



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
 MESSA IN SICUREZZA DEL SISTEMA
 ACQUEDOTTISTICO DEL PESCHIERA PER
 L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO
 DI ROMA CAPITALE E DELL'AREA METROPOLITANA
 IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ING. PhD MASSIMO SESSA
 SUB COMMISSARIO ING.

aceq
acqua
 ACEA ATO 2 SPA



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
 Ing. PhD Alessia Delle Site

SUPPORTO AL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
 Dott. Avv. Vittorio Gennari
 Sig.ra Claudia Iacobelli
 Ing. Barnaba Paglia

aceq
 Ingegneria
 e servizi



CONSULENTE
 Ing. Biagio Eramo

ELABORATO
A250 SIA R0120

Progetto di sicurezza e ammodernamento
 dell'approvvigionamento della città
 metropolitana di Roma
 "Messa in sicurezza e ammodernamento del sistema
 idrico del Peschiera",
 L.n.108/2021, ex DL n.77/2021 art. 44 Allegato IV

COD. ATO2 AAM10118

DATA **DICEMBRE 2021** SCALA

Sottoprogetto
NUOVO ACQUEDOTTO MARCIO – I LOTTO
DAL MANUFATTO ORIGINE AL SIFONE CERASO
 (con il finanziamento dell'Unione
 europea – Next Generation EU)  European Union

| AGG. N. | DATA | NOTE | FIRMA |
|---------|------|------|-------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA
 ED ECONOMICA**

TEAM DI PROGETTAZIONE

CAPO PROGETTO
 Ing. Angelo Marchetti

CONSULENTI
 I.R.I.D.E. s.r.l.

ASPETTI AMBIENTALI
 Ing. PhD Nicoletta Stracqualursi
 Ing. Viviana Angeloro

Hanno collaborato:
 Ing. Francesca Giorgi
 Ing. PhD Serena Conserva
 Ing. Simone Leoni
 Dott. Salvatore Esposito
 Geol. Simone Febo
 Geol. Filippo Arsie




STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

ALLEGATI SIA

Analisi della vulnerabilità e adattamento
 ai cambiamenti climatici

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduzione..... | 2 |
| 1.1 | Finalità e struttura del documento..... | 2 |
| 1.2 | Aspetti generali del fenomeno: mitigazione, adattamento e resilienza per le infrastrutture acquedottistiche | 3 |
| 2 | Analisi di rischio: caratterizzazione degli hazards e delle vulnerabilità ai cambiamenti climatici...5 | |
| 2.1 | Definizione della metodologia di analisi | 5 |
| 2.2 | Definizione del contesto di analisi: ambito territoriale di riferimento..... | 6 |
| 2.3 | Evoluzione climatica ed identificazione degli hazards climatici nazionali | 8 |
| 2.3.1 | Evoluzione Climatica Nazionale ed identificazione delle Macroregioni Climatiche..... | 8 |
| 2.3.2 | Zonazione delle anomalie climatiche | 13 |
| 2.3.3 | Aree Climatiche Omogenee | 16 |
| 2.3.4 | Sintesi degli Hazards e valutazione della probabilità | 19 |
| 2.4 | Identificazione delle possibili vulnerabilità del contesto territoriale e del sistema acquedotto | 22 |
| 2.4.1 | Aspetti generali | 22 |
| 2.4.2 | Categoria Acque | 23 |
| 2.4.3 | Categoria Massa solida..... | 24 |
| 2.5 | Valutazione del Rischio | 25 |
| 2.5.1 | Aspetti generali | 25 |
| 2.5.2 | Categoria Acque | 25 |
| 2.5.3 | Categoria Massa solida..... | 26 |
| 2.6 | Sintesi dell'incrocio probabilità – vulnerabilità - rischio e strategie progettuali | 26 |
| 3 | Riferimenti bibliografici..... | 29 |

1 Introduzione

1.1 Finalità e struttura del documento

Il presente documento, allegato allo Studio di Impatto Ambientale del Nuovo Acquedotto Marcio – I Lotto dal Manufatto Origine al Sifone Ceraso, è volto ad analizzare le minacce legate ai cambiamenti climatici e determinare le vulnerabilità ed i rischi del progetto a tali minacce.

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 del sistema acquedottistico Marcio, gli aspetti trattati 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 due parti:

- La prima parte introduttiva legata alla definizione degli aspetti generali del fenomeno di mitigazione, adattamento e resilienza al cambiamento climatico per le infrastrutture acquedottistiche;
- La seconda parte è riferita all'analisi di rischio correlata agli hazards climatici ulteriormente strutturata in tre sotto parti:
 - Definizione degli hazards ed analisi probabilistica in relazione alle proiezioni climatiche;
 - Definizione delle vulnerabilità agli hazards climatici;
 - Definizione del rischio agli hazards climatici.

1.2 Aspetti generali del fenomeno: mitigazione, adattamento e resilienza per le infrastrutture acquedottistiche

È un dato acquisito che il modello di sviluppo della civiltà moderna ha da tempo mostrato i suoi limiti determinando, da un lato, l'impovertimento 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 inadeguate soprattutto nell'approvvigionamento idropotabile 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 acquedottistiche e gli studi relativi agli impatti climatici che si concentrano sui problemi del trasporto e della distribuzione delle risorse idriche, suggeriscono implicazioni di vasta portata. 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.

Con riferimento alla Direttiva Europea Quadro sulle acque (2000/60), la richiesta di raggiungere il "buono stato delle acque" prevede che i corsi d'acqua e di falda in stato sufficiente, scadente o pessimo dovrebbero raggiungere lo stato buono entro pochi anni. Per raggiungere tali obiettivi sono necessarie misure incisive che hanno cominciato ad essere individuate dai Piani Regionali di Tutela delle Acque. Le misure sono sostanzialmente di due tipi: quelle volte a ridurre il carico di inquinante (riducendo i carichi alla fonte o aumentando la capacità di depurazione) e quelle rivolte ad aumentare le "portate naturali",

ovvero ridurre i prelievi. Le misure di adattamento per il settore delle risorse idriche dovranno puntare, quindi, prevalentemente a ridurre i consumi di risorse idriche naturali, favorendo il risparmio ed il ricorso a risorse non convenzionali (accumuli diffusi di acque di pioggia, riuso delle acque usate, dissalazione).

Questi effetti sulle infrastrutture acquedottistiche – che incidono inevitabilmente sulle risorse idriche – 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 dell'insediamento antropico nei contesti urbanizzati 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, in ragione della natura dell'opera infrastrutturale prevalentemente a carattere lineare, la robustezza e l'affidabilità – aspetti prestazionali di base approfonditi nella relazione strutturale preliminare di Acea – diventano obiettivi imprescindibili alla sostenibilità e alla resa resiliente dell'Acquedotto Marcio – I Lotto di fronte alla probabilità di accadimenti di eventi climatici più o meno estremi.

Nei paragrafi successivi sarà quindi esplicitata l'analisi che evidenzia dapprima, le vulnerabilità del sistema infrastrutturale acquedottistico Marcio in relazione ai possibili scenari di *Hazards* climatici a cui l'area che ingloba l'opera sarà esposta. Successivamente si riporta l'individuazione delle misure e le strategie di adattamento e resa resiliente a garanzia dell'affidabilità del sistema infrastrutturale idrico.

2 Analisi di rischio: caratterizzazione degli hazards e delle vulnerabilità ai cambiamenti climatici

2.1 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 proseguo 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.

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

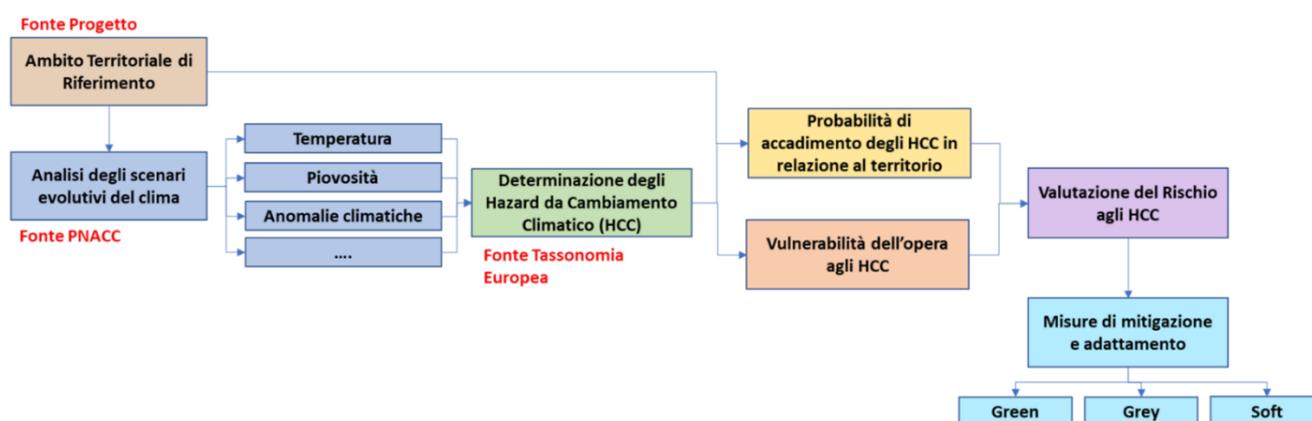


Figura 2-1 Flow chart metodologico

La metodologia prevede l'attribuzione quindi dei seguenti livelli di Probabilità e della Vulnerabilità.

| |
|-------|
| Basso |
| Medio |
| Alto |

Figura 2-2 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 Figura 2-3.

| LEGENDA | | | | |
|-------------|-------|---------------|------------|---------------|
| RISCHIO | | Vulnerabilità | | |
| | | Basso | Medio | Alto |
| Probabilità | Basso | Basso | Basso | Intermedio |
| | Medio | Basso | Intermedio | Elevato |
| | Alto | Intermedio | Elevato | Molto Elevato |

Figura 2-3 Matrice di valutazione del rischio

2.2 Definizione del contesto di analisi: ambito territoriale di riferimento

L'area in esame nella quale ricadono gli interventi di progetto, rientra nel territorio della Provincia di Roma, attraversando i Comuni di Marano Equo, Arsoli, Anticoli Corrado, Roviano, e Mandela.

Il territorio interessato dall'attraverso delle opere in progetto si sviluppa lungo la Valle dell'Aniene e comprende in particolare il tratto di valle compreso tra i comuni di Marano Equo e Mandela. Tale zona è caratterizzata dalla presenza del fiume Aniene che ne determina la vallata principale. L'Aniene nasce sul Monte Tarino (catena dei Simbruini), tra Filettino e Trevi nel Lazio (FR) e a Roma confluisce nel Tevere, di cui costituisce un sottobacino.

L'area attraversata dal fiume Aniene è prevalentemente montuosa (dorsali dei Monti Simbruini, Monti Cantari, Monti Affilani, Monti Ruffi) con rilievi che si aggirano intorno ai 2.000 mt. (Monte Autore, Monte Cotento, Monte Tarino, Monte Viglio).

L'Aniene percorre, nella media e alta valle, una delle zone geologicamente più complesse dell'Appennino centrale. In questo settore geografico, l'Appennino è caratterizzato dalla presenza di due grandi domini paleogeografici, dalla cui evoluzione ha avuto origine l'attuale paesaggio.

L'area di intervento riguarda, quindi, un sistema vallivo ben definito e geograficamente omogeneo, che si estende con continuità lineare lungo il fiume Aniene articolandosi attorno all'insieme dei bacini idrografici e dei territori che da esso dipendono.

Il territorio, grazie alla natura carsica del terreno, è straordinariamente ricco di sorgenti, di portata molto differenziata, nell'insieme capaci di fare della Valle una grande dispensa d'acqua. In particolare, le sorgenti più importanti, sono quelle presenti nei territori di Agosta e Marano Equo.

Il territorio della Media valle dell'Aniene è costituito dalla porzione di territorio attraversata dal fiume e compresa fra i centri di Tivoli e Subiaco. I territori dei comuni presenti in quest'area hanno caratteristiche orografiche molto simili fra loro, con valli e colline che si susseguono; sono centri di piccola dimensione con poca popolazione insediata. Le abitazioni sono solitamente concentrate in centri abitati, con conseguente limitata urbanizzazione del territorio.

Gli insediamenti hanno carattere di accorpamento, si limitano per lo più alle aree costituenti i paesi storici con i rispettivi ampliamenti e non sono sparsi sul territorio: fatto che, sommato alla presenza delle articolate estensioni a macchia e boschive e al generale ordine visivo che conservano anche gli appezzamenti coltivati, conferisce un aspetto generalmente armonico al complesso del paesaggio.

L'area di intervento riguarda, quindi, un sistema vallivo ben definito e geograficamente omogeneo, che si estende con continuità lineare lungo il Fiume Aniene articolandosi attorno all'insieme dei bacini idrografici e dei territori che da esso dipendono.

L'area studiata segue l'andamento della valle del Fiume Aniene, che si sviluppa tra le dorsali dei Monti Ruffi e dei Monti Tiburtini in sinistra idrografica, mentre in destra idrografica si collocano i Monti Simbruini e i Monti Sabini/Lucretili.

Per quanto riguarda le caratteristiche ambientali dell'area, si evidenzia che l'area di studio rappresenta un paesaggio ecologico di notevole interesse naturalistico, ricco di biodiversità forestale, faunistica e agraria (Lauteri, 2004); gli elementi che costituiscono questo paesaggio sono molteplici: dall'ecosistema agrario, immerso in una matrice forestale o di naturalità diffusa, all'ecosistema ripariale; dal bosco caducifoglio misto alle formazioni rupestri di leccio; dalle praterie di quota alle faggete; dagli ambienti fortemente antropizzati alle aree acquitrinose che si formano nelle piane alluvionali del fiume Aniene.

La maggior parte dell'area di studio risulta costituita da vegetazione naturale composta, nella porzione più occidentale, da tipologie erbacee termofile a carattere sevanoide come le praterie ad ampelodesma che si rinvengono sulle pendici meridionali del Monte Catillo, o da praterie xerofile dominate da graminacee adibite a prati sfalciati o a pascolo di bovini, ovini e caprini.

Le aree marginali, i coltivi abbandonati e quelle percorse in tempi recenti o passati da incendi sono caratterizzate da vegetazione in sviluppo, ovvero tipologie a struttura varia che seguono il dinamismo di ricolonizzazione naturale.

Dal punto di vista dei beni paesaggistici e culturali si evidenzia la presenza di boschi, parchi e riserve naturali, corsi d'acqua soggetti a vincolo paesaggistico come anche alcune aree di interesse archeologico.

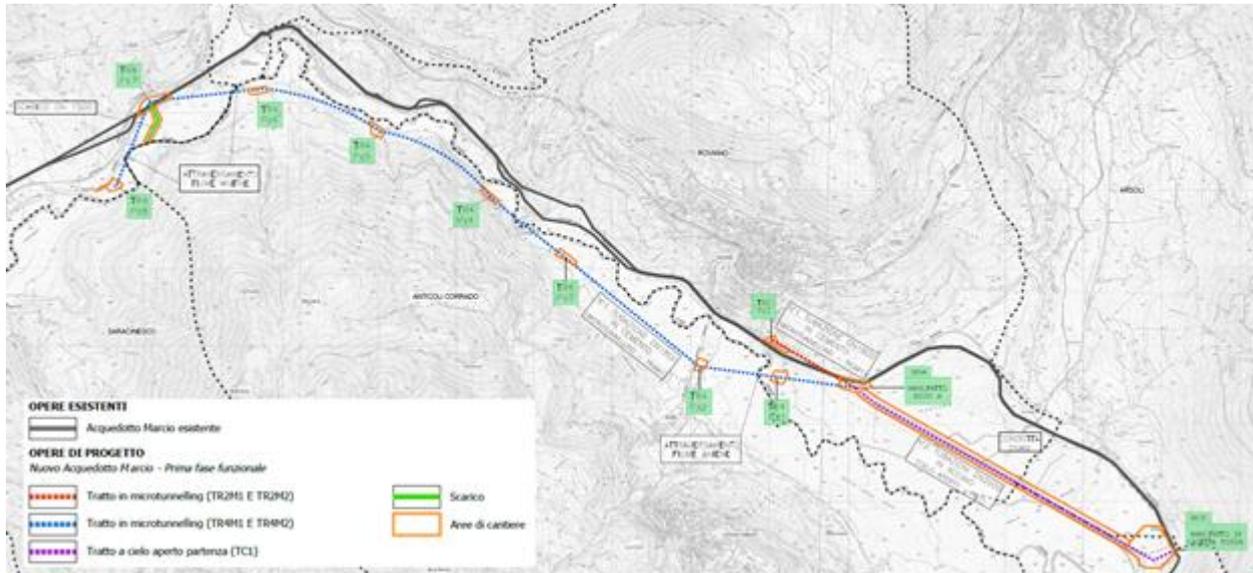


Figura 2-4 Planimetria di progetto

2.3 Evoluzione climatica ed identificazione degli hazards climatici nazionali

2.3.1 Evoluzione Climatica Nazionale ed identificazione delle Macroregioni Climatiche

La presente sezione si avvale degli studi condotti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare in riferimento al Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Ministero della Transizione Ecologica, 2020) e si propone di individuare, tramite la tecnica statistica della *cluster analisi*, l'esposizione a variazioni climatiche per il contesto territoriale che ingloba l'infrastruttura dell'acquedotto Marcio in oggetto. In tal senso, con il termine *cluster* si vuole indicare il raggruppamento di oggetti che hanno uno o più caratteristiche in comune. Secondo il Piano Nazionale è possibile individuare sei "macroregioni climatiche omogenee" per cui i dati osservati riportano condizioni climatiche simili negli ultimi trent'anni (1981 -2010) (zonazione climatica).

Sono state dunque analizzate le anomalie climatiche attese in termini di proiezioni di temperatura e precipitazione medie stagionali e dei due diversi scenari climatici RCP (*Representative Concentration Pathway* 4.5 e 8.5).

Come sintesi del processo di analisi a costruzione di un *data base* di impatti/vulnerabilità a cui le zone territoriali di interesse saranno esposte, si è proceduto con la sovrapposizione di dati necessari a definire:

1. Zonazione delle anomalie climatiche sulla base delle variazioni climatiche attese per il periodo 2021- 2050 (RCP 4.5 e RCP 8.5) per gli indicatori selezionati.
2. "Aree climatiche omogenee" – svolta attraverso la sovrapposizione delle macroregioni climatiche omogenee e della zonazione delle anomalie, per definire aree con uguale condizione climatica attuale e stessa proiezione climatica di anomalia futura.

L'individuazione delle "macroregioni climatiche omogenee" che viene proposta dal Ministero dell'Ambiente nel documento di Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, rappresenta la base per lo studio delle anomalie climatiche future e la definizione delle "aree climatiche omogenee" Nazionali. Secondo la Figura 2-5 è possibile definire:

- Macroregione 1 - Prealpi e Appennino Settentrionale
- Macroregione 2 - Pianura Padana, alto versante adriatico e aree costiere dell'Italia centro-meridionale
- Macroregione 3 - Appennino centro-meridionale e alcune zone limitate dell'Italia nordoccidentale
- Macroregione 4 - Area alpina
- Macroregione 5 - Italia settentrionale
- Macroregione 6 - Aree insulari e l'estremo sud dell'Italia

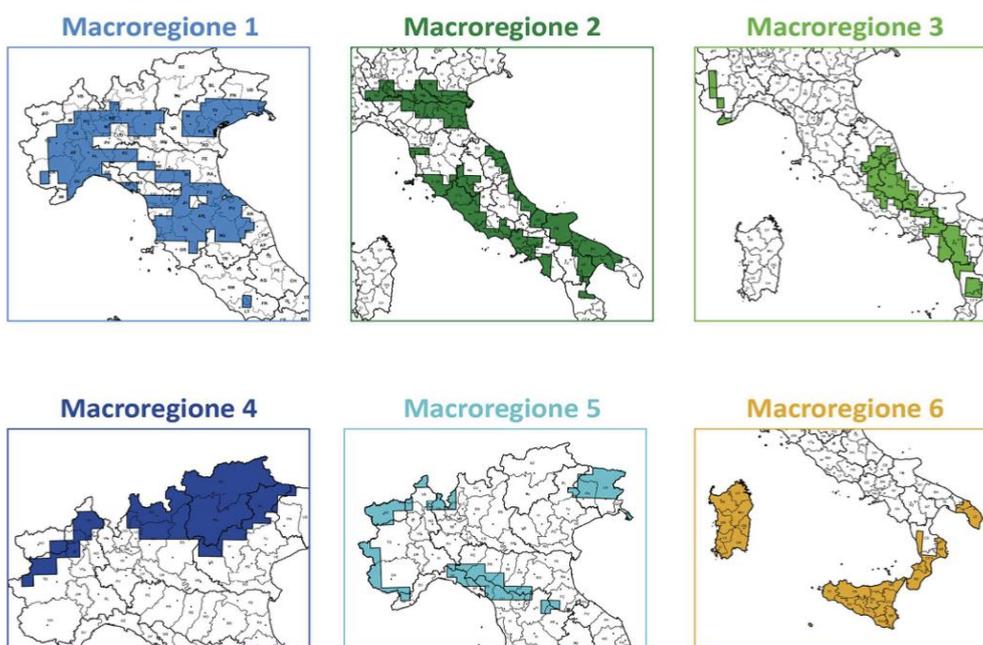
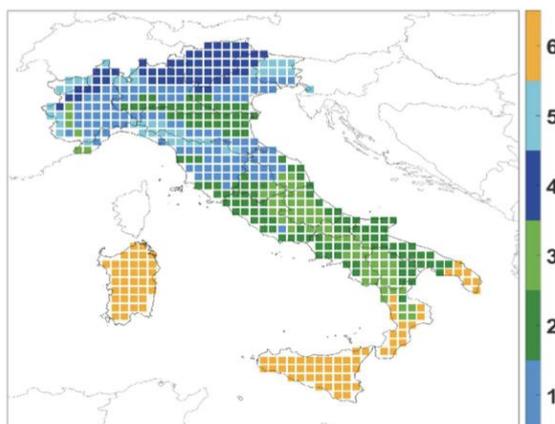


Figura 2-5 Zonazione climatica sul periodo climatico di riferimento (1981-2010)

Nello specifico la Macroregione 2 (Figura 2-6) ingloba l'area del progetto e, secondo i valori medi e la deviazione standard degli indicatori proposti dal Ministero dell'Ambiente, l'area è caratterizzata dal maggior numero di giorni, in media, al di sopra della soglia selezionata per classificare i *summer days* (29,2°C) e da temperature medie elevate. Il regime pluviometrico, in termini di valori medi ed estremi, mostra caratteristiche intermedie, mentre il numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia (CDD) risulta essere elevato.

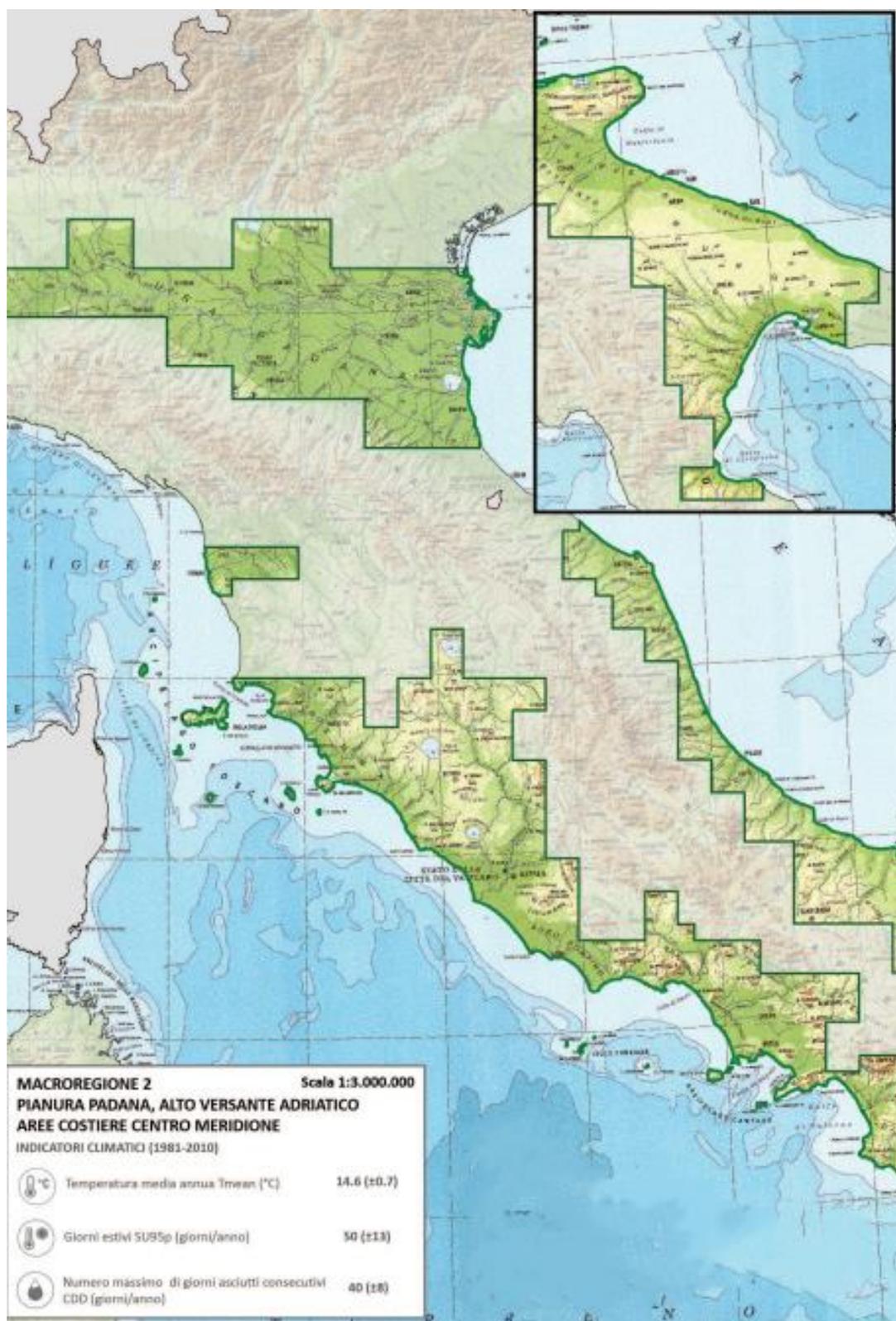


Figura 2-6 Macroregione 2 - Piano Nazionale di adattamento al cambiamento climatico - Cartografia elaborata dal CMCC su dati dell'Istituto geografico militare

La Figura 2-7 riporta il quadro generale dei valori medi e delle deviazioni standard degli indicatori meteoroclimatici per la Macroregione 2.

Macroregione 2 - Pianura Padana, Alto versante Adriatico, Aree Costiere Centro Meridione e relative aree climatiche omogenee:

RCP 4.5: area calda - secca estiva (2A), area secca (2C) e area piovosa invernale - secca estiva (2D)

RCP 8.5: area piovosa - calda estiva (2C), area secca invernale - calda estiva (2D) e area calda - piovosa invernale - secca estiva (2E)

Include la pianura Padana, l'alto versante adriatico e le aree costiere dell'Italia centro-meridionale (comprese le aree di Lazio e Campania a più elevata urbanizzazione). La macroregione 2 è caratterizzata dal maggior numero di giorni, in media, al di sopra della soglia selezionata per classificare i *summer days* (29,2°C) e da temperature medie elevate. Il regime pluviometrico, in termini di valori medi ed estremi, mostra caratteristiche intermedie, mentre il numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia (CDD) risulta essere elevato.

| Indicatori climatici |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Temperatura media annua Tmean (°C) | Precipitazioni intense R20 (n. giorni/anno con precipitazioni >20mm) | Giorni con gelo FD (n. giorni/anno con Tmean <0°C) | Giorni estivi SU95p (n. giorni/anno con Tmax > 29.2 °C) | Cumulata delle precipitazioni invernali WP (mm) | Cumulata delle precipitazioni estive SP (mm) | 95° percentile della precipitazione R95p (mm) | Numero massimo di giorni asciutti consecutivi CDD (giorni/anno) |
| | 14.6 (±0.7) | 4 (±1) | 25 (±9) | 50 (±13) | 148 (±55) | 85 (±30) | 20 | 40 (±8) |

Figura 2-7 Valori medi e deviazione standard degli indicatori per la Macroregione 2

La Tabella 2-1 riporta l'elenco degli indicatori di riferimento con le relative abbreviazioni, descrizioni ed unità di misura che verranno presi in considerazione al fine dell'analisi per l'area in questione.

| Indicatore | Abbreviazion e | Descrizione | Unità di misura |
|---|-------------------|--|--------------------|
| Temperatura media annuale | Tmean | Media annuale della temperatura media giornaliera | (°C) |
| Giorni di precipitazione intense | R20 | Media annuale del numero di giorni con precipitazione giornaliera superiore ai 20 mm | (giorni/anno) |
| Frost days | FD | Media annuale del numero di giorni con temperatura minima al di sotto dei 0°C | (giorni/anno) |
| Summer days | SU95p | Media annuale del numero di giorni con temperatura massima maggiore di 29.2 °C (valore medio del 95° percentile della distribuzione delle temperature massime osservate tramite E-OBS) | (giorni/anno) |
| Cumulata delle precipitazioni invernali | WP | Cumulata delle precipitazioni nei mesi invernali (dicembre, gennaio, febbraio) | (mm) |
| Cumulata delle precipitazioni estive | SP | Cumulata delle precipitazioni nei mesi estivi (giugno, luglio, agosto) | (mm) |

| Indicatore | Abbreviazion e | Descrizione | Unità di misura |
|-------------------------------------|---------------------------|---|----------------------------|
| Copertura nevosa | SC | Media annuale del numero di giorni per cui l'ammontare di neve superficiale è maggiore di un 1 cm | (giorni/anno) |
| Evaporazione | Evap | Evaporazione cumulata annuale | (mm/anno) |
| Consecutive dry days | CDD | Media annuale del massimo numero di giorni consecutivi con pioggia inferiore a 1 mm/giorno | (giorni/anno) |
| 95° percentile della precipitazione | R95p | 95° percentile della precipitazione | (mm) |

Tabella 2-1 Indice degli Indicatori

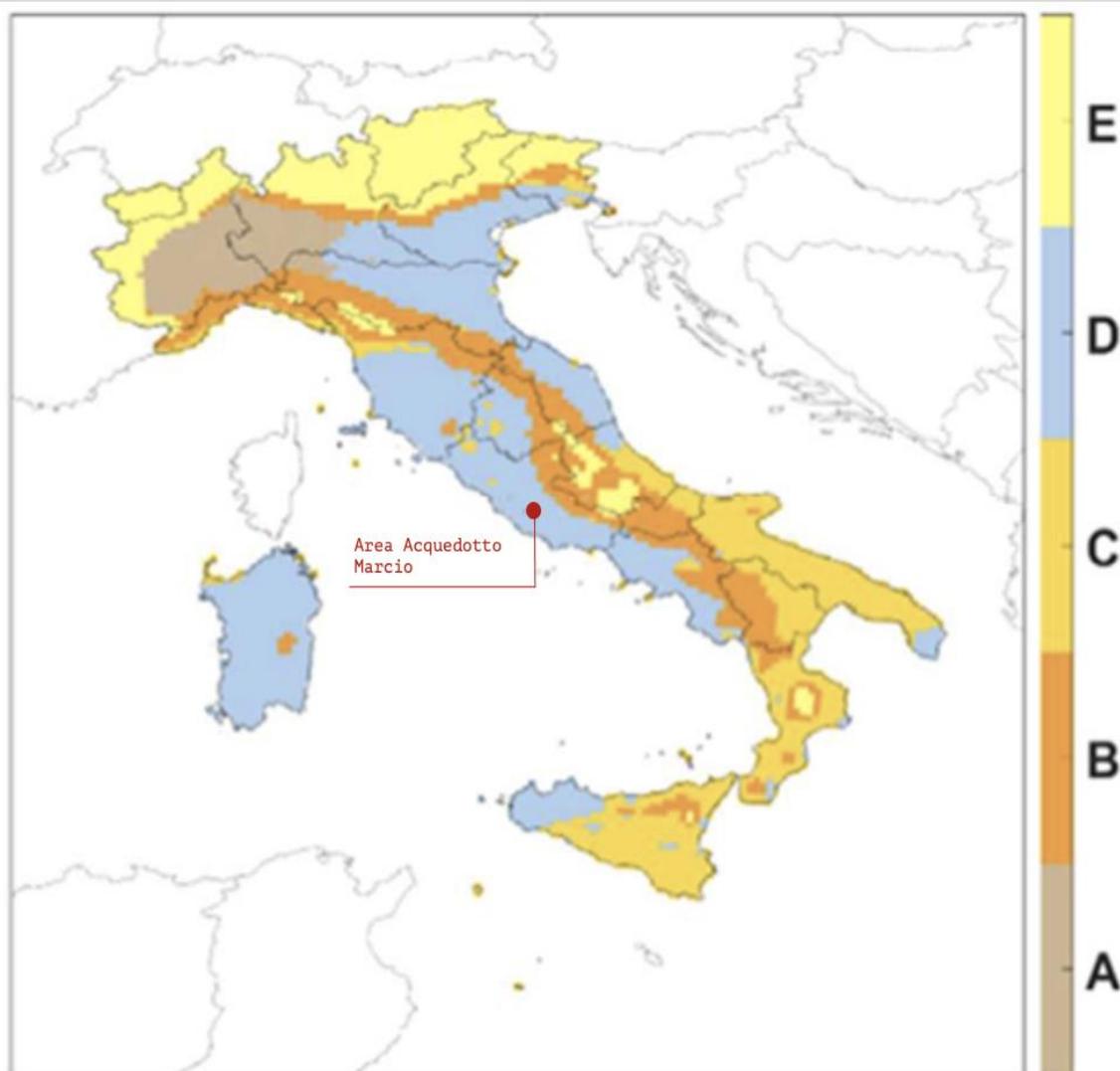
2.3.2 Zonazione delle anomalie climatiche

Al fine di individuare aree climatiche omogenee nazionali per anomalie, il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Ministero della Transizione Ecologica, 2020) raggruppa in categorie omogenee denominate "cluster di anomalie" tutti i valori degli indicatori. La zonazione climatica delle anomalie consente di identificare cinque cluster di anomalie – da A a E – per lo scenario RCP 4.5 (cfr. Figura 2-8) e per lo scenario RCP 8.5 (cfr. Figura 2-9)

Le figure seguenti restituiscono i valori medi, in termini di anomalia, per le singole classi. In riferimento al contesto territoriale di Roma, l'area interessata dal progetto ricade nel Cluster D per lo scenario RCP 4.5 e nel Cluster C per lo scenario RCP 8.5.

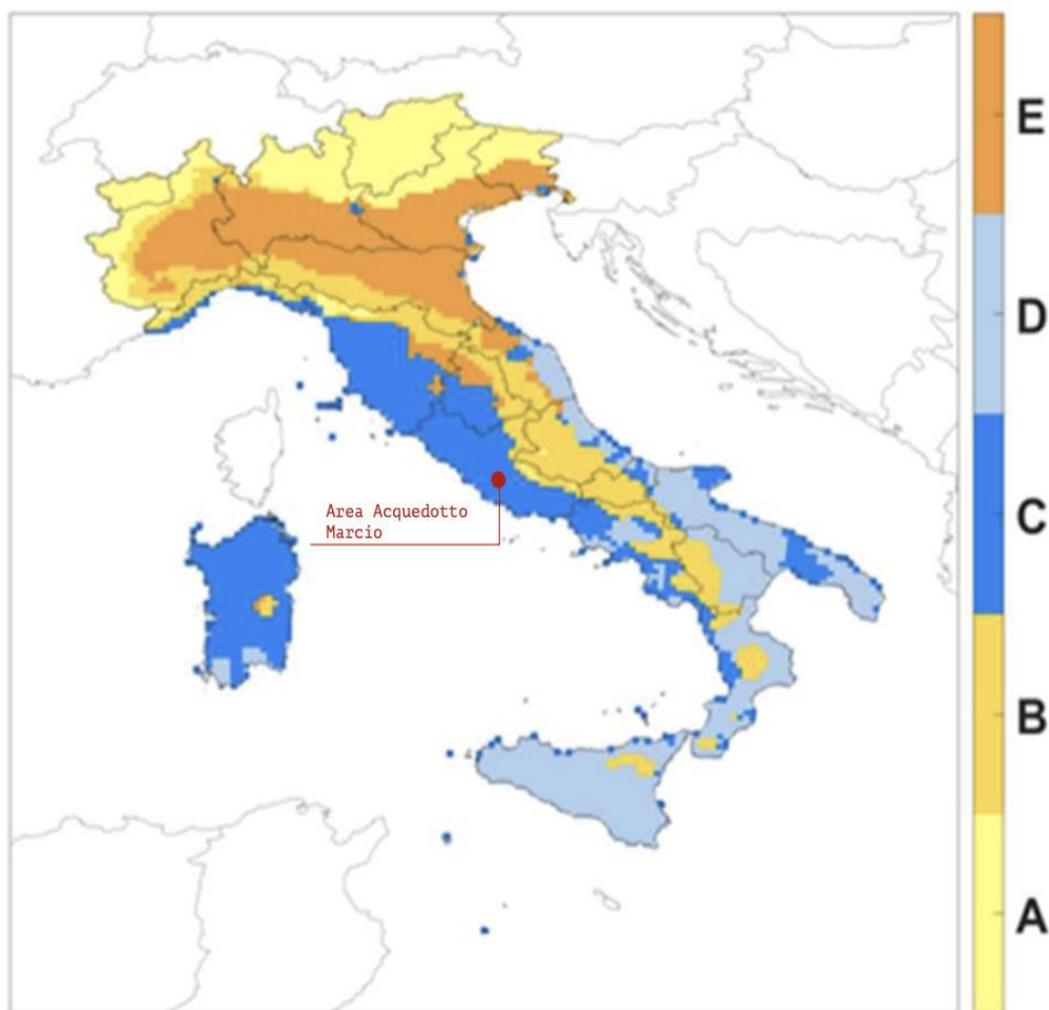
Nello specifico:

- il Cluster D – con scenario RCP 4.5 –, individua un clima invernale piovoso e un clima estivo secco. Il cluster D è interessato da un aumento delle precipitazioni invernali (valore medio dell'aumento pari all'8%) e da una riduzione notevole di quelle estive (valore medio della riduzione pari al 25%). In generale, dalle analisi, si nota un aumento significativo sia dei fenomeni di precipitazione estremi (R95p) sia dei summer days (di 14 giorni/anno).
- Il Cluster C – con scenario RCP 8.5 –, individua un clima piovoso e caldo estivo. Il Cluster C è interessato da un aumento sia delle precipitazioni invernali che estive e da un aumento significativo dei fenomeni di precipitazione estremi (valore medio dell'aumento pari al 13%). Infine, si osserva un aumento rilevante dei summer days (di 12 giorni/anno).



| CLUSTER | Tmean (°C) | R20 (giorni/anno) | FD (giorni/anno) | SU95p (giorni/anno) | WP (%) | SP (%) | SC (giorni/anno) | Evap (%) | R95p (%) |
|---------|------------|-------------------|------------------|---------------------|--------|--------|------------------|----------|----------|
| A | 1.4 | -1 | -20 | 18 | -4 | -27 | -12 | -6 | 1 |
| B | 1.3 | -1 | -19 | 9 | -2 | -24 | -8 | -3 | 3 |
| C | 1.2 | 0 | -6 | 12 | -5 | -18 | -1 | -3 | 4 |
| D | 1.2 | 1 | -9 | 14 | 8 | -25 | -1 | -2 | 11 |
| E | 1.2 | -2 | -20 | 1 | -8 | -15 | -21 | 1 | -1 |

Figura 2-8 Scenario RCP4.5 - Mappatura e individuazione del Cluster per l'area di progetto



| CLUSTER | Tmean (°C) | R20 (giorni/anno) | FD (giorni/anno) | SU95p (giorni/anno) | WP (%) | SP (%) | SC (giorni/anno) | Evap (%) | R95p (%) |
|----------|------------|-------------------|------------------|---------------------|----------|----------|------------------|----------|-----------|
| A | 1.5 | 1 | -23 | 1 | 13 | -11 | -20 | 2 | 5 |
| B | 1.6 | 0 | -28 | 8 | 2 | -7 | -18 | 1 | 6 |
| C | 1.5 | 1 | -14 | 12 | 7 | 3 | -1 | 2 | 13 |
| D | 1.5 | 0 | -10 | 14 | -4 | 14 | -1 | -8 | 6 |
| E | 1.5 | 1 | -27 | 14 | 16 | -14 | -9 | 2 | 9 |

Figura 2-9 Scenario RCP 8.5 - Mappatura e individuazione del Cluster per l'area di progetto

Tra i due scenari considerati si evidenziano alcune differenze in termini di eventi estremi: per lo scenario RCP8.5 si osserva un lieve aumento percentile della precipitazione (R95p) rispetto allo scenario RCP4.5. Mentre per le anomalie WP e SP definite nello scenario RCP4.5 si evidenzia una riduzione, nel caso dello scenario RCP8.5, la Macroregione 2, sarà soggetta ad un aumento di precipitazioni estive e invernali.

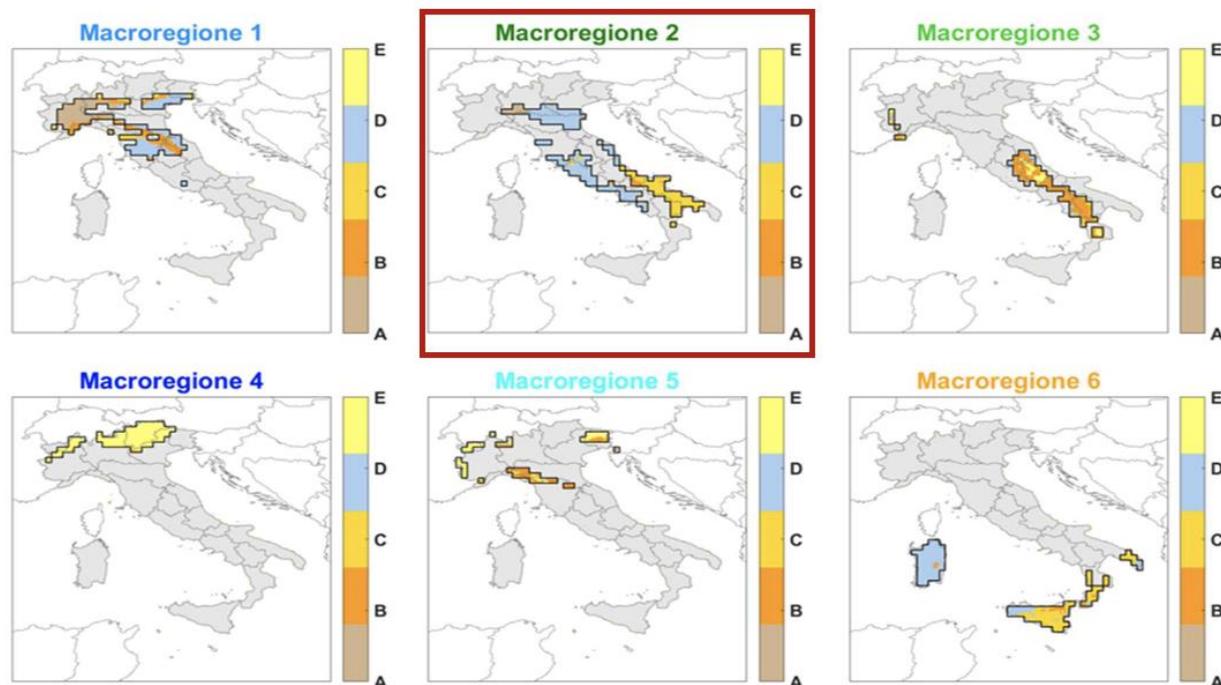
2.3.3 Aree Climatiche Omogenee

Dall'intersezione delle 6 macroregioni climatiche omogenee identificate con l'analisi del clima attuale e i 5 cluster di anomalie scaturiscono 13 principali "aree climatiche omogenee" per i due scenari (RCP4.5 e RCP8.5), ossia le aree del territorio nazionale con uguale condizione climatica attuale e stessa proiezione climatica di anomalia futura.

Per agevolare i successivi studi settoriali e facilitare l'individuazione delle anomalie prevalenti per ciascuna macroregione climatica omogenea, i cluster delle anomalie sono stati visualizzati separatamente per ognuna delle sei macroregioni climatiche omogenee, sia per lo scenario RCP4.5 (cfr. Figura 2-10) sia per lo scenario RCP8.5 (cfr. Figura 2-11).

Nello specifico dell'area ricadente nella Macroregione 2, si possono definire due scenari dati dall'intersezione tra Macroregione climatica omogenea 1 e area climatica omogenea secondo scenario RCP 4.5 – cluster D – e scenario RCP 8.5 – cluster C – che permettono di definire le seguenti anomalie:

1. Macroregione 2 secondo scenario RCP 4.5 – che ingloba l'area nel Cluster D – le anomalie principali prevedono:
 - Aumento dei fenomeni di precipitazioni invernali e riduzione di quelle estive;
 - Aumento significativo dei *summer days*.
2. Macroregione 2 secondo scenario RCP 8.5 – che ingloba l'area nel Cluster C – le anomalie principali prevedono:
 - Aumento complessivo dei fenomeni di precipitazione anche estremi;
 - Aumento significativo dei *summer days*.



Macroregioni climatiche omogenee



Cluster delle anomalie

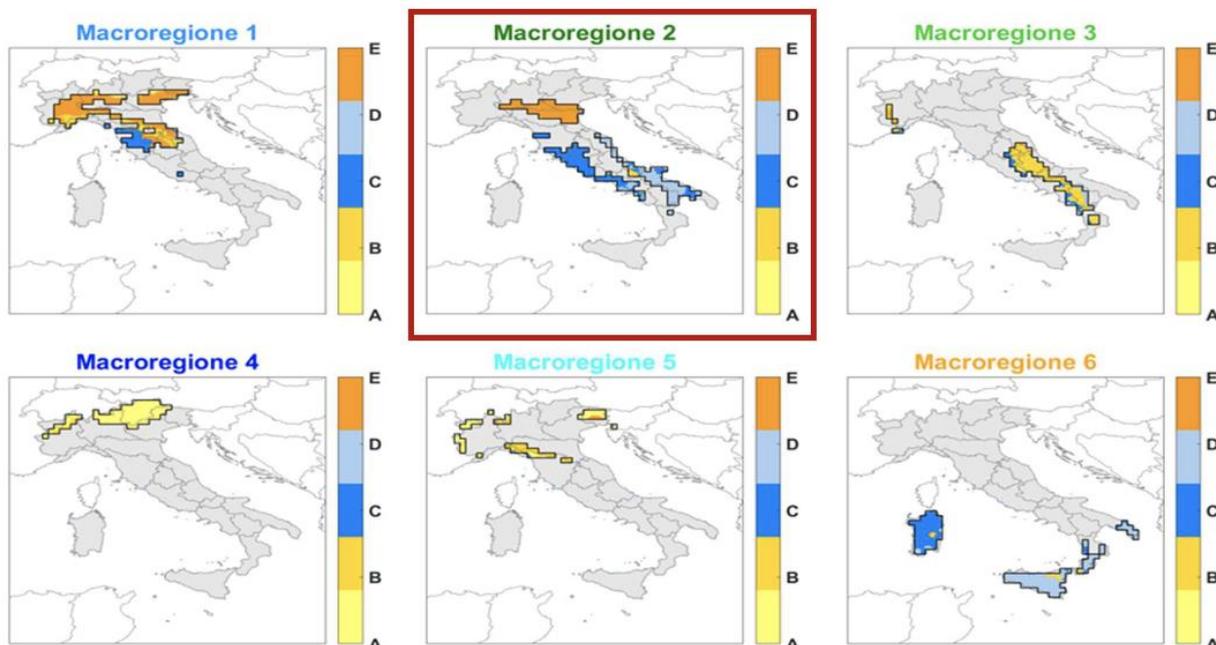
Valori medi delle macroregioni

| Macroregioni | Tmean (°C) | R20 (giorni/anno) | FD (giorni/anno) | SU95p (giorni/anno) | WP (mm) | SP (mm) | R95p (mm) | CDD (giorni/anno) |
|--------------|------------|-------------------|------------------|---------------------|---------|---------|-----------|-------------------|
| 1 | 13 | 10 | 51 | 34 | 187 | 168 | 78 | 33 |
| 2 | 14,6 | 4 | 25 | 50 | 148 | 85 | 20 | 40 |
| 3 | 16,6 | 4 | 23 | 43 | 106 | 70 | 17 | 26 |
| 4 | 5,7 | 10 | 152 | 1 | 143 | 286 | 25 | 32 |
| 5 | 8,3 | 21 | 112 | 8 | 321 | 279 | 40 | 28 |
| 6 | 16 | 3 | 2 | 35 | 179 | 21 | 19 | 70 |

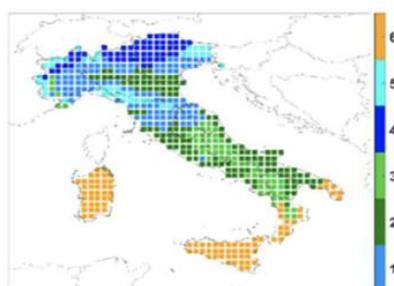
Valori medi dei cluster delle anomalie (2021-2050 vs 1981-2010)

| CLUSTER | Tmean (°C) | R20 (giorni/anno) | FD (giorni/anno) | SU95p (giorni/anno) | WP (mm) | SP (mm) | SC (giorni/anno) | Evap (mm/anno) | R95p (mm) |
|---------|------------|-------------------|------------------|---------------------|---------|---------|------------------|----------------|-----------|
| A | 1,4 | -1 | -20 | 18 | -4 | -27 | -12 | -6 | 1 |
| B | 1,3 | -1 | -19 | 9 | -2 | -24 | -8 | -3 | 3 |
| C | 1,2 | 0 | -6 | 12 | -5 | -18 | -1 | -3 | 4 |
| D | 1,2 | 1 | -9 | 14 | 8 | -25 | -1 | -2 | 11 |
| E | 1,2 | 2 | 20 | 1 | 8 | -16 | 21 | 1 | 1 |

Figura 2-10 Zonazione climatica delle anomalie (2021-2050 vs 1981-2010, scenario RCP4.5) per ciascuna delle sei macroregioni



Macroregioni climatiche omogenee



Cluster delle anomalie



Valori medi delle macroregioni

| Macroregioni | Tmean (°C) | R20 (giorni/anno) | FD (giorni/anno) | SU95p (giorni/anno) | WP (mm) | SP (mm) | R95p (mm) | CDD (giorni/anno) |
|--------------|------------|-------------------|------------------|---------------------|---------|---------|-----------|-------------------|
| 1 | 12 | 10 | 61 | 24 | 182 | 168 | 28 | 33 |
| 2 | 14.6 | 4 | 25 | 50 | 148 | 85 | 20 | 40 |
| 3 | 12.2 | 4 | 35 | 15 | 182 | 76 | 19 | 38 |
| 4 | 5.7 | 10 | 152 | 1 | 143 | 286 | 25 | 32 |
| 5 | 8.3 | 21 | 112 | 8 | 321 | 279 | 40 | 28 |
| 6 | 16 | 3 | 2 | 35 | 179 | 21 | 19 | 70 |

Valori medi dei cluster delle anomalie (2021-2050 vs 1981-2010)

| CLUSTER | Tmean (°C) | R20 (giorni/anno) | FD (giorni/anno) | SU95p (giorni/anno) | WP (mm) | SP (mm) | SC (giorni/anno) | Evap (mm/anno) | R95p (mm) |
|---------|------------|-------------------|------------------|---------------------|---------|---------|------------------|----------------|-----------|
| A | 1.5 | 1 | -23 | 1 | 13 | -11 | -20 | 2 | 5 |
| B | 1.6 | 0 | -28 | 8 | 2 | -7 | -18 | 1 | 6 |
| C | 1.5 | 1 | -14 | 12 | 7 | 3 | -1 | 2 | 13 |
| D | 1.5 | 0 | -10 | 14 | -4 | 14 | -1 | -8 | 8 |
| E | 1.5 | 1 | -27 | 14 | 16 | -14 | -9 | 2 | 9 |

Figura 2-11 Zonazione climatica delle anomalie (2021-2050 vs 1981-2010, scenario RCP8.5) per ciascuna delle sei macroregioni.

2.3.4 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 la vulnerabilità e successivamente il rischio.

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 macro categorie:

- Temperatura,
- Venti,
- Acque,
- Massa Solida

Di seguito le tabelle esplicitano e approfondiscono le macro categorie secondo Hazards climatici Cronici e Hazards Climatici Acuti.

| 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 2-2 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 2-3 Hazards Climatici Acuti

Partendo da tale suddivisione, la sintesi dell'analisi sugli *Hazards* climatici che potranno interessare la porzione territoriale all'interno della quale è inglobato il progetto in esame, è riportata di seguito.

Analisi della probabilità di accadimento di Hazards Cronici e Acuti nel contesto territoriale del progetto

Secondo gli scenari delineati in precedenza, il contesto territoriale di riferimento della prima fase funzionale del Nuovo Acquedotto Marcio è esposto ad anomalie differenti a seconda dei quadri RCP 4.5 e RCP 8.5.

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

Il risultato dato dall'incrocio delle anomalie derivanti dall'analisi degli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5, è proposto attraverso una differente campitura delle caselle in Tabella 2-4.

Secondo tre livelli di probabilità – come da definizione riportata nel paragrafo relativo alla metodologia – 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.

| |
|-------|
| Basso |
| Medio |
| Alto |

Figura 2-12 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 Innalzamento del livello del mare | Soliflusso |
| 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) Collasso di laghi glaciali | Subsidenza |

Tabella 2-4 Incrocio delle anomalie RCP 4.5 – RCP 8.5. Sintesi degli hazards climatici cronici e acuti.

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

- ad un aumento complessivo di fenomeni di precipitazione invernali anche estremi
- ad una riduzione delle precipitazioni estive con aumento significativo dei *summer days*.

2.4 Identificazione delle possibili vulnerabilità del contesto territoriale e del sistema acquedotto

2.4.1 Aspetti generali

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 2021-2050 (rispetto a 1981-2010). Tale variazione – in riferimento al contesto territoriale in esame – può raggiungere i 5°C nell'arco temporale della fine del secolo. Tra i principali risultati evidenziati dalle analisi delle proiezioni climatiche future – per il medio e il lungo periodo – vi è una diminuzione delle precipitazioni estive e un generale aumento delle precipitazioni invernali. Associato a questi segnali, qualora il contesto fosse soggetto ad elevate emissioni di gas serra, è possibile prevedere un aumento della massima precipitazione giornaliera per la stagione autunnale (Allen et al., 2018; Lean & Rind, 2009).

Sia per lo scenario ad emissioni contenute che per quello ad emissioni elevate, emerge un consistente aumento di giorni con temperatura minima superiore a 27°C in estate e, nella stessa stagione, un aumento della durata dei periodi senza pioggia. Tra le conseguenze indotte dal cambiamento climatico, gli impatti su beni e servizi ecosistemici – a sostegno dei sistemi socioeconomici attraverso la fornitura di risorse e servizi di regolazione del clima – comporterà un cambiamento dell'assorbimento/rilascio e redistribuzione del calore e dei gas atmosferici.

La valutazione di questi impatti risulta però particolarmente complessa poiché i parametri che entrano in gioco nell'identificazione delle possibili vulnerabilità, sono diversi e possono in via generale essere classificati come naturali e come derivanti da una più diretta influenza antropica.

I fattori naturali di afflusso e deflusso sono essenzialmente: le precipitazioni e l'evapotraspirazione.

Tra i fattori di origine antropica rientrerebbero le estrazioni di acqua a mezzo di pozzi e l'eventuale ricarica artificiale della falda qualora si verificassero eventi di siccità estrema. Per quanto riguarda questi ultimi fattori si è preferito tralasciarli essendo difficile, allo stato attuale, una stima attendibile.

Pertanto, concentrandosi sul comportamento delle infrastrutture dedicata al trasporto della risorsa idrica al manifestarsi di:

1. Eventi di precipitazioni intensi in regime invernale con conseguente degrado del suolo e rischio di frana:
 - L'approvvigionamento idrico potrebbe essere soggetto ad un aumento in termini di accumulo che potrebbe compromettere la capacità di trasporto dell'infrastruttura e conseguenti limitazioni sulle possibilità di governo dell'acquedotto;

- Un aumento del tasso di run-off comporterebbe un maggior dilavamento di sostanze presenti nel terreno (Benítez-Gilabert et al., 2010; Gascuel-Oudoux et al., 2010; Loos et al., 2009, 2010; Rickards & Howden, 2012) andando ad incidere sulla massa solida;
2. Diminuzione delle precipitazioni medie annue in regime estivo, aumento della temperatura massima annuale e giornaliera in concomitanza con fenomeni prolungati di siccità:
- Fenomeni di siccità e conseguente riduzione delle portate, unite a condizioni di sovra sfruttamento della risorsa idrica, possono influire sulla mobilità della risorsa in essere comportando scarsa funzionalità o, addirittura, assenza del servizio.

La sintetica panoramica sopra riportata mira ad evidenziare la variabilità dei potenziali impatti che il cambiamento climatico potrebbe comportare sulle infrastrutture di distribuzione della risorsa idrica e sulla continuità del servizio. 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 con attenzione alla messa in rete delle intere opere infrastrutturali.

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 sistema infrastrutturale idrico potranno 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 acque; (ii) di degrado del suolo. Tali valutazioni sono state svolte per delineare in fase successiva, una più coerente analisi del rischio.

2.4.2 Categoria Acque

Il rischio maggiore, collegato agli eventi piovosi estremi e in generale all'aumento di forti precipitazioni, è di natura indiretta e comporta alterazioni del territorio quali frane e cedimenti che possono compromettere la continuità, la funzionalità e la gestione della rete di distribuzione. Tale aspetto viene approfondito nel sotto paragrafo successivo dal nome "Massa Solida".

A livello di operatività gli impatti principali che possono manifestarsi in regime invernale e estivo sono:

- la mancata possibilità di approvvigionamento idrico;
- la compromissione del trasporto e della distribuzione della risorsa acqua;
- la limitazione di governo dell'infrastruttura acquedottistica;

- la riduzione della portata;
- la mancanza di mobilità e il conseguente mal funzionamento o assenza di servizio.

A seguito delle analisi condotte in riferimento al progetto in esame, la vulnerabilità del nuovo sistema acquedottistico risulta bassa rispetto agli Hazards climatici a cui questo potrebbe essere esposto (cfr. Tabella 2-5).

| Acque | |
|--|---|
| Hazard climatico | Vulnerabilità Prima fase funzionale Nuovo Acquedotto Marcio |
| Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio) | Mancata possibilità di approvvigionamento idrico |
| Variabilità idrologica o delle precipitazioni | Compromissione del trasporto e della distribuzione della risorsa idrica |
| Stress idrico | Riduzione della portata e conseguente difficoltà di gestione delle risorse a disposizione |
| Siccità | Mal funzionamento del sistema o assenza di servizio |
| Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio) | Limitazione di governo dell'infrastruttura e conseguente difficoltà di gestione dell'acquedotto |

Tabella 2-5 Vulnerabilità legata agli Hazard relativi alle acque

2.4.3 Categoria Massa solida

La variazione climatica relativa al degradamento e all'erosione del suolo influisce sul sistema di trasporto idrico all'interno di un quadro della stabilità geomorfologica del contesto territoriale di riferimento.

Come per le Acque, le vulnerabilità delle caratteristiche infrastrutturali per cedimento del suolo, sono di tipo operativo. Tali vulnerabilità sono state, dunque, trattate coerentemente all'impatto originale e relativamente agli aspetti di difesa del suolo, concorrendo alla resilienza della nuova opera infrastrutturale (cfr. Tabella 2-6).

| Massa solida | |
|-------------------------|---|
| Hazard climatico | Vulnerabilità Prima fase funzionale Nuovo Acquedotto Marcio |
| Degradazione del suolo | Possibile danneggiamento e degrado dei materiali costituenti l'opera |
| Erosione del suolo | Riduzione delle capacità meccaniche e della qualità del suolo |
| Soliflusso | Mancata possibilità di ispezione dei componenti infrastrutturali o di pozzi |
| Frana | Possibili fenomeni di danneggiamento e/o scalzamento dell'opera |

Tabella 2-6 Vulnerabilità legata agli Hazard relativi alla Massa Solida

2.5 Valutazione del Rischio

2.5.1 Aspetti generali

Nel quadro generale relativo agli acquedotti, si sollecita un cambiamento in relazione a due tipi di fenomeni climatici che influenzeranno tali opere:

1. La variazione nelle precipitazioni, che influenza negativamente la stabilità dei terreni comportando rischi che possono compromettere l'opera stessa, il funzionamento e la gestione delle risorse idriche;
2. L'aumento di valori estremi di temperatura in regime estivo, che in generale costituiscono un pericolo a livello di esposizione del contesto territoriale a stress idrici e periodi di siccità.

Di seguito si propone la valutazione dei possibili rischi a cui l'area che ingloba il progetto in esame 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 rispettivamente illustrati in legenda, così come già indicati nella metodologia.

| |
|---------------|
| Basso |
| Intermedio |
| Elevato |
| Molto elevato |

Tabella 2-7 Livelli di rischio

2.5.2 Categoria Acque

Secondo un cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni e data la variabilità idrogeologica, i rischi rispetto agli Hazards correlati alle acque risultano variare da un grado intermedio – rispettivamente al manifestarsi di fenomeni legati alla variazione e al manifestarsi di forti eventi di precipitazioni e qualora si dovessero presentare fenomeni estremi di siccità – ad un grado basso – laddove si presentano fenomeni di cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni –.

Questo è possibile perché la realizzazione della nuova infrastruttura è costituita da due acquedotti messi a sistema in grado di sopperire a qualsiasi evento naturale che dovesse provocarne il fuori servizio di una delle due linee. Inoltre, il nuovo sistema acquedottistico partirà ad una quota più bassa di 1 metro rispetto agli acquedotti esistenti; ciò affranca rispetto a eventuali ad oggi non prevedibili variazioni del livello di affioramento delle sorgenti. Di seguito la Tabella 2-8 individua il grado di rischio – dato dall'incrocio tra Hazards climatici e vulnerabilità del sistema acquedottistico –, attraverso campitura come da legenda sopra illustrata.

| Acque | |
|--|----------------|
| Hazard climatico | Rischio |
| Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio) | Basso |
| Variabilità idrologica o delle precipitazioni | Intermedio |
| Stress idrico | Intermedio |
| Siccità | Intermedio |
| Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio) | Intermedio |

Tabella 2-8 Individuazione del grado di rischio degli Hazards relativi alle acque

2.5.3 Categoria 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 acquedottistica in progetto, i rischi risultano di grado basso in quanto l'infrastruttura di trasporto è completamente realizzata in sotterranea con coperture tali da non risentire gli effetti dovuti a degradazione, erosione e movimenti gravitativi. Nello specifico, la Tabella 2-9 permette di verificare il comportamento dell'infrastruttura al manifestarsi di fenomeni climatici estremi.

| Massa solida | |
|-------------------------|----------------|
| Hazard climatico | Rischio |
| Degradazione del suolo | Basso |
| Erosione del suolo | Basso |
| Soliflusso | Basso |
| Frana | Basso |

Tabella 2-9 Individuazione del grado di rischio degli Hazards per Massa Solida

2.6 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 vulnerabilità della prima fase funzionale del Nuovo Acquedotto Marcio con conseguente rischio di esposizione.

Dalla Tabella 2-10 è possibile desumere come gli interventi previsti per la prima fase funzionale del Nuovo Acquedotto Marcio permettano di definire l'opera resiliente di fronte ai possibili eventi innescati dal cambiamento climatico in relazione alla categoria Acque.

| Acque | | |
|--|---|----------------|
| Hazard climatico | Vulnerabilità Prima fase funzionale Nuovo Acquedotto Marcio | Rischio |
| Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio) | Mancata possibilità di approvvigionamento idrico | Basso |
| Variabilità idrologica o delle precipitazioni | Compromissione del trasporto e della distribuzione della risorsa idrica | Intermedio |
| Stress idrico | Riduzione della portata e conseguente difficoltà di gestione delle risorse a disposizione | Intermedio |
| Siccità | Mal funzionamento del sistema o assenza di servizio | Intermedio |
| Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio) | Limitazione di governo dell'infrastruttura e conseguente difficoltà di gestione dell'acquedotto | Intermedio |

Tabella 2-10 Quadro di sintesi - Acque

Dalla Tabella 2-11 è possibile desumere come il progetto permetta di definire l'opera sicura rispetto a fenomeni di erosione, degrado, soliflusso e frana.

| Massa solida | | |
|-------------------------|---|----------------|
| Hazard climatico | Vulnerabilità Prima fase funzionale Nuovo Acquedotto Marcio | Rischio |
| Degradazione del suolo | Possibile danneggiamento e degrado dei materiali costituenti l'opera | Basso |
| Erosione del suolo | Riduzione delle capacità meccaniche e della qualità del suolo | Basso |
| Soliflusso | Mancata possibilità di ispezione dei componenti infrastrutturali o di pozzi | Basso |
| Frana | Possibili fenomeni di danneggiamento e/o scalzamento dell'opera | Basso |

Tabella 2-11 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, l'opera ha un **rischio basso** ai cambiamenti climatici in quanto il progetto stesso fa sì che la vulnerabilità dell'opera agli hazard climatici previsti sia bassa.

Questo è possibile grazie ai seguenti accorgimenti progettuali:

- l'opera prevede due acquedotti che determinano un sistema in grado di sopperire a qualsiasi evento naturale che dovesse provocarne il fuori servizio di una delle due linee;
- l'acquedotto in progetto è completamente realizzato in sotterraneo con coperture rispetto al piano campagna, tali da non risentire gli effetti dovuti a degradazione, erosione e movimenti gravitativi;
- il nuovo sistema acquedottistico partirà ad una quota più bassa di 1 metro rispetto agli acquedotti esistenti; ciò affranca rispetto a eventuali variazioni del livello di affioramento delle sorgenti e quindi sopperisce allo stress idrico;

In merito a quest'ultimo punto si vuole specificare che l'abbassamento di 1 metro della quota di partenza del nuovo sistema acquedottistico in progetto, in generale, risulta fonte di sicurezza in qualsiasi condizione di eventi estremi (siccità o forti perturbazioni) a causa dei quali le sorgenti potrebbero essere soggette ad intorpidimento della risorsa idrica. Infatti, tale soluzione progettuale consente di ottenere un miglior funzionamento del sistema, ottimizzando le modalità di captazione dell'acqua e garantendo sempre una buona qualità della stessa.

3 Riferimenti bibliografici

- Allen, M. R., Pauline Dube, O., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer France, W., Humphreys, S., Dasgupta, P., Millar, R., Dube, O., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Mahowald, N., Mulugetta, Y., Perez, R., Wairiu, M., ... Waterfield, T. (2018). *Special report IPCC 2018_Chapters 1*. Australia.
- Benítez-Gilabert, M., Alvarez-Cobelas, M., & Angeler, D. G. (2010). Effects of climatic change on stream water quality in Spain. *Climatic Change*, 103(3), 339–352. <https://doi.org/10.1007/S10584-009-9778-9>
- Gascuel-Oudou, C., Weiler, M., & Molenat, J. (2010). Effect of the spatial distribution of physical aquifer properties on modelled water table depth and stream discharge in a headwater catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(7), 1179–1194. <https://doi.org/10.5194/HESS-14-1179-2010>
- Lean, J. L., & Rind, D. H. (2009). How will Earth's surface temperature change in future decades? *Geophysical Research Letters*, 36(15). <https://doi.org/10.1029/2009GL038932>
- Loos, R., Gawlik, B. M., Locoro, G., Rimaviciute, E., Contini, S., & Bidoglio, G. (2009). EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 157(2), 561–568. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2008.09.020>
- Loos, R., Locoro, G., & Contini, S. (2010). Occurrence of polar organic contaminants in the dissolved water phase of the Danube River and its major tributaries using SPE-LC-MS2 analysis. *Water Research*, 44(7), 2325–2335. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.12.035>
- Ministero della Transizione Ecologica. (2020). *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici PNACC*.
- Rickards, L., & Howden, S. M. (2012). Transformational adaptation: Agriculture and climate change. *Crop and Pasture Science*, 63(3), 240–250. <https://doi.org/10.1071/CP11172>