebbero causare danni a mezzi stradali e all'infrastruttura stessa.

La vulnerabilità delle caratteristiche della struttura stradale per cedimento del suolo, e il relativo conseguente impatto sulla funzionalità del sistema, vanno trattati coerentemente all'impatto originale ovvero all'interno degli aspetti di difesa del suolo al fine di prevedere, evitare e contenere i cedimenti infrastrutturali.

Massa solida	
Hazard climatico	Vulnerabilità dell'opera
Erosione costiera	Possibile danneggiamento dell'opera a mare
Degradazione del suolo	Possibile riduzione o perdita delle proprietà meccaniche del suolo e conseguenti cedimenti e danni strutturali dell'opera. Riduzione della qualità dei suoli per le opere a verde
Erosione del suolo	Possibili fenomeni di danneggiamento e/o scalzamento di rilevati ed opera d'arte
Frana	Danni a mezzi stradali e all'infrastruttura

TABELLA 3-11 VULNERABILITÀ LEGATA AGLI HAZARDS RELATIVI ALLA MASSA SOLIDA

### 3.5 VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Il settore dei trasporti è fondamentale per il funzionamento della società, poiché garantisce lo spostamento di persone, beni e servizi. I cambiamenti climatici avranno molti effetti su questo settore: le infrastrutture subiranno danni e conseguentemente la gestione dei sistemi di trasporto e la domanda di movimento saranno influenzate dal clima che cambia. Il legame tra i cambiamenti climatici e il settore dei trasporti può essere distinto in tre diversi aspetti di sensibilità: le infrastrutture, le operazioni di trasporto e la domanda di trasporto (Song, 2020)<sup>24</sup>.

Nel quadro generale relativo alle opere di progetto, si sollecita un cambiamento in relazione a tre tipi di fenomeni climatici che influenzeranno tali opere:

1. l'aumento delle ondate di calore e delle temperature, che comportano una maggiore vulnerabilità delle infrastrutture stradali;
2. l'aumento del pericolo di incendi, i quali possono compromettere l'infrastruttura;
3. l'aumento degli eventi estremi di precipitazione, che influenza negativamente la stabilità dei terreni e di conseguenza delle infrastrutture localizzate in contesti instabili e che porta al rischio di allagamento delle sezioni stradali e alle frane.

<sup>24</sup> The Potential Impacts of Climate Change on Transportation Systems. CICTP 2020: Transportation Evolution Impacting Future Mobility - Selected Papers from the 20th COTA International Conference of Transportation Professionals, 4609–4619. <https://doi.org/10.1061/9780784483053.383>

Di seguito si propone la valutazione dei possibili rischi a cui il contesto territoriale che ingloba l'infrastruttura viaria oggetto di potenziamento potrebbe essere esposta. L'analisi propone una lettura degli *hazards* climatici vs vulnerabilità per l'individuazione di quattro gradi di rischio ai quali vengono associati quattro colori rispettivi.

Molto elevato
Elevato
Intermedio
Basso

TABELLA 3-12 LIVELLI DI RISCHIO

### 3.5.1 TEMPERATURE

Dall'incrocio tra *hazards* climatici e vulnerabilità si evidenziano dei rischi che vanno da intermedio ad elevato in relazione agli hazard climatici per la temperatura.

In particolare, maggiormente critici risultano i fenomeni correlati allo stress termico e all'ondata di calore, in quanto possono comportare una modifica delle caratteristiche funzionali delle pavimentazioni fino a determinarne un degrado accelerato nel tempo.

Temperatura	
Hazard climatico	Rischio dell'opera
Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	Basso
Stress termico	Elevato
Variabilità della temperatura	Intermedio
Ondata di calore	Elevato
Incendio di incolto	Intermedio

TABELLA 3-13 INDIVIDUAZIONE DEL GRADO DI RISCHIO IN RELAZIONE AGLI HAZARD DELLE TEMPERATURE

### 3.5.2 VENTI

In merito ai rischi correlati agli Hazards relativi ai venti la situazione maggiormente rischiosa è correlata agli Hazard tempesta i quali, potranno verificarsi con una probabilità maggiormente elevata e rispetto ai quali l'infrastruttura viaria è maggiormente vulnerabile, in quanto unisce criticità relative agli aspetti ventosi ed alle precipitazioni.

Venti	
Hazard climatico	Rischio dell'opera
Tempesta (comprese quelle di neve, polvere o sabbia)	Molto elevato
Tromba d'aria	Intermedio

TABELLA 3-14 INDIVIDUAZIONE DEL GRADO DI RISCHIO DEGLI HAZARDS RELATIVI AI VENTI

### 3.5.3 ACQUE

Secondo un cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni e data la variabilità idrogeologica, i rischi rispetto agli hazards correlati alle acque variano da molto elevato a intermedio.

In particolare, risultano elevati e molto elevati i rischi correlati ai cambiamenti dei regimi idrologici e alla variabilità idrologica e alle forti precipitazioni, in relazione sia alla probabilità di accadimento sia in relazione alla vulnerabilità dell'infrastruttura stessa, stante le numerose superfici pavimentate e la presenza di opere d'arte che possono presentare vulnerabilità elevate.

In relazione agli altri hazards la vulnerabilità risulta intermedia e conseguentemente il rischio assume valori più contenuti.

Acque	
Hazard climatico	Rischio dell'opera
Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Molto elevato
Variabilità idrologica o delle precipitazioni	
Innalzamento del livello del mare	Intermedio
Stress idrico	
Siccità	
Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Elevato
Inondazione (costiera, fluviale, pluviale, di falda)	Intermedio

TABELLA 3-15 INDIVIDUAZIONE DEL GRADO DI RISCHIO DEGLI HAZARDS RELATIVI ALLE ACQUE

### 3.5.4 MASSA SOLIDA

In merito ai rischi correlati alla massa solida, in considerazione anche del contesto territoriale in cui si inserisce l'opera e della tipologia di opere d'arte/infrastruttura stradale in progetto i rischi sono mostrati nella seguente tabella.

In particolare, i rischi correlati alla degradazione e all'erosione del suolo, in considerazione della vulnerabilità dell'opera di progetto risultano essere intermedi. Per quanto riguarda le frane, invece, il rischio risulta essere maggiore.

Massa solida	
Hazard climatico	Rischio dell'opera
Erosione costiera	Intermedio
Degradazione del suolo	
Erosione del suolo	
Frana	Molto elevato

TABELLA 3-16 INDIVIDUAZIONE DEL GRADO DI RISCHIO DEGLI HAZARDS PER MASSA SOLIDA

### 3.6 SINTESI DELL'INCROCIO PROBABILITÀ – VULNERABILITÀ – RISCHIO E STRATEGIE PROGETTUALI

Alla luce delle analisi effettuate si riporta un quadro di sintesi della probabilità di accadimenti di eventi calamitosi derivanti dagli hazard climatici e dalle vulnerabilità del progetto in esame con conseguente rischio di esposizione. Rispetto ai rischi valutati come elevati e molto elevati, allo scopo di ridurli, sono stati previsti degli interventi di adattamento, descritti successivamente.

Temperatura		
Hazard climatico	Vulnerabilità dell'opera	Rischio dell'opera
Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	-	Basso
Stress termico	Effetti sui conglomerati bituminosi e cementizi e sulle strutture metalliche; maggiori ammaloramenti e minore durabilità delle pavimentazioni e delle strutture	Elevato
Variabilità della temperatura		Intermedio
Ondata di calore		Elevato
Incendio di incolto	Possibili disagi per chiusura tratto stradale; danni all'opera a causa del calore elevato	Intermedio

TABELLA 3-17 QUADRO DI SINTESI – TEMPERATURA

Venti		
Hazard climatico	Vulnerabilità dell'opera	Rischio dell'opera
Tempesta (comprese quelle di neve, polvere o sabbia)	Possibili allagamenti del tratto stradale, riduzione dell'aderenza con riduzione della sicurezza nella circolazione	Molto elevato
Tromba d'aria	Possibili danneggiamenti alla segnaletica ed altri elementi dell'infrastruttura quali barriere acustiche, velette di copertura, ecc.	Intermedio

TABELLA 3-18 QUADRO DI SINTESI – VENTI

Acque		
Hazard climatico	Vulnerabilità dell'opera	Rischio dell'opera
Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo, possibili allagamenti, malfunzionamenti dei sistemi di drenaggio delle acque e danni a ponti, viadotti e tombini in caso di alluvione	Molto elevato
Variabilità idrologica o delle precipitazioni		
Innalzamento del livello del mare	Possibile allagamento/erosione dell'opera a mare	Intermedio
Stress idrico	Possibili malfunzionamenti dei sistemi di trattamento delle acque. Maggiore manutenzione delle aree verdi	
Siccità	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo	
Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo, possibili allagamenti, malfunzionamenti dei sistemi di drenaggio delle acque e danni a ponti, viadotti e tombini in caso di alluvione	Elevato
Inondazione (costiera, fluviale, pluviale, di falda)	Possibili allagamenti e danni alle opere	Intermedio

TABELLA 3-19 QUADRO DI SINTESI – ACQUE

Massa solida		
Hazard climatico	Vulnerabilità dell'opera	Rischio dell'opera
Erosione costiera	Possibile danneggiamento dell'opera a mare	Intermedio
Degradazione del suolo	Possibile riduzione o perdita delle proprietà meccaniche del suolo e conseguenti cedimenti e danni strutturali dell'opera. Riduzione della qualità dei suoli per le opere a verde	
Erosione del suolo		
Frana	Possibili danni a mezzi stradali e all'infrastruttura	Molto elevato

TABELLA 3-20 QUADRO DI SINTESI – MASSA SOLIDA

Con richiamo alla strategia progettuale adottata, le scelte di progetto sono state volte alla massimizzazione della resilienza dell'opera.

Secondo quanto riportato nel presente allegato, in considerazione dell'ambito territoriale e delle caratteristiche dell'infrastruttura stessa, l'opera ha un **rischio medio** ai cambiamenti climatici.

Stante ciò, sono state previste delle misure in grado di migliorare la resilienza dell'opera di progetto agli impatti derivanti dai cambiamenti climatici, descritte di seguito.

## 4 IDENTIFICAZIONE INTERAZIONI OPERA E CAMBIAMENTI CLIMATICI

### 4.1 MISURE DI ADATTAMENTO PER AUMENTARE LA RESILIENZA CLIMATICA DELL'OPERA DI PROGETTO

Gli sforzi per ridurre le emissioni di gas climalteranti costituiscono una priorità, ma indipendentemente dalle proiezioni sul riscaldamento futuro e dall'efficacia degli sforzi di mitigazione, gli impatti del cambiamento climatico resteranno elevati per diversi decenni a causa dell'inerzia del sistema climatico. Perciò, risulta indispensabile la definizione e implementazione di misure in grado di migliorare la capacità di adattamento dei territori agli impatti derivanti dai cambiamenti climatici, migliorandone la resilienza.

In tal senso, si propone l'individuazione delle misure di adattamento che possono contribuire a rafforzare la resilienza dell'opera e del territorio in cui è inserita l'opera stessa, e una descrizione delle misure di adattamento prescelte per l'opera, utili a garantire una maggiore resilienza ai cambiamenti climatici come:

- misure grigie (grey), misure di tipo strutturale e tecnologico, basate su interventi fisici o costruttivi, utili a rendere gli edifici e/o le infrastrutture più capaci di resistere agli eventi estremi;
- misure verdi (green), basate su un approccio che utilizza la natura ed i molteplici servizi forniti dagli ecosistemi, per migliorare la resilienza e la capacità di adattamento;
- misure di tipo non strutturale o "soft", che includono misure politiche, legali, sociali, gestionali e finanziarie, utili alla governance e ad aumentare la consapevolezza sui problemi legati al cambiamento climatico;
- misure di tipo trasversale tra settori (soft/green/grey).

Le misure verdi e soft hanno l'obiettivo di ridurre le criticità ed aumentare la capacità adattiva del sistema umano e naturale utilizzando la resilienza del sistema stesso. Queste tipologie di misure sono prevalentemente a basso costo e ad oggi risultano esserci tutte le conoscenze necessarie per implementarle. Le soluzioni tecnologiche ed innovative hanno invece, in generale, bisogno di maggiori capitali per l'attuazione e la ricerca.

Il progetto in esame ha individuato degli interventi di adattamento ai cambiamenti climatici, descritti brevemente nel seguente paragrafo.

#### 4.1.1 MISURE GRIGIE

Tra le strategie più dispendiose per l'adattamento al cambiamento climatico, le misure grigie sono soluzioni di tipo tecnologico ed ingegneristico mirate a modificare l'assetto strutturale del contesto territoriale di progetto.

#### PROTEZIONE DEL SISTEMA IDRICO

Al fine di assicurare lo smaltimento delle acque meteoriche interessanti la sede viaria, è stato progettato un sistema di drenaggio a gravità in grado di convogliare, con un margine di sicurezza adeguato, le precipitazioni intense verso i recapiti.

Il sistema di raccolta delle acque meteoriche di piattaforma si pone l'obiettivo di:

- limitare i tiranti idrici sulle pavimentazioni a valori compatibili con la loro transitabilità;
- garantire margini di capacità per evitare rigurgiti delle canalizzazioni che possano dare luogo ad allagamenti localizzati;
- garantire una linea idraulica chiusa sino al punto di controllo prima dello scarico nella rete idrografica naturale.

Il drenaggio è costituito essenzialmente da un sistema di raccolta marginale primario, ovvero da canalette, cunette e caditoie.

Il sistema di drenaggio sopra definito raccoglie anche le acque di piattaforma delle gallerie che possono essere costituite non solo da quelle trascinate dal moto dei veicoli ma anche dagli eventuali liquidi sversati accidentalmente.

#### 4.1.2 MISURE VERDI

##### INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO - AMBIENTALE

Allo scopo di integrare il progetto in esame con il paesaggio ed il sistema naturale, sono stati previsti degli interventi di inserimento paesaggistico-ambientale.

La progettazione delle opere a verde ha come obiettivo prevalente quello di inserire l'opera in modo compatibile ed integrato al sistema naturale circostante. Per il perseguimento di tale obiettivo si rende necessario tenere conto sia dei condizionamenti di natura tecnica determinati dalle caratteristiche dell'opera che si va a mitigare, che dell'ambiente in cui l'infrastruttura si va a collocare, riconoscendone i caratteri naturali e le capacità di trasformazione.

Nell'ambito della presente progettazione, gli interventi a verde relativi alle aree circostanti gli imbocchi in galleria, oggetto di rimodellamento morfologico, prevedono la sistemazione di raggruppamenti vegetali che, raccordandosi con la vegetazione esistente, consentono di ristabilire la continuità vegetazionale preesistente lungo il versante.

In considerazione delle superfici disponibili, le tipologie di vegetazione studiate sono riconducibili a:

- prati stabili,
- formazioni arbustive,
- formazioni arboreo-arbustive.

La costituzione di un tappeto di vegetazione erbacea ed arbustiva consente di evitare l'innescarsi di fenomeni erosivi e franosi nonché di evitare che il suolo nudo venga ricoperto da forme vegetali infestanti ed invadenti.

La costituzione di un manto erboso (prati stabili) in corrispondenza delle superfici messe a nudo dai lavori svolgerà le seguenti funzioni:

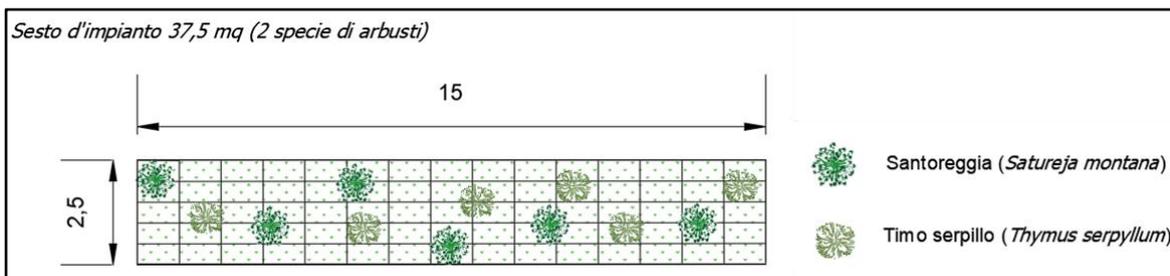
- ambientale, impedendo la crescita e lo sviluppo di specie invadenti sinantropiche, che ne abbasserebbero la qualità;
- biotecnica, proteggendo il terreno dalle erosioni superficiali e consolidandolo con l'azione degli apparati radicali;
- faunistica, favorendo la creazione di habitat adatti allo sviluppo della microfauna;
- estetica e paesaggistica.

L'inerbimento è previsto in corrispondenza delle aree di imbocco delle gallerie, al di sopra dei tratti in galleria artificiale ed in generale in tutte quelle aree la cui eccessiva pendenza non consente la piantumazione di elementi arbustivi/arborei.

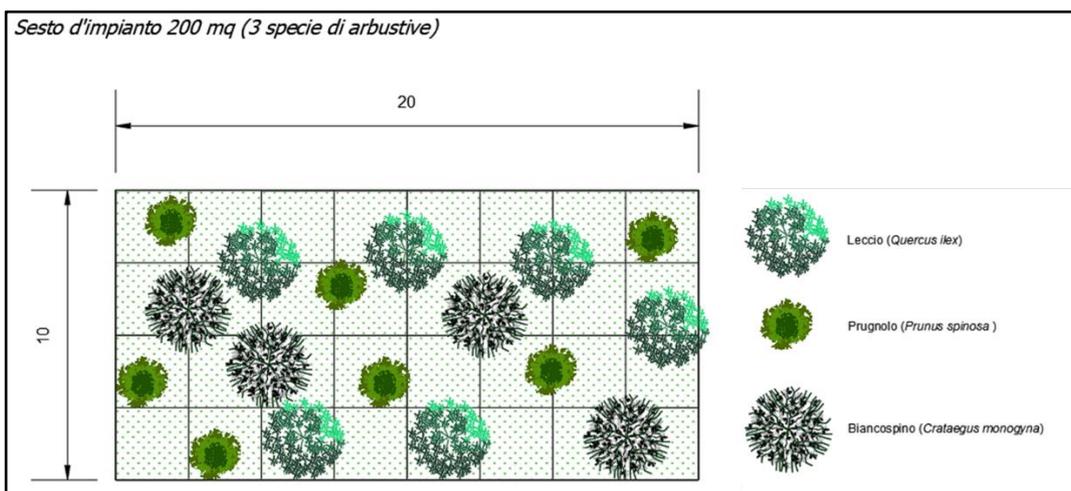
Nel presente progetto, a fronte della copertura vegetale preesistente e delle potenzialità evolutive intrinseche, è stato dato grande spazio alle formazioni arbustive, dando la possibilità alle fitocenosi naturali di evolvere verso forme più mature nell'ambito della serie dinamica di appartenenza.

Nel presente progetto sono stati previsti:

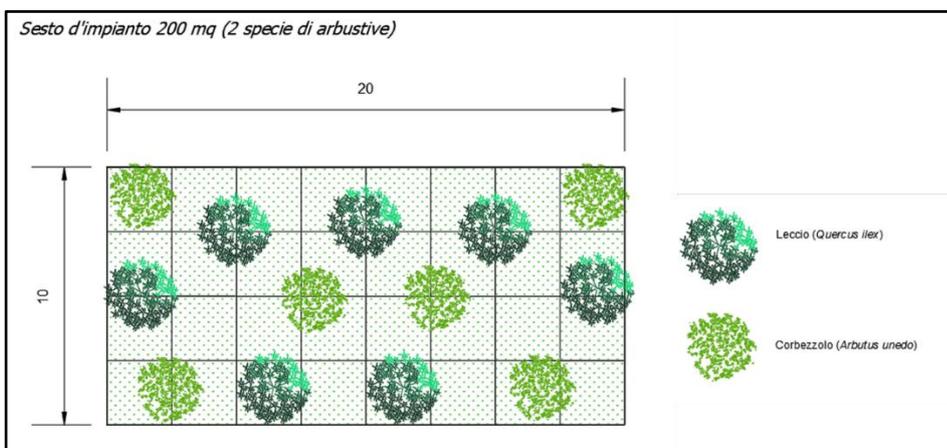
- B - Formazione basso arbustiva con specie suffruticose arbustive autoctone



- C - Rinverdimento delle aree intercluse con specie arbustive autoctone



- D - Rinverdimento con fascia alto-arbustiva



Gli interventi sopra elencati possono avere l'effetto di:

- stabilizzare il terreno, attraverso l'azione consolidante degli apparati radicali;
- proteggere il terreno dall'erosione superficiale dovuta all'azione battente delle precipitazioni e dal ruscellamento superficiale;
- ricostruire la vegetazione e le condizioni di fertilità.

Nelle seguenti figure sono mostrati degli esempi degli interventi previsti.



FIGURA 4-1 STRALCIO DEGLI INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO – AMBIENTALE



FIGURA 4-2 STRALCIO DEGLI INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO - AMBIENTALE

Tali interventi in sostanza possono quindi agire positivamente sui seguenti rischi:

- temperatura:
  - stress termico,
  - variabilità della temperatura,
  - ondata di calore,
- acque:
  - variabilità idrologica o delle precipitazioni,
  - stress idrico,
  - forti precipitazioni,
- massa solida:
  - degradazione del suolo,
  - erosione del suolo,
  - frana.