

Banca europea per gli investimenti - BEI

CFT 1515 - Resilienza climatica nei progetti di investimento - Componente 2

Opzioni di investimento per l'adattamento ai cambiamenti climatici dell'Isola d'Ischia - per la ripresa e la ricostruzione

19.3.2024

Maribel Hernandez, Alastair Baglee, Nicolas Jarry, Paola Mercogliano, Isobel Godding, Philipp Stanzel, Christoph Libisch-Lehner, Anssi Karppinen, Alessandro Venturin, Angelo Rita, Christian Binder, Ronjon Heim, Luigi Saulino, Markku Knuuti, Adriaan Perrels e Mikko Koskivuori

Cronologia delle versioni:

Data	Redazione	Modifiche / versione
4.12.2023	Tutti i gruppi coinvolti	Prima bozza della Parte 1
6.12.2023	Maribel Hernandez	Revisione aspetti qualità
6.12.2023	Tutti i gruppi coinvolti	Modifiche basate sulla revisione della qualità
28.12.2023	Tutti i gruppi coinvolti	Prima bozza del rapporto completo
29.1.2024	Anssi Karppinen, Philipp Stanzel	Relazione completa per il riesame della BEI
20.2.2024	Elina Väänänen e il team BEI	Commenti
8.3.2024	Tutti i gruppi coinvolti	Risposta ai commenti
14.3.2024	Anssi Karppinen	Bozza finale
19.3.2024	Elina Väänänen	Commenti della BEI
19.3.2024	Anssi Karppinen	Versione finale

Indice

Sintesi.....	8
Introduzione e obiettivi.....	20
PARTE 1: Valutazione del rischio climatico e della vulnerabilità dell'isola di Ischia	22
1 Condizioni ed eventi climatici storici e attuali.....	25
1.1 Temperatura.....	25
1.1.1 Temperatura media	25
1.1.2 Giorni d'estate	26
1.1.3 Warm Spell Duration Index (WSDI)	26
1.1.4 Gradi-giorno di raffrescamento.....	27
1.1.5 Gradi-giorno di riscaldamento	28
1.1.6 Notti tropicali.....	29
1.2 Precipitazioni	29
1.2.1 Precipitazioni medie nei giorni di pioggia	29
1.2.2 Giorni di precipitazioni molto intense	30
1.2.3 Precipitazioni massime in un giorno	31
1.2.4 Giorni secchi consecutivi	31
1.3 Vento.....	32
1.3.1 Velocità del vento estrema	32
1.4 Rischi idrogeologici	34
1.4.1 Geomorfologia, geologia e sismicità	34
1.4.2 Eventi segnalati nel contesto dei rischi idrogeologici	36
1.4.3 Frane.....	39
1.4.4 Inondazioni	42
1.5 Incendi boschivi	48
1.6 Oceanografia del Mediterraneo	49
1.6.1 Livello del mare	49
1.6.2 Mareggiate	52
1.6.3 Set-up del vento e delle onde	52
1.6.4 Statistiche sul vento	52
2 Proiezioni dei cambiamenti climatici per l'isola di Ischia	56
2.1 Temperatura.....	57
2.1.1 Temperatura media	57
2.1.2 Giorni d'estate	57
2.1.3 Indice di durata periodi caldi.....	58
2.1.4 Gradi-giorno di raffrescamento	58
2.1.5 Gradi-giorno di riscaldamento	58
2.1.6 Notti tropicali.....	59
2.2 Precipitazioni	59
2.2.1 Precipitazioni medie nei giorni di pioggia	59
2.2.2 Giorni di precipitazioni molto intense	60
2.2.3 Precipitazioni massime in un giorno	60

2.2.4	Giorni secchi consecutivi	61	
2.3	Vento.....	61	
2.3.1	Velocità estrema del vento	61	
2.4	Rischi idrogeologici	62	
2.4.1	Frane.....	62	
2.4.2	Alluvioni.....	67	
2.5	Incendi boschivi	71	
2.6	Innalzamento del livello del mare e mareggiate.....	72	
2.6.1	Aumento del livello del mare.....	72	
2.6.2	Aumento dell'intensità delle tempeste	74	
2.6.3	Tendenze delle tempeste.....	76	
2.7	Sintesi delle proiezioni climatiche e classificazione dei cambiamenti dei rischi climatici per la valutazione della vulnerabilità.....	78	
3	Valutazione della vulnerabilità, potenziali impatti climatici e possibili attività di adattamento		82
3.1	Strade.....	83	
3.1.1	Le strade a Ischia	83	
3.1.2	Sensibilità al clima e potenziali impatti climatici sulle infrastrutture stradali a Ischia	83	
3.1.3	Frane generali (smottamenti, caduta di detriti e rocce)	84	
3.1.4	Inondazioni	86	
3.1.5	Aumento del livello del mare.....	88	
3.1.6	Incendi boschivi	88	
3.1.7	Aumento della temperatura	89	
3.1.8	Cambiamenti nei modelli di precipitazione	90	
3.1.9	Aumento della frequenza degli eventi estremi	90	
3.1.10	Periodi di siccità più lunghi	90	
3.1.11	Altri problemi.....	90	
3.1.12	Sintesi dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici.....	90	
3.1.13	Matrice di vulnerabilità.....	93	
3.1.14	Potenziali attività di adattamento	94	
3.1.15	Risultati della missione sul campo	97	
3.1.16	Attività di adattamento consigliate.....	99	
3.2	Edifici.....	101	
3.2.1	Patrimonio edilizio di Ischia	101	
3.2.2	Aumento delle temperature	103	
3.2.3	Cambiamenti nei modelli di precipitazione	104	
3.2.4	Aumento della frequenza degli eventi estremi	104	
3.2.5	Periodi di siccità più lunghi	104	
3.2.6	Aumento del vento	105	
3.2.7	Innalzamento del livello del mare	105	
3.2.8	Qualità delle acque sotterranee e variazioni di profondità	105	
3.2.9	Frane (smottamenti, caduta di detriti e rocce)	105	
3.2.10	Inondazioni	107	
3.2.11	Incendi boschivi	108	

3.2.12	Infrastrutture critiche - l'ospedale dell'isola	109
3.2.13	Altre questioni rilevanti per il settore edilizio	110
3.2.14	Sintesi dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici.....	110
3.2.15	Potenziali attività di adattamento	112
3.2.16	Attività di adattamento consigliate.....	114
3.3	Porti e infrastrutture costiere	116
3.3.1	Inondazione costiera.....	116
3.3.2	Erosione costiera.....	121
3.3.3	Raccomandazioni generali per l'adattamento al cambiamento climatico delle coste	125
3.4	Approvvigionamento idrico e acque reflue.....	131
3.4.1	Importanza socioeconomica dell'approvvigionamento idrico a Ischia	131
3.4.2	Metodologia per la valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche e sull'approvvigionamento idrico	131
3.4.3	Risorse idriche	132
3.4.4	Approvvigionamento e utilizzo dell'acqua a Ischia.....	133
3.4.5	Stato attuale delle infrastrutture per le acque reflue	134
3.4.6	Impatto dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche, sull'approvvigionamento idrico, sull'irrigazione e sul trattamento delle acque reflue.....	134
3.4.7	Valutazione della vulnerabilità.....	140
3.4.8	Attività di adattamento possibili e raccomandate	141
3.5	Fornitura di energia	147
3.5.1	Introduzione	147
3.5.2	Rete elettrica a Ischia	147
3.5.3	Frane.....	148
3.5.4	Inondazioni fluviali	149
3.5.5	Incendi boschivi	150
3.5.6	Aumento del livello del mare.....	151
3.5.7	Aumento della temperatura	152
3.5.8	Altri rischi climatici	152
3.5.9	Impianto geotermico	153
3.5.10	Rete gas	156
3.5.11	Valutazione della vulnerabilità.....	158
3.5.12	Potenziali attività di adattamento	159
3.5.13	Attività di adattamento consigliate.....	164
3.6	Turismo	165
3.6.1	Turismo a Ischia	165
3.6.2	Principali vulnerabilità climatiche per il settore turistico.....	165
3.6.3	Impatti climatici osservati ed effetto degli eventi passati	165
3.6.4	Attività di adattamento consigliate.....	166
3.7	Agricoltura.....	169
3.7.1	Agricoltura a Ischia.....	169
3.7.2	Focus sulla viticoltura	170
3.7.3	Principali vulnerabilità climatiche della viticoltura	171
3.7.4	Impatti climatici osservati sulla viticoltura a Ischia	171

3.7.5	Potenziali impatti del cambiamento climatico sulla viticoltura a Ischia	172
3.7.6	Valutazione della vulnerabilità climatica della viticoltura a Ischia	175
3.7.7	Possibili attività di adattamento per la viticoltura a Ischia	176
3.8	Soluzioni forestali e naturalistiche	178
3.8.1	Foreste a Ischia	178
3.8.2	Temperatura dell'aria	184
3.8.3	Incendi boschivi	184
3.8.4	Cambiamenti nei modelli di precipitazione	185
3.8.5	Vento	185
3.8.6	Soluzioni naturalistiche consigliate	185
3.9	Attività di adattamento intersettoriali raccomandate relative ai rischi idrogeologici	188
3.9.1	Aree per attività di adattamento intersettoriali	188
3.9.2	Attività strutturali	191
3.9.3	Pianificazione territoriale e paesaggistica e mappatura dettagliata del rischio di frane e alluvioni	192
3.9.4	Catasto, inventario e documentazione degli eventi di rischio naturale in tutta l'isola	193
3.9.5	Sistema di monitoraggio, preallarme e allarme dei rischi naturali	193
3.10	Raccomandazioni progettuali per la ricostruzione di Ischia	197
3.10.1	Progettazione idraulica basata su proiezioni di precipitazioni estreme future (curve IDF)	197
3.10.2	Strutture costiere	197
3.10.3	Parametri di progettazione della temperatura per gli edifici	198
3.11	Risultati chiave sul potenziale impatto climatico, sulla vulnerabilità settoriale e sulle possibili attività di adattamento	198
PARTE 2: Piano di investimento per l'adattamento ai cambiamenti climatici		202
4	Analisi costi-benefici delle attività di adattamento	203
4.1	Introduzione	203
4.1.1	Verso un'ACB a più livelli	203
4.2	Punti di partenza generali	209
4.3	Risultati di sintesi per i progetti prioritari	211
4.4	Descrizioni più dettagliate delle valutazioni per settore	214
4.4.1	Introduzione	214
4.4.2	Sistema di allarme multirischio rapido	215
4.4.3	Gestione forestale e delle acque	215
4.4.4	Porto di Ischia resiliente al clima	218
4.4.5	Progetti stradali	220
4.4.6	Progetti edilizi	223
4.4.7	Progetti legati al turismo	225
4.5	Sforzi di adattamento per sostenere la produzione di uva e vino	226
5	Raccomandazioni sulle opzioni di investimento per l'adattamento ai cambiamenti climatici	228
5.1	Investimenti a breve termine	228
5.2	Investimenti a medio-lungo termine	231

6	Raccomandazioni per rafforzare la gestione dei progetti	233
6.1	Competenze del team della Struttura Commissariale.....	233
6.2	Monitoraggio.....	233
APPENDICI.....		1
1	Eventi di precipitazioni estreme osservati a Ischia.....	2
1.1	Introduzione	2
1.2	Evento del 26 novembre 2022	4
1.3	Evento del 25 novembre 2016	9
1.4	Conclusioni	12
2	Mappe Climatiche	13
2.1	Temperatura.....	13
2.2	Precipitazioni	19
2.3	Vento.....	23
3	Valutazione dell'evento disastroso del 26 novembre 2022	24
3.1	Documentazione.....	24
3.2	Evento di precipitazione scatenante	28
3.3	Conclusioni	30
4	Ulteriori informazioni sull'oceanografia mediterranea.....	31
4.1	Statistiche sul vento	31
4.2	Statistiche delle onde.....	35
4.3	Strutture artificiali di difesa costiera.....	39
5	Risultati dettagliati per le curve IDF in presenza di cambiamenti climatici	45
6	Stime dettagliate dei costi per le attività di adattamento proposte per l'approvvigionamento idrico e la rete fognaria	48
6.1	Stime dei costi per l'implementazione di sistemi ridondanti per la rete di distribuzione in aree a rischio di frana.....	48
6.2	Stime dei costi per la trasformazione della rete fognaria mista in zone a rischio in una rete fognaria separata.....	49
6.3	Stime dei costi per la trasformazione della rete fognaria mista in aree a basso o nullo rischio di frana in una rete fognaria separata	51
6.4	Stime dei costi per il miglioramento delle infrastrutture di drenaggio delle acque piovane	52

Sintesi

Nel novembre 2022, piogge estreme hanno colpito l'isola italiana di Ischia. Le piogge torrenziali hanno causato frane e allagamenti. Sono state registrate diverse vittime e danni alle infrastrutture. Il governo italiano ha dichiarato lo stato di emergenza per l'area e ha approvato i fondi per le operazioni di ripresa e ricostruzione.

In precedenza, nel 2017, un terremoto aveva già causato ingenti danni nel nord dell'isola e il governo italiano aveva assegnato una Commissione Speciale (Struttura Commissariale) per l'assistenza alla popolazione, la ricostruzione e la ripresa economica. Dopo la frana del 2022, è stato assegnato un ulteriore Commissario delegato, responsabile delle attività di protezione e ricostruzione legate alle frane.

Il presente studio vuole essere un supporto per l'isola di Ischia nella pianificazione della ripresa e della ricostruzione post-disastro e fornire le informazioni necessarie per "ricostruire meglio", tenendo conto degli effetti futuri dei cambiamenti climatici. Lo scopo di questo studio è quello di identificare le attività di adattamento ai cambiamenti climatici, le opzioni di investimento e i requisiti per i progetti tecnici per la ricostruzione dell'isola di Ischia. I risultati saranno un punto di partenza valido per la strategia di ricostruzione di Ischia volta al miglioramento della resilienza climatica delle aree colpite, anche attraverso il rafforzamento delle conoscenze già possedute e l'approfondimento di nuovi aspetti riguardanti le tematiche sopracitate delle autorità competenti.

Questo lavoro è parte di una collaborazione tra il Commissario straordinario per la Protezione civile di Ischia e la Banca europea per gli investimenti (BEI).

Al fine di raggiungere questi obiettivi, l'incarico è stato suddiviso nei seguenti compiti principali:

- lo sviluppo di una valutazione dei principali rischi fisici derivanti dai pericoli climatici sull'isola di Ischia nel medio termine (fino al 2050), con particolare attenzione alle variazioni delle precipitazioni e al rischio associato ad inondazioni e frane;
- la formulazione di indicazioni per l'adattamento degli investimenti nel settore pubblico, e di raccomandazioni di adattamento e progettazione da integrare nel progetto tecnico degli investimenti infrastrutturali previsti nel piano di ricostruzione dell'isola;
- l'elaborazione di un piano di investimento per l'adattamento ai cambiamenti climatici, che includa le opzioni di adattamento selezionate e le stime dei costi;
- la compilazione di indicazioni per rafforzare le capacità di gestione dei progetti, il monitoraggio della loro pianificazione ed esecuzione, e la gestione dei rischi.

Per l'identificazione dei principali rischi climatici, dei loro impatti, e per lo sviluppo di indicazioni per le attività di adattamento, ci si è avvalsi delle seguenti fonti:

- dati, informazioni e analisi elaborati dalla Struttura Commissariale;
- materiale informativo sulle valutazioni effettuate da altri enti italiani;
- dati dei modelli climatici ad alta risoluzione dei più recenti studi scientifici, in conformità con le relative strategie nazionali di adattamento al clima;
- sopralluoghi nelle aree rilevanti dell'isola di Ischia per raccogliere dati locali;
- consultazione degli stakeholder, con la partecipazione della Struttura Commissariale e altri enti interessati;
- valutazione della letteratura relativa agli impatti dei cambiamenti climatici e all'adattamento climatico in contesti simili;
- modelli e simulazioni per approfondire la conoscenza dei rischi climatici e del loro impatto e per formulare e dare priorità alle linee guida di adattamento.

Le visite per raccogliere informazioni e dati locali sono state pianificate insieme al principale stakeholder locale, la Struttura Commissariale, con l'inclusione di altri gruppi rilevanti. L'inclusione degli stakeholder

durante l'esecuzione del progetto ha avuto lo scopo non solo di garantire una raccolta efficace di dati locali, ma anche di facilitare un coinvolgimento attivo ed un utilizzo efficace dei risultati del lavoro.

Il presente rapporto fornisce una sintesi dei dati raccolti, delle analisi condotte e dei principali risultati come principale deliverable per la BEI e la Struttura Commissariale. La prima parte del rapporto (capitoli da 1 a 3) fornisce una valutazione del rischio climatico e della vulnerabilità (VRCV) dell'isola relativo alle infrastrutture e ai settori economici più rilevanti, e include la valutazione dei principali rischi climatici fisici e la raccomandazione di attività di adattamento. La seconda parte (capitoli da 4 a 6) si concentra sulle valutazioni economiche e finanziarie, con un'analisi costi-benefici e la conseguente prioritizzazione delle attività di adattamento e indicazioni sul rafforzamento della gestione dei progetti nell'isola di Ischia.

Nonostante le numerose indicazioni per l'adattamento fornite come risultato del presente lavoro, l'elenco non è da considerarsi esaustivo. Ulteriori studi per identificare le misure di adattamento appropriate per diverse aree a rischio sono riportati come parte dei risultati. Questo studio si è concentrato anche sulle vulnerabilità per le quali la Struttura Commissariale non aveva già pianificato attività di ricostruzione o adattamento ("Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione", 2023). Tuttavia, questo rapporto fornisce raccomandazioni e criteri di progettazione che dovrebbero essere seguiti nella pianificazione e progettazione di tali attività.

Condizioni ed eventi climatici storici e attuali

Il capitolo 1 di questo rapporto fornisce una panoramica delle condizioni climatiche storiche e attuali e degli eventi meteorologici osservati. L'analisi climatica si basa su ERA5@2km, noto anche come VHR-REA_IT, acronimo di Very High-Resolution ReAnalysis for Italy, sviluppato dal Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC). ERA5@2km è un dataset per le condizioni climatiche storiche su tutto il territorio italiano, ottenuto attraverso la combinazione di dati osservati e simulazioni di modelli meteorologici, con disponibilità oraria di una risoluzione spaziale di circa 2 km per il periodo 1981-2020. In questo studio, l'uso di questo dataset ad alta risoluzione dovrebbe consentire di evidenziare caratteristiche climatiche più localizzate e permettere di analizzare periodi più lunghi di quelli coperti dalle osservazioni delle stazioni locali.

Per l'analisi dei rischi idrogeologici sono state raccolte e analizzate informazioni sugli eventi storici di frana e sulla zonazione esistente del rischio di frana e di alluvione.

Proiezioni dei cambiamenti climatici per l'isola di Ischia

Il capitolo 2 del presente rapporto descrive le proiezioni dei cambiamenti climatici fornite dai modelli regionali del programma EURO-CORDEX, con una risoluzione spaziale di circa 12 km. Le analisi di queste proiezioni sono in accordo con le analisi effettuate per il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC). Per ciascuno dei tre scenari di emissioni di gas serra considerati (RCP2.6, emissioni molto basse; RCP4.5, emissioni medie; RCP8.5, emissioni molto elevate), sono state utilizzate 14 simulazioni climatiche EURO-CORDEX, fornite da diverse combinazioni di modelli climatici globali (GCM) e regionali (RCM). I dati sull'innalzamento del livello del mare sono stati ottenuti dai modelli climatici globali e da un modello oceanico regionale del Mar Mediterraneo (NEMO). Come orizzonte temporale per le proiezioni è stato considerato un periodo intorno al 2050, come deciso dalla BEI, dalla Struttura Commissariale e dagli esperti climatici del Consorzio dei Consulenti.

Le proiezioni dei modelli climatici sono soggette a incertezze, dovute ai diversi scenari di concentrazione considerati, alla simulazione imperfetta del sistema climatico da parte dei modelli e alla complessità e non linearità intrinseca del sistema. Per questo motivo, soprattutto nel supporto alle decisioni, è preferibile una strategia che utilizzi diversi scenari e un insieme di modelli climatici. Questa strategia, applicata ai modelli EURO-CORDEX, consente di quantificare alcune delle fonti di incertezza associate ai modelli.

Le proiezioni dei cambiamenti climatici più rilevanti per l'isola di Ischia per il periodo fino al 2050 sono riassunte come segue:

Temperatura

- Si prevede che la temperatura media aumenterà tra 1°C (RCP2.6) e 1,8°C (RCP8.5).
- Il numero di giorni estivi ($T > 29,2^{\circ}\text{C}$) dovrebbe aumentare in tutti gli scenari di emissione, tra 7 giorni (RCP2.6) e 14 giorni (RCP8.5).
- Il numero di notti tropicali (temperatura minima $> 20^{\circ}\text{C}$) dovrebbe aumentare in tutti gli scenari di emissione, tra 21 giorni (RCP2.6) e 36 giorni (RCP8.5).

Precipitazioni

- Non sono previste variazioni rilevanti per le precipitazioni medie giornaliere durante i giorni di pioggia.
- Le precipitazioni estreme (record annuale di precipitazioni in un giorno) dovrebbero aumentare in tutti gli scenari di emissione, tra 4 mm (RCP2.6) e 8 mm (RCP8.5).
- La durata dei periodi di siccità (numero di giorni consecutivi di siccità) è prevista in aumento sia con RCP4.5 (+3 giorni) che con RCP8.5 (+2 giorni), mentre non si prevedono cambiamenti con RCP2.6.

Vento

- Non sono previsti cambiamenti rilevanti nella velocità estrema del vento (con una piccola diminuzione indicata con RCP8.5).

Rischi idrogeologici

- *Frane:* In base alle proiezioni sui cambiamenti climatici delle precipitazioni, la probabilità di fenomeni franosi dovrebbe variare tra il -15% e il +20% in un regime climatico futuro relativo all'intervallo 2040-2060, a seconda dello scenario climatico applicato. Un aumento più significativo potrebbe essere previsto per eventi molto estremi con un potenziale disastroso, come l'evento del 2022.
- *Alluvioni:* Le precipitazioni estreme con periodi di ritorno tra 5 e 100 anni dovrebbero aumentare tra il 5% e il 25%, a seconda del periodo di ritorno e dello scenario di emissione. Si prevede che ad Ischia, le alluvioni su piccola scala, causate dalle precipitazioni, mostreranno un aumento simile al deflusso delle piene. Simulazioni numeriche del deflusso delle piene basate sull'aumento delle precipitazioni temporalesche saranno effettuate in studi scientifici successivi per la Struttura Commissariale.

Incendi boschivi

- Con l'indice meteorologico degli incendi in netto aumento (con incrementi maggiori negli scenari a più alte emissioni), si prevede che il pericolo di incendi boschivi aumenterà nel clima futuro.

Aumento del livello del mare

- I modelli oceanici regionali indicano un aumento di 0,19 m con RCP8.5 entro il 2050. Le proiezioni dei modelli globali con RCP8.5 variano con un aumento tra gli 0,17 m e gli 0,34 m, con valori medi complessivi intorno ai 0,25/0,26 m. Questi ultimi valori sono stati adottati per ulteriori modellizzazioni di impatto.
- L'analisi della letteratura non mostra una chiara tendenza a cambiamenti futuri delle mareggiate nel Mar Mediterraneo. Pertanto, nelle analisi d'impatto non è stata ipotizzata alcuna variazione.

Sulla base dei cambiamenti previsti nelle diverse variabili climatiche e relativi pericoli, la gravità della variazione dei principali pericoli legati agli eventi climatici è stata valutata e classificata su una scala da 1 (piccolo cambiamento) a 3 (grande cambiamento). Questa classificazione si basa sul giudizio di esperti e considera l'entità del cambiamento futuro previsto, l'incertezza legata alle proiezioni e la variabilità naturale per ciascuno dei pericoli climatici. Per il caldo e le inondazioni costiere, la variazione del rischio è stata classificata come 3 (grande). Per la siccità, gli incendi, le precipitazioni temporalesche, le esondazioni fluviali e le frane, il cambiamento è stato classificato come 2 (medio). L'esposizione delle infrastrutture e

delle attività economiche a questi rischi in evoluzione è stata considerata nella valutazione della vulnerabilità settoriale.

Valutazione della vulnerabilità, potenziali impatti del clima e possibili attività di adattamento

Il Capitolo 3 del rapporto fornisce una valutazione dei potenziali impatti climatici sui principali settori e sulle attività economiche dell'isola di Ischia, sulla base delle proiezioni dei cambiamenti climatici per i rischi relativi. In combinazione con le specifiche sensibilità climatiche dei beni di proprietà e delle operazioni di ciascun settore, è stata valutata la vulnerabilità climatica di ogni ambito. Considerando le principali vulnerabilità climatiche, sono state identificate le possibili attività di adattamento e, ove possibile, è stato stimato il costo delle attività consigliate.

Il Capitolo 3 fornisce valutazioni per i settori chiave quali strade, edifici (compreso l'ospedale dell'isola), porti e infrastrutture costiere, dell'approvvigionamento idrico e delle acque reflue, dell'approvvigionamento energetico, del turismo, dell'agricoltura, della selvicoltura e delle soluzioni naturalistiche. Vengono fornite raccomandazioni intersettoriali per le attività di adattamento più efficaci relative ai rischi idrogeologici (frane e alluvioni), considerati i rischi climatici più pericolosi per Ischia. Un'ulteriore sezione intersettoriale fornisce raccomandazioni generali per la progettazione di una ricostruzione resiliente al clima. I risultati principali possono essere riassunti come segue:

Adattamento intersettoriale ai rischi idrogeologici

- Le frane e le alluvioni sono considerate i principali pericoli legati agli eventi climatici. Per le loro caratteristiche e per la loro diffusione, possono avere un impatto simultaneo su diverse infrastrutture e settori economici.
- Le attività di adattamento strutturale possono ridurre selettivamente il rischio idrogeologico.
- Le attività di adattamento non strutturali, come la mappatura aggiornata del rischio di frane e alluvioni per una migliore pianificazione territoriale e paesaggistica insieme ad un sistema di monitoraggio e allarme dei rischi naturali su tutta l'isola, miglioreranno la preparazione della società isolana a rispondere ai rischi idrogeologici.

Strade

- In generale, le strade di Ischia soffrono della mancanza di un monitoraggio continuo delle loro condizioni e della manutenzione effettuata. Si raccomanda di preparare annualmente piani di manutenzione sistematici, utilizzando il moderno Road Asset Management System (RAMS). Le strade ben mantenute sono generalmente più resistenti ai rischi climatici rispetto a quelle che presentano debolezze strutturali e difetti della pavimentazione.
- Per molte località, soprattutto per le strade di categoria superiore, sono state proposte attività di adattamento specifiche, basate sui risultati di una missione sul campo e sulle informazioni fornite dalla Struttura Commissariale e dagli stakeholder locali. Queste includono, ad esempio, misure di protezione contro le frane e il miglioramento del drenaggio.
- Si raccomanda una valutazione più dettagliata del rischio climatico per le strade e si fornisce una metodologia per tale valutazione. Una valutazione più dettagliata del rischio, insieme agli inventari sul campo, possono fornire informazioni di base per ulteriori attività di adattamento ai cambiamenti climatici.

Edifici

- I rischi più significativi per gli edifici sono legati alle frane. Si raccomandano precise valutazioni del rischio per le aree problematiche identificate, al fine di determinare le specifiche attività locali e dare priorità ai progetti consigliati. Per le aree a rischio di alluvione, sono necessari studi specifici sulle alluvioni per valutare in dettaglio il rischio relativo e sviluppare attività di adattamento precise.

- La siccità provocherà incendi boschivi che minacceranno le aree densamente popolate. Si raccomanda il controllo della vegetazione e una maggiore sorveglianza per ridurre il rischio di diffusione degli incendi nelle aree urbane.
- L'aumento delle temperature si ripercuoterà sugli edifici e sugli occupanti. Le attività di adattamento passivo, come i frangisole, possono essere utilizzate per ridurre il fabbisogno di riscaldamento interno, ma con buona probabilità sarà necessario accopiarli al condizionamento dell'aria al fine di fornire un raffreddamento immediato nei periodi di caldo estremo. L'ospedale di Ischia, in quanto infrastruttura critica, viene indicato come una potenziale priorità di adattamento.

Porti e infrastrutture costiere

- Si prevede che la trasgressione marina raggiungerà gli 1,26 metri sopra il livello del mare durante una mareggiata con periodo di ritorno di 100 anni a Ischia entro il 2050 e + 2,26 m se si considera anche il moto ondoso (rilevante per le aree prive di strutture di protezione costiera). Il porto di Ischia è già particolarmente minacciato dagli attuali livelli del mare, con un rischio maggiore previsto in futuro. Il porto necessita infatti di misure urgenti per aumentare l'altezza delle banchine del lato orientale.
- L'erosione costiera sta interessando Ischia soprattutto sulle coste sud-occidentali, occidentali e nord-occidentali dell'isola. Alcuni siti turistici, strade e persino l'eliporto dell'isola sono minacciati dall'erosione costiera. Sono dunque state fornite raccomandazioni di adeguamento e misure di protezione per i luoghi più critici.
- È probabile che anche molte altre strutture costiere debbano essere nuovamente progettate e migliorate per tenere conto dell'aumento del livello del mare. Tuttavia, l'imprecisione del modello digitale di trasgressione non ha permesso di effettuare questa mappatura nell'ambito del presente incarico e sono dunque necessari ulteriori studi.

Approvvigionamento idrico e acque reflue

- Attualmente il sistema di approvvigionamento idrico si basa su fonti continentali; la diversificazione delle fonti idriche sarebbe quindi un'importante attività di adattamento a lungo termine.
- Gran parte delle infrastrutture della rete idrica e fognaria dell'isola è soggetta ad alto rischio di frane.
- Le attività di adattamento prioritarie raccomandate per il sistema di approvvigionamento idrico sono l'implementazione di sistemi ridondanti nelle aree ad alto rischio e la preparazione di sistemi di trattamento d'emergenza; la resilienza del sistema fognario necessita migliorie, auspicabilmente portando a una trasformazione del sistema fognario misto.

Fornitura di energia

- Nonostante la mancanza di mappe dettagliate della rete elettrica, i principali rischi climatici per la trasmissione e distribuzione energetica, comprese le sottostazioni e i tralicci, sono stati identificati nelle frane, inondazioni, incendi e innalzamento del livello del mare. Per due sottostazioni si raccomandano studi più dettagliati sul rischio di alluvione.
- La maggior parte di questi rischi sono intrinseci dell'ambiente in cui i complessi sono stati edificati e l'infrastruttura energetica beneficerebbe in generale di attività di adattamento a livello di distretto. Tuttavia, sono state identificate attività di adeguamento specifiche per l'energia, come il cablaggio sotterraneo (interramento cavi elettrici) per la rete di distribuzione.
- Per quanto riguarda la rete del gas sotterranea, laddove presente, può essere interessata da un livello minimo di rischio legato a frane, incendi e inondazioni.

Turismo

- Diversi siti e località turistiche di Ischia sono stati identificati come vulnerabili alla caduta di massi, alle frane e all'erosione costiera. Per questi siti sono state fornite diverse raccomandazioni sulle attività di adattamento.
- I danni alle infrastrutture di Ischia dovuti ai rischi climatici causano disagi anche per il turismo, a causa dell'allungamento dei tempi di viaggio, dei problemi di sicurezza e della qualità dell'acqua. Le attività di adattamento indicate sono quindi di beneficio anche per questo settore.

Agricoltura

- La produzione di uva e la qualità del vino potrebbero ridursi a causa dell'aumento della temperatura e della minore disponibilità di acqua. Le pratiche agricole che favoriscono l'adattamento ai cambiamenti climatici sono l'uso di varietà di uva che tollerano il calore e la siccità, l'uso di reti ombreggianti o di materiali per la protezione solare, la progettazione dei vigneti in modo da ridurre l'esposizione al sole e al calore estremo nonché le tecniche di gestione del suolo per aumentarne la resa e conservarne l'umidità, come la pacciamatura.
- La drastica riduzione della produzione di uva potrebbe essere causata da malattie, come la flavescenza dorata, dovute all'aumento dei livelli di umidità nell'atmosfera durante i periodi attualmente secchi e caldi. Si raccomanda un monitoraggio continuo e sistemi di allerta preventivi.
- L'erosione del suolo, i danni agli edifici, ai beni dell'agricoltura viticola e alle strade di collegamento possono essere causati da eventi di precipitazione estremi e da frane indotte dalle precipitazioni. Continuare a coltivare la vite su terrazze, come già avviene sull'isola, è una buona attività di adattamento, oltre ad accedere ai sistemi di allarme rapido.

Soluzioni forestali e naturali

- La gestione delle foreste mediterranee secondo un piano di gestione aiuta a mitigare il rischio di frana nei suoli andici (Andisol) di Ischia.
- La vegetazione di scogliera richiede una gestione dedicata per controllare l'innesco delle frane.

Raccomandazioni di progettazione per la ricostruzione

- Per tutte le progettazioni idrauliche future, si raccomanda un aumento del 5-25% sulle ipotesi di piovosità nel progetto basate sulle precipitazioni osservate (curve IDF) per tenere conto delle maggiori intensità di precipitazione dovute ai cambiamenti climatici.
- Le strutture di protezione costiera richiedono studi di progettazione più dettagliati al fine di ottenere un progetto aggiornato (basato su studi meteo-oceanici per determinare le caratteristiche del moto ondoso e considerare il futuro innalzamento del livello del mare).
- Per gli edifici, si raccomandano misure di raffreddamento passivo per adattarsi all'aumento delle temperature. I sistemi di raffreddamento attivo, almeno nelle infrastrutture critiche come gli ospedali, dovrebbero essere progettati tenendo conto delle proiezioni di temperatura.

Ulteriori studi necessari per confermare le principali vulnerabilità fisiche del clima

Sebbene nel presente studio siano state rilevate diverse vulnerabilità climatiche di rilievo, non è stato possibile confermarle a causa dell'insufficienza di dati di base e a causa delle incertezze dell'approccio di alto livello adottato per la VRCV dell'isola:

- La sottostazione elettrica accanto a Ischia Porto si trova a un livello relativamente basso, ma con i dati attualmente disponibili non è possibile confermare se il sito sia a rischio per innalzamento del livello del mare. Lo stesso vale anche per gli altri edifici nell'area a sud e sud-ovest del porto di Ischia.

- La stazione elettrica (collegamento via cavo con la terraferma) vicino all'ospedale di Ischia si trova in prossimità di un'area a rischio di alluvione, ma gli attuali risultati basati su modelli non possono confermare il reale stato di rischio del sito.
- La parte orientale dell'area portuale di Ischia è vulnerabile alla sommersione, ma l'attuale precisione del modello digitale di elevazione non consente di valutare se anche l'area urbana intorno al porto (sud, sud-ovest, ovest) sia vulnerabile. L'area in questione comprende anche una grande sottostazione elettrica.
- Sono necessari studi separati per determinare le attività di adattamento alle frane e alle alluvioni necessarie per diverse aree a rischio a Ischia. Queste aree comprendono soprattutto case, alberghi, strade e altre infrastrutture.

I costi e i dettagli di molte attività di adattamento raccomandate sono inclusi in questo lavoro, ma molti siti richiedono ancora ulteriori valutazioni per chiarire i rischi e determinare le esatte attività di adeguamento necessarie. Gli studi raccomandati per valutazioni del rischio più precise, spesso a livello locale, per la pianificazione e progettazione delle attività di adattamento, dovrebbero essere eseguiti con la massima priorità per consentire il riconoscimento delle possibili vulnerabilità climatiche e della pianificazione dettagliata delle attività di adattamento raccomandate dalla Struttura Commissariale. La Tabella 0.1 presenta gli studi raccomandati, mentre gli studi propedeutici alle attività di adattamento sono presentati nel Capitolo 6.1.

Tabella 0-1. Si raccomandano ulteriori studi per fornire informazioni per una più precisa valutazione del rischio e per la pianificazione e progettazione delle attività di adattamento.

ID	Comune	Settore principale	Pericolo principale	Descrizione dell'attività di adattamento	Stima dei costi [M€]
39	Tutti	Studio	Comune	Modello digitale di elevazione	0,05 M€
41	Tutti	Studio	Comune	Catasto, inventario e documentazione degli eventi di rischio naturale	0,3 M€
36	Tutti	Studio	Alluvione	Modello di alluvione	0,25 M€
37	Tutti	Studio	Frana	Valutazione delle frane	0,25 M€
40	Tutti	Studio	Aumento del livello del mare	Modello costiero	0,2 M€
42	Tutti	Studio	Frana	Studi di fattibilità per gli investimenti 4,5,6 (aree ad alto rischio di frana)	0,3 M€
43	Tutti	Studio	Comune	Inventario delle strade per la mappatura delle condizioni e del rischio granulare. Dovrebbe includere le dimensioni e le quantità di traffico delle strade.	0,1 M€

Analisi costi-benefici

Le sfide multirischio di Ischia richiedono un'analisi multidisciplinare integrata di rischi, fattori e opportunità. Il capitolo 4 di questo rapporto presenta un'analisi costi-benefici (ACB) delle attività di adattamento identificate nelle valutazioni settoriali. Va notato che, dato l'ambito del progetto, l'analisi costi-benefici è stata condotta principalmente a livello delle singole attività di adattamento identificate, piuttosto che per

pacchetti alternativi di attività in cui sarebbero stati presi in considerazione gli effetti di interazione sui livelli di rischio rimanenti. La mancanza di dati preclude quest'ultima opzione.

Un portafoglio di investimenti diversificato per migliorare la resilienza delle infrastrutture e dei settori contro i rischi naturali consentirà di ridurre strutturalmente i rischi solo se l'uso sostenibile del territorio e delle risorse idriche sarà perseguito sistematicamente. Ciò significa che, oltre alle misure di protezione, alla manutenzione, al monitoraggio e ai sistemi di allerta, citati nel presente rapporto, è necessario un piano generale e una politica di supporto per garantire un uso sostenibile del territorio e delle risorse idriche. Questo può essere realizzato in parte attraverso la regolamentazione e l'ispezione, come si fa talvolta riferimento in questo rapporto, ma necessita probabilmente anche dell'intervento di motori economici.

La sintesi del capitolo 4.3 fornisce i risultati delle misure prioritarie per tipologia di infrastruttura o settore e per gruppo di attività di adattamento. I costi riguardano principalmente le spese di realizzazione di un'attività di adattamento, nonché il monitoraggio e la manutenzione durante la vita di queste strutture protettive. I benefici consistono in (1) riduzione dei danni fisici e dei costi di riparazione associati, (2) riduzione dei costi della funzionalità (temporanea) limitata (di un'abitazione, di un hotel, di un'infrastruttura di trasporto), (3) riduzione o annullamento degli effetti deterrenti sul turismo e (4) riduzione del numero di incidenti. Molte delle misure sembrano produrre benefici sufficienti a giustificare i costi di investimento e operativi.

Anche se i risultati sono mostrati singolarmente per tipo di infrastruttura o settore, vi è una significativa interazione e sinergia tra le misure adottate in diverse aree dell'isola di Ischia. Tali effetti possono essere spiegati in misura limitata. Un'eccezione è rappresentata dall'interazione tra gli effetti della disponibilità di un eliporto e le limitazioni alla funzionalità dell'ospedale (attività 20 e 25), che è stata presa in considerazione.

Raccomandazioni di investimento

Le raccomandazioni di investimento contenute in questo rapporto si concentrano su schemi di progetto che attualmente non sono gestiti dalla Struttura Commissariale. In generale, si può affermare che le misure attualmente gestite dalla suddetta sono in grado di mitigare i rischi naturali sia nelle condizioni attuali che in quelle di cambiamento climatico, qualora siano adeguatamente progettate. Pertanto, in questo rapporto vengono presentate solo poche attività di adattamento per Casamicciola Terme, ma si raccomanda di seguire i criteri di progettazione proposti nel capitolo 3.10 nei progetti in corso.

Le raccomandazioni di investimento sono state suddivise in due categorie, investimenti a breve termine e a medio-lungo termine, in base al punteggio ottenuto dall'analisi costi-benefici e alla criticità dell'investimento, secondo il giudizio degli esperti. Alcuni degli investimenti raccomandati non sono stati inclusi nell'analisi costi-benefici per mancanza di informazioni o perché non adatti all'analisi comparativa, come nel caso degli ulteriori studi necessari per ottenere informazioni aggiuntive per una più precisa pianificazione delle attività di adattamento e dei progetti pilota sui vigneti.

Nei casi in cui il punteggio dell'ACB selezionata ha dato come risultato un valore inferiore a 2, si è fatto ricorso al giudizio di esperti per determinare se gli investimenti nelle attività di adattamento dovessero essere inclusi negli investimenti a breve termine o a medio-lungo termine. Il giudizio degli esperti è stato utilizzato anche nei casi in cui l'ACB non è stata effettuata per una raccomandazione di attività di adattamento.

Va notato che alcuni investimenti possono essere combinati per ottenere sinergie, ma queste non sono state considerate in questo studio. Ad esempio, un investimento stradale potrebbe fornire una sinergia per altre infrastrutture associate, come le reti fognarie, i pendii adiacenti o la protezione costiera.

Raccomandazioni di investimento a breve termine

Le raccomandazioni per gli investimenti a breve termine, con le relative stime dei costi, sono considerate le più critiche e vantaggiose per l'isola di Ischia sulla base della valutazione della criticità di ciascuna attività

di adattamento e dell'analisi costi-benefici. Maggiori dettagli sulle raccomandazioni di investimento a breve termine sono presentati nel Capitolo 6.1. La Tabella 0-2 presenta gli investimenti a breve termine raccomandati.

Tabella 0-2. Attività di adattamento raccomandate per gli investimenti a breve termine, ordinate secondo l'ACB BCR, con il numero maggiore corrispondente alla massima priorità.

ID	Comune	Settore principale	Pericolo principale	Descrizione dell'attività di adattamento	Stima dei costi [M€]
21	Ischia	Edifici	Incendio boschivo	Controllo della vegetazione per creare una zona cuscinetto accanto alle aree popolate di Ischia	0,50 M€
22	Barano d'Ischia	Edifici	Incendio boschivo	Controllo della vegetazione per creare una zona cuscinetto accanto alle aree popolate	0,50 M€
29	Barano d'Ischia	Acqua	Multiplo	Combinare la rete idrica esistente in una rete circolare	0,31 M€
32	Tutti	Acqua	Inondazioni	Collegamento delle due principali linee di rete dell'acqua potabile in un'unica rete circolare	0,31 M€
31	Tutti	Acqua	Frana	Reindirizzare le condutture dell'acqua potabile dalle aree soggette a frane a quelle a minor rischio.	3,78 M€
25	Casamicciola Terme	Edifici	Livello del mare	Protezione dall'erosione costiera per l'eliporto dell'isola. Le strutture dell'eliporto dell'isola si stanno sgretolando.	5 M€
24	Lacco Ameno	Turismo	Frana	Protezione dall'erosione della stazione termale di Negombo	1,00 M€
18	Ischia	Porti	Livello del mare	Innalzamento del livello della banchina di Ischia Porto con un muro di protezione in calcestruzzo lungo il bordo delle banchine attuali nel tratto dei ristoranti, con ponte in legno sulla sommità.	3,00 M€
23	Forio	Turismo	Frana	Protezione dall'erosione del sito della stazione termale Poseidon	1,67 M€
38	Tutti	Multiplo	Multiplo	Sistema di monitoraggio, allerta e allarme dei pericoli naturali	2,8 M€
14	Casamicciola Terme	Strade	Frana	Le reti in acciaio devono essere sostituite in prossimità dell'eliporto; è possibile sostituirle parzialmente con muri di contenimento. Lunghezza 150 m, altezza 15 m. In caso di scelta del muro, saranno necessarie strutture idrauliche (sistema di drenaggio).	1 M€
15	Casamicciola Terme	Strade	Frana	Le reti in acciaio devono essere sostituite; è possibile sostituirle parzialmente con muri di contenimento. Lunghezza 250 m, altezza 10-15 m. Strutture idrauliche	1,5 M€
20	Casamicciola Terme	Edifici	Frana	Diverse attività per l'Ospedale di Ischia	6,50 M€
11	Ischia	Silvicoltura	Frana	Gestione dell'area forestale di Monte Vezi	0,11 M€

12	Ischia, Barano d'Ischia	Silvicoltura	Frana	Gestione delle aree forestali del Cretaio	0,14 M€
13	Casamicciola Terme, Barano d'Ischia	Silvicoltura	Frana	gestione forestale a Casamicciola Terme e Monte Epomeo	0,41 M€
16	Casamicciola Terme	Acqua	Inondazioni	Potenziamento del drenaggio, trasformando la fognatura mista in separata. Aumento della capacità per le acque meteoriche.	1,00 M€
26	Casamicciola Terme	Acqua	Inondazioni	Riprogettazione di un collettore di scarico a Casamicciola Terme	0.43 M€
30	Tutti	Acqua	Inondazioni	Ampliamento di 50 mm del sistema di drenaggio delle acque piovane che attraversa le aree soggette a inondazioni.	11,9 M€
33	Tutti	Acqua	Frana	Trasformazione della rete fognaria mista ad alto rischio di frana in una rete fognaria separata	2.77 M€
34	Tutti	Acqua	Frana	Trasformazione della rete fognaria mista a medio rischio di frana in una rete fognaria separata	1.45 M€
19	Forio	Strade	Livello del mare	Stabilizzazione della scogliera di Forio contro l'erosione costiera con un muro di contenimento e l'installazione di frangiflutti in rocce naturali ai piedi del muro.	15,0 M€

Raccomandazioni di investimento a medio-lungo termine

Le raccomandazioni di investimento a medio-lungo termine con le stime dei costi sono considerate meno critiche e/o vantaggiose per l'isola di Ischia sulla base della valutazione della criticità di ciascuna attività di adattamento da parte degli esperti settoriali e dell'analisi costi-benefici. In alcuni casi, non è stato possibile valutare la criticità senza ulteriori dati; gli investimenti sono stati quindi elencati tra gli investimenti a medio-lungo termine. Maggiori dettagli sulle raccomandazioni per gli investimenti a medio-lungo termine sono presentati nel Capitolo 6.2. La Tabella 0-3 presenta gli investimenti a medio-lungo termine raccomandati.

Tabella 0-3. Investimenti a medio/lungo termine per la resilienza climatica dell'Isola di Ischia

ID	Comune	Settore principale	Pericolo principale	Descrizione dell'attività di adattamento	Stima dei costi [M€]
4	Ischia	Multiplo	Frana	Vari lavori relativi a frane e idrologia nell'area di Monte Vezzi. La stima dei costi si basa sui dati locali.	14,6 M€
5	Casamicciola Terme, Ischia, Barano d'Ischia	Multiplo	Frana	Vari lavori relativi a frane e idrologia nell'area del Cretaio. La stima dei costi si basa sulla copertura approssimativa dell'area rispetto alla stima dell'investimento di Vezzi.	15 M€

6	Casamiccioli a Terme, Serrara Fontana, Forio	Multiplo	Frana	Vari lavori relativi a frane e idrologia nell'area di Forio. La stima dei costi si basa sulla copertura approssimativa dell'area rispetto alla stima dell'investimento di Vezzio.	30 M€
28	Lacco Ameno	Energia	Inondazioni	Possibile protezione da allagamento del punto di collegamento del cavo a Lacco Ameno	Non definito
27	Ischia	Energia	Livello del mare	Possibile protezione dalle inondazioni della sottostazione elettrica di Ischia	Non definito
3	Lacco Ameno	Strade	Frana	Messa in sicurezza e consolidamento della cresta che sovrasta via Cava Pannella	1,59 M€
7	Lacco Ameno	Turismo	Frana	Sicurezza e consolidamento del costone che si affaccia sulla spiaggia di Varulo	1,23 M€
1	Lacco Ameno	Turismo	Livello del mare	Completamento dell'intervento di messa in sicurezza e consolidamento della dorsale est di Montevico - dorsale nord	2,00 M€
35	Tutti	Acqua	Frana	Trasformare la rete fognaria mista nelle aree a basso o nullo rischio di frana in una rete fognaria separata.	5.53 M€
17	Forio	Strade	Frana	Stabilità dei pendii. Utilizzo di biostuoie e reti d'acciaio in varie località della zona montana di Forio.	0,50 M€
9	Barano d'Ischia	Turismo	Inondazioni	Lavori di estrema urgenza per la messa in sicurezza delle centine e il ripristino della funzionalità idraulica dell'Alveo Cava Ponte/Nitrodi/Olmitello	6,08 M€
10	Barano d'Ischia	Turismo	Inondazioni	Lavori di estrema urgenza per il ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo di Cava Rosato/Cavone Martoccio	1,60 M€
8	Barano d'Ischia	Turismo	Frana	Lavori di miglioramento della sicurezza delle creste della spiaggia dei Maronti	4,47 M€

Raccomandazioni per rafforzare la gestione dei progetti

Nel corso del presente lavoro, i consulenti hanno avuto vari incontri con il team della Struttura Commissariale di Ischia. Durante gli incontri, è stato osservato che il team della Struttura Commissariale è altamente qualificato in materia di ingegneria strutturale (edifici) ed è supportato dall'Università degli Studi di Napoli Federico II e dall'Università degli Studi del Sannio di Benevento per le questioni relative alla geologia, all'idrologia, all'idraulica, alle frane e alle soluzioni basate sulla natura (per esempio la silvicoltura, facente parte delle "Nature-based solutions").

Poiché questa valutazione ha preso in considerazione anche altri settori al di fuori di quelli sopra citati, raccomandiamo che il team della Struttura Commissariale venga ulteriormente rafforzato con esperti di approvvigionamento idrico e trattamento delle acque reflue, strutture costiere e reti di trasporto (strade, porti) ed energetiche e con un esperto tecnico di adattamento al clima.

Il team incaricato è a conoscenza di un progetto di assistenza tecnica, fornito dalla BEI, che copre già le questioni di competenze relative agli appalti e alle gare d'appalto.

Si raccomanda di istituire un piccolo gruppo di persone, preferibilmente un'unità tecnica, per dirigere gli investimenti relativi all'adattamento al rischio climatico. L'unità potrebbe lavorare alle dirette dipendenze del commissario straordinario e sotto la sorveglianza del vicecommissario.

L'unità tecnica sopra citata dovrebbe creare una tabella di marcia per gli investimenti in base alle loro priorità per consentire l'attuazione degli investimenti climatici. Il team dovrebbe anche sviluppare gli obiettivi di un programma di monitoraggio e seguire i progressi di attuazione sulla base di indicatori adeguati che supportino gli obiettivi.

Introduzione e obiettivi

Nel novembre 2022, piogge estreme hanno colpito l'isola italiana di Ischia. Le piogge torrenziali hanno causato frane e allagamenti. Sono state registrate diverse vittime e danni alle infrastrutture. Il governo italiano ha dichiarato lo stato di emergenza per l'area e ha approvato i fondi per le operazioni di ripresa e ricostruzione.

In precedenza, nel 2017, un terremoto aveva già causato ingenti danni nel nord dell'isola e il governo italiano aveva assegnato una Commissione Speciale (Struttura Commissariale) per l'assistenza alla popolazione, la ricostruzione e la ripresa economica. Dopo la frana del 2022, è stato assegnato un ulteriore Commissario delegato, responsabile delle attività di protezione e ricostruzione legate alle frane.

Il presente studio vuole essere un supporto per l'isola di Ischia nella pianificazione della ripresa e della ricostruzione post-disastro e fornire le informazioni necessarie per "ricostruire meglio", tenendo conto degli effetti futuri dei cambiamenti climatici. Lo scopo di questo studio è quello di identificare le attività di adattamento ai cambiamenti climatici, le opzioni di investimento e i requisiti per i progetti tecnici per la ricostruzione dell'isola di Ischia. I risultati saranno un punto di partenza valido per la strategia di ricostruzione di Ischia volta al miglioramento della resilienza climatica delle aree colpite, anche attraverso il rafforzamento delle conoscenze già possedute e l'approfondimento di nuovi aspetti riguardanti le tematiche sopracitate delle autorità competenti.

Questo lavoro è parte di una collaborazione tra il Commissario straordinario per la Protezione civile di Ischia e la Banca europea per gli investimenti (BEI).

Al fine di raggiungere questi obiettivi, l'incarico è stato suddiviso nei seguenti compiti principali:

- lo sviluppo di una valutazione dei principali rischi fisici derivanti dai pericoli climatici sull'isola di Ischia nel medio termine (fino al 2050), con particolare attenzione alle variazioni delle precipitazioni e al rischio associato ad inondazioni e frane;
- la formulazione di indicazioni per l'adattamento degli investimenti nel settore pubblico, e di raccomandazioni di adattamento e progettazione da integrare nel progetto tecnico degli investimenti infrastrutturali previsti nel piano di ricostruzione dell'isola;
- l'elaborazione di un piano di investimento per l'adattamento ai cambiamenti climatici, che includa le opzioni di adattamento selezionate e le stime dei costi;
- la compilazione di indicazioni per rafforzare le capacità di gestione dei progetti, il monitoraggio della loro pianificazione ed esecuzione, e la gestione dei rischi.

Per l'identificazione dei principali rischi climatici, dei loro impatti, e per lo sviluppo di indicazioni per le attività di adattamento, ci si è avvalsi delle seguenti fonti:

- dati, informazioni e analisi elaborati dalla Struttura Commissariale;
- materiale informativo sulle valutazioni effettuate da altri enti italiani;
- dati dei modelli climatici ad alta risoluzione dei più recenti studi scientifici, in conformità con le relative strategie nazionali di adattamento al clima;
- sopralluoghi nelle aree rilevanti dell'isola di Ischia per raccogliere dati locali;
- consultazione degli stakeholder, con la partecipazione della Struttura Commissariale e altri enti interessati;
- valutazione della letteratura relativa agli impatti dei cambiamenti climatici e all'adattamento climatico in contesti simili;
- modelli e simulazioni per approfondire la conoscenza dei rischi climatici e del loro impatto e per formulare e dare priorità alle linee guida di adattamento.

Le visite per raccogliere informazioni e dati locali sono state pianificate insieme al principale stakeholder locale, la Struttura Commissariale, con l'inclusione di altri gruppi rilevanti. L'inclusione degli stakeholder

durante l'esecuzione del progetto ha avuto lo scopo non solo di garantire una raccolta efficace di dati locali, ma anche di facilitare un coinvolgimento attivo e un utilizzo efficace dei risultati del lavoro.

Il presente rapporto fornisce una sintesi dei dati raccolti, delle analisi condotte e dei principali risultati come principale deliverable per la BEI e la Struttura Commissariale. La prima parte del rapporto (capitoli da 1 a 3) fornisce una valutazione del rischio climatico e della vulnerabilità (VRCV) dell'isola relativo alle infrastrutture e ai settori economici più rilevanti, e include la valutazione dei principali rischi climatici fisici e la raccomandazione di attività di adattamento. La seconda parte (capitoli da 4 a 6) si concentra sulle valutazioni economiche e finanziarie, con un'analisi costi-benefici e la conseguente prioritizzazione delle attività di adattamento e indicazioni sul rafforzamento della gestione dei progetti nell'isola di Ischia.

Nonostante le numerose indicazioni per l'adattamento fornite come risultato del presente lavoro, l'elenco non è da considerarsi esaustivo. Ulteriori studi per identificare le misure di adattamento appropriate per diverse aree a rischio sono riportati come parte dei risultati. Questo studio si è concentrato anche sulle vulnerabilità per le quali la Struttura Commissariale non aveva già pianificato attività di ricostruzione o adattamento ("Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione", 2023). Tuttavia, questo rapporto fornisce raccomandazioni e criteri di progettazione che dovrebbero essere seguiti nella pianificazione e progettazione di tali attività.

PARTE 1: Valutazione del rischio climatico e della vulnerabilità dell'isola di Ischia

La prima parte di questo rapporto riassume i risultati della Valutazione del rischio climatico e della vulnerabilità (VRCV) per l'isola di Ischia. Le analisi riportate in questa valutazione seguono i principi formulati nella EIB Group Climate Bank Roadmap 2021-2025 ¹ e nello EIB Environmental and Social Standard 5². Con riferimento alla "Technical guidance on the climate proofing of infrastructure in the period 2021-2027" dell'UE³, la valutazione dell'intera isola può essere considerata come un'analisi di vulnerabilità. È stato seguito l'approccio formale alla classificazione della vulnerabilità climatica proposto dalla guida tecnica dell'UE per la fase di screening, entrando in maggior dettaglio in alcune analisi settoriali, per consentire raccomandazioni più specifiche sulle attività di adattamento.

Il VRCV comprende le seguenti fasi:

- **Analisi climatica**, che comprende sia una valutazione del clima in passato e attuale, in modo da coprire il periodo di riferimento 1981-2020 ("circa 1995"), sia delle proiezioni climatiche per il periodo 2036-2065 ("circa 2050"). Queste valutazioni sono effettuate per le variabili climatiche e per i rischi climatici identificati più rilevanti.
- Queste analisi consentono di valutare e classificare i **cambiamenti relativi ai pericoli climatici** in tutta l'isola in condizioni climatiche future.
- Una valutazione settoriale dei **settori chiave** considerati (strade, edifici, porti e infrastrutture costiere, approvvigionamento idrico e acque reflue, approvvigionamento energetico, turismo, agricoltura, silvicoltura e soluzioni naturalistiche). è stata valutata e categorizzata l'**esposizione** specifica degli asset e delle operazioni più rilevanti ai principali rischi climatici, considerando la loro posizione sull'isola. Parallelamente, è stata analizzata e classificata la **sensibilità** al clima di ciascun settore.
- La combinazione della valutazione dell'esposizione e della sensibilità porta all'identificazione e alla classificazione delle principali **vulnerabilità climatiche** per ogni settore.
- Sulla base delle principali vulnerabilità climatiche, di valutazioni del rischio più dettagliate (ove possibile e richiesto), di analisi dei danni passati e di revisione dei piani esistenti per la ricostruzione e la ripresa, si raccomandano **attività di adattamento al clima**.

Per le analisi climatiche, condotte dagli esperti del Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), considerare i dati climatici di riferimento è fondamentale per descrivere il clima attuale. Tali dati servono come punto di riferimento rispetto al quale confrontare le osservazioni recenti o attuali, e anche per fornire una base per dataset climatici basati sulle anomalie e per proiezioni future del clima. Il clima di riferimento si riferisce al periodo 1981-2010, che rappresenta il periodo più recente che possiamo considerare quando utilizziamo gli scenari climatici CMIP5. Le proiezioni climatiche sono calcolate come la differenza tra i valori medi temporali dell'indicatore selezionato nel periodo dello scenario (deciso per il 2036-2065) e nel periodo storico, considerando gli scenari IPCC selezionati.

Gli scenari IPCC selezionati comprendono:

- RCP2.6: un percorso in cui il forzante radiativo raggiunge un picco di circa 3 W m⁻² e poi diminuisce fino a limitarsi a 2,6 W m⁻² nel 2100 (il corrispondente Extended Concentration Pathway, o ECP, prevede emissioni costanti dopo il 2100).
- RCP4.5: un percorso di stabilizzazione intermedio in cui il forzante radiativo è limitato a circa 4,5 W m⁻² nel 2100 (l'ECP ha concentrazioni costanti dopo il 2150).

¹ <https://www.eib.org/en/publications/the-eib-group-climate-bank-roadmap>

² https://consult.eib.org/consultation/essf-2021-en/user_uploads/standard_5.pdfw

³ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.C_.2021.373.01.0001.01.ENG

- RCP8.5: un percorso elevato che porta a $>8,5 \text{ W m}^{-2}$ nel 2100 (l'ECP corrispondente ha emissioni costanti dopo il 2100 fino al 2150 e concentrazioni costanti dopo il 2250).

Questi scenari includono sia ipotesi molto ottimistiche con la riduzione dei gas serra (RCP2.6) sia ipotesi relativamente pessimistiche con alte emissioni (RCP8.5). Questi tre scenari sono gli stessi considerati a livello nazionale nel Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC), recentemente pubblicato (al momento della stesura del presente rapporto).

Le variabili climatiche selezionate sono state scelte da una lunga lista di variabili incluse nel PNACC, in considerazione dei rischi climatici "a lenta insorgenza", di quelli cronici e acuti, e da quelli "da shock", che potrebbero causare gli impatti più rilevanti sui beni e sulle attività economiche dei settori chiave di Ischia. Le variabili climatiche considerate, elencate nella Tabella 0-3, sono state identificate nel corso di una discussione tra i climatologi del consorzio dei consulenti, la BEI e la Struttura Commissariale.

Tabella 0-3: Indicatori e variabili climatiche selezionate

Indicatore	Variabile	Unità	Definizione
Temperatura	Temperatura media	°C	Media della temperatura media giornaliera.
	Giorni d'estate	giorno	Numero di giorni con temperatura massima giornaliera superiore a 29,2°C. Questo indicatore è stato definito per l'Italia (PNACC).
	Warm Spell Duration Index	giorno	Numero totale di giorni per periodo (annuale o stagionale) in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile della temperatura massima giornaliera in intervalli di almeno 6 giorni consecutivi.
	Gradi-giorno di raffrescamento	DD	Somma della temperatura media meno 21°C se la temperatura media è superiore a 24°C.
	Gradi-giorno di riscaldamento	DD	Somma di 18°C meno la temperatura media giornaliera se la temperatura media giornaliera è inferiore a 15°C.
	Notti tropicali	giorno	Numero di giorni con temperatura minima giornaliera superiore a 20°C.
Precipitazioni	Precipitazioni medie nei giorni di pioggia	mm	Somma delle precipitazioni giornaliere nei giorni umidi (giorni con precipitazioni maggiori o uguali a 1 mm).
	Giorni di precipitazioni molto intense	giorno	Numero di giorni con precipitazioni giornaliere superiori o uguali a 20 mm.
	Precipitazioni massime in un giorno	mm/giorno	Quantità massima di precipitazioni in un giorno.
	Giorni secchi consecutivi	giorno	Maggior numero di giorni consecutivi con precipitazioni giornaliere inferiori a 1 mm.
Vento	Velocità del vento estrema	m/s	98° percentile della velocità massima giornaliera del vento.

L'analisi delle variabili climatiche e dei pericoli legati al clima è stata condotta su una scala temporale annuale e stagionale, comprendente l'inverno (DGF; dicembre, gennaio, febbraio), l'estate (GLA; giugno, luglio, agosto), la primavera (MAM; marzo, aprile, maggio) e l'autunno (SON; settembre, ottobre, novembre).

Oltre a questi indicatori e variabili climatiche, sono stati considerati i rischi innescati dagli eventi meteorologici, tra cui rischi idrogeologici come frane e alluvioni, ma anche gli incendi boschivi. Sono stati analizzati anche i processi oceanografici e i loro cambiamenti, come l'innalzamento del livello del mare, la combinazione delle mareggiate, dei venti e delle onde, e le conseguenti inondazioni costiere, molto rilevanti per una piccola isola come Ischia.

Le valutazioni settoriali, che comprendono l'analisi dell'ubicazione e dello stato dei principali beni e attività, i danni passati subiti da tali beni e i potenziali impatti climatici, le vulnerabilità climatiche settoriali e le attività di adattamento raccomandate, sono fornite per i seguenti settori chiave:

- Strade
- Edifici, compresi gli ospedali
- Porti e infrastrutture costiere
- Approvvigionamento idrico e acque reflue
- Fornitura di energia
- Turismo
- Agricoltura
- Soluzioni forestali e naturalistiche

Le analisi del clima di riferimento sono riportate nel Capitolo 1, mentre le proiezioni dei cambiamenti climatici e i loro impatti sui rischi climatici sono descritti nel Capitolo 2.

Le valutazioni della vulnerabilità settoriale e la descrizione delle possibili attività di adattamento, comprese le misure intersettoriali e le analisi costi-benefici, sono riportate nel Capitolo 3 di questa Parte 1 del Rapporto.

1 Condizioni ed eventi climatici storici e attuali

I capitoli seguenti forniscono una panoramica delle condizioni climatiche storiche e attuali e degli eventi meteorologici osservati. L'analisi si basa su ERA5@2km, noto anche come VHR-REA_IT, acronimo di Very High-Resolution ReAnalysis for Italy (Raffa et al. 2021⁴). ERA5@2km è una simulazione delle condizioni climatiche recenti sull'intero territorio italiano, ottenuta attraverso il downscaling dinamico della rianalisi globale ERA5 a una risoluzione oraria e di circa 2 km per il periodo 1981-2020. L'utilizzo di questo dataset in questo lavoro vuole consentire di cogliere caratteristiche climatiche più localizzate.

L'uso delle rianalisi climatiche consente una descrizione coerente dello stato dell'atmosfera, poiché i loro dati sono vincolati dalle osservazioni (che sono incorporate nelle rianalisi attraverso tecniche di assimilazione dei dati). Ciò consente di compensare la mancanza di dati locali osservati per le variabili atmosferiche di interesse. Inoltre, le rianalisi forniscono dati a griglia sulle informazioni atmosferiche anche in aree in cui le osservazioni sono limitate o non disponibili. A differenza del PNACC, dove la baseline era basata sul dataset a griglia E-OBS (con una risoluzione di circa 9 km), l'uso di questa rianalisi a più alta risoluzione si è reso necessario per Ischia a causa delle dimensioni dell'area. Non sarebbe stato altrimenti possibile ricostruire una base di riferimento. Inoltre, le osservazioni in situ disponibili non coprono un periodo abbastanza lungo da consentire una ricostruzione climatica di 30 anni. Tuttavia, per confermare la qualità della rianalisi utilizzata, è stata condotta una valutazione dedicata delle sue prestazioni, confrontando i dati con le osservazioni in situ.

Inoltre, è stata condotta un'analisi specifica delle precipitazioni sulla base delle quattro stazioni locali dell'isola di Ischia. Le analisi pluviometriche in corrispondenza di eventi franosi sono descritte nel Capitolo 1.4.3. Le analisi esistenti delle precipitazioni estreme di breve durata, come riportato nel "Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione" (2023), sono descritte nel Capitolo 1.4.4. Le analisi dettagliate dei modelli di precipitazione spaziale osservati durante gli eventi estremi sono presentate nell'Appendice 1. L'Appendice 2 contiene mappe più dettagliate degli indicatori climatici.

1.1 Temperatura

1.1.1 Temperatura media

La temperatura media annua giornaliera a Ischia è di 17°C. Le aree in cui si registrano le maggiori temperature medie annuali sono situate sulle coste occidentali, settentrionali e orientali dell'isola (Figura 1-1). Ad esempio, la temperatura media giornaliera annua della zona di Campagnano è di 17,4°C e quella di Forio è di 17,2°C, mentre nell'entroterra dell'isola si registrano temperature più basse, ad esempio la temperatura media di Fontana è di 16,2°C, che è la temperatura più bassa registrata sull'isola.

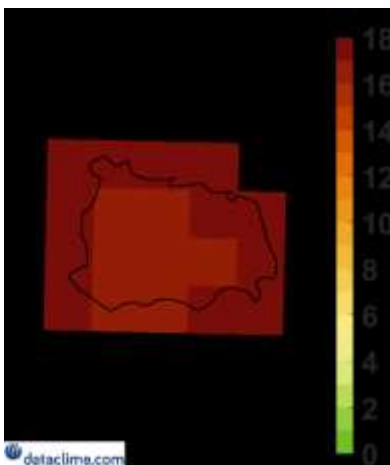


Figura 1-1: Temperatura media di Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

⁴ Raffa, M.; Reder, A.; Marras, G.F.; Mancini, M.; Scipione, G.; Santini, M.; Mercogliano, P. VHR-REA_IT Dataset: Very High Resolution Dynamical Downscaling of ERA5 Reanalysis over Italy by COSMO-CLM. Dati 2021, 6, 88. <https://doi.org/10.3390/data6080088>

Durante l'anno, la temperatura media giornaliera varia da una media di 10,5°C in inverno a una massima di 24°C in estate. In primavera la temperatura media è di 14,8°C e in autunno di 18,7°C (Tabella 1.1).

Tabella 1-1: Dati climatici di riferimento per la temperatura media (°C). Fonte: Dati di calce

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	17	10.5	14.8	24	18.7

1.1.2 Giorni d'estate

Il numero di giorni estivi a Ischia, ovvero il numero di giorni all'anno in cui la temperatura massima giornaliera supera i 29,2°C, è in media 25. L'area che registra il maggior numero di giorni estivi all'anno è a nord-est dell'isola, nei dintorni del Cretaio, dove il numero di giorni in cui la temperatura massima giornaliera supera i 29,2°C è di 66 (Figura 1-12).

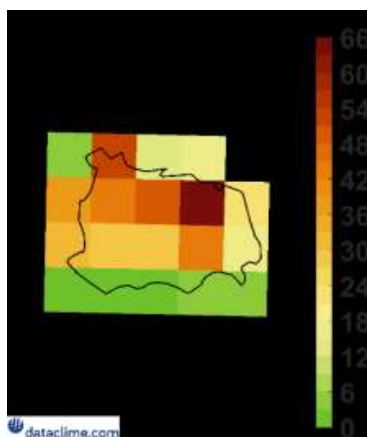


Figura 1-2: Giorni estivi a Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

La stagione che registra il maggior numero di giorni estivi durante l'anno è ovviamente l'estate, dove le temperature superano i 29,9°C in media per 23 giorni. In autunno queste condizioni si verificano per 2 giorni, mentre le temperature medie massime giornaliere non superano i 29,2°C medi in inverno e in primavera (Tabella 1.2).

Tabella 1-2: Dati climatici di riferimento per i giorni estivi (giorni). Fonte: Dataclime

	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON
Periodo storico (assoluto)	25	0	0	23	2

1.1.3 Warm Spell Duration Index (WSDI)

Il Warm Spell Duration Index rappresenta il conteggio annuale (o stagionale) dei giorni che contribuiscono a "periodi caldi", quando la temperatura massima (TX) rimane al di sopra del proprio novantesimo

percentile climatologico. Il valore del novantesimo percentile è calcolato su finestre di 5 giorni centrate su ogni giorno di calendario, in modo che il WSDI rilevi i periodi caldi in senso relativo, che possono verificarsi in qualsiasi stagione.

Un periodo relativamente caldo deve essere composto da almeno 6 giorni consecutivi al di sopra della soglia per poter essere qualificato come "periodo caldo". L'unità di misura è [giorni]. Nel clima del passato e in quello attuale di Ischia, i periodi caldi si verificano in media per 5 giorni all'anno. Si noti che, mentre ogni periodo caldo conteggiato deve includere almeno 6 giorni, la media trentennale include anche anni senza periodi caldi, per cui il valore medio può essere inferiore a 6 giorni. L'area in cui si registra il maggior indice di durata delle ondate di caldo è a sud-est dell'isola, nelle zone appena a sud di Piano Liguori, dove si verificano 6 giorni all'anno (Figura 1-3).

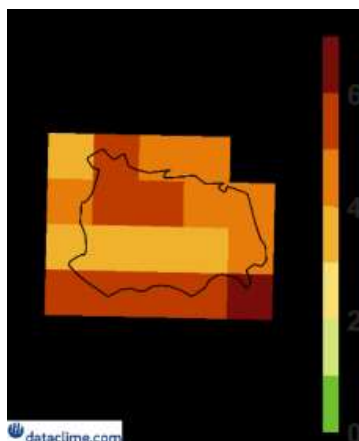


Figura 1-3. Indice di durata delle ondate di caldo a Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

Nell'arco dell'anno, il numero di volte in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile della temperatura massima giornaliera, in intervalli di almeno 6 giorni consecutivi, si verifica in media una volta durante ogni stagione (Tabella 1.3).

Tabella 1-3. Dati climatici di riferimento per il Warm Spell Duration Index (giorni). Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	5	1	1	1	1

1.1.4 Gradi-giorno di raffrescamento

La media annuale dei gradi-giorno di raffrescamento, che è la somma della temperatura media meno 21°C se la temperatura media è superiore a 24°C, è di 262 giorni. Le aree che registrano i maggiori gradi-giorno di raffrescamento sono situate sulle coste orientali, occidentali e settentrionali dell'isola. Ad esempio, le aree a nord del Cretajo registrano 349 gradi-giorno di raffrescamento, quelle a nord-ovest di Lacco Ameno 341 e Forio 318 (Figura).

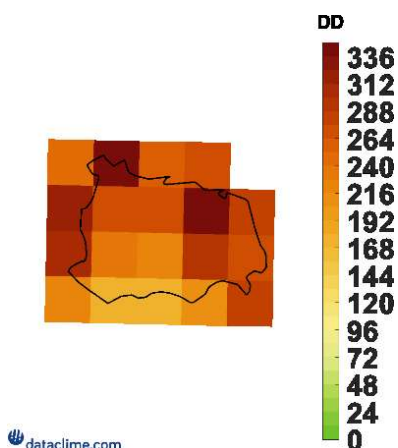


Figura 1-4. Gradi-giorno di raffrescamento in tutta Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

Nel corso dell'anno, la stagione che registra il maggior numero di gradi-giorno di raffrescamento è l'estate, con 240 gradi-giorno di raffrescamento. In autunno i gradi-giorno di raffrescamento sono 22, in primavera 1 e in inverno 0 (Tabella 1.4).

Tabella 1-4. Dati climatici di riferimento per i gradi-giorno di raffrescamento (DD). Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	262	0	1	240	22

1.1.5 Gradi-giorno di riscaldamento

La media annuale dei gradi-giorno di riscaldamento, espressi come la somma di 18°C meno la temperatura media giornaliera se la temperatura media giornaliera è inferiore a 15°C, è di 1058. A Ischia, le aree che registrano il maggior numero di gradi-giorno di riscaldamento sono situate all'interno dell'isola. Le aree intorno a Fontana e Majo registrano rispettivamente 1277 e 1242 gradi-giorno di riscaldamento (Figura 1-5).

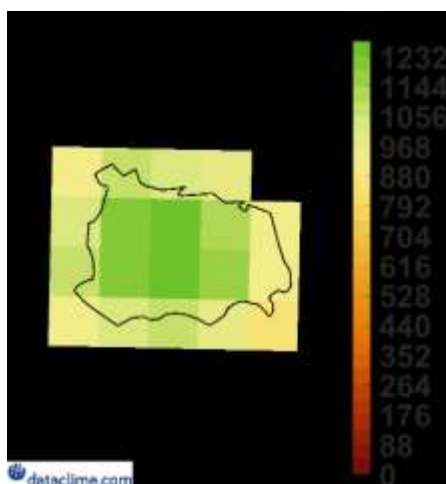


Figura 1-5: Gradi-giorno di riscaldamento in tutta Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

Nel corso dell'anno, la stagione che registra il maggior numero gradi-giorno di riscaldamento è l'inverno, con 674 giorni. In primavera i gradi-giorno di riscaldamento sono 286,8, in autunno 91,4 e in estate 0 (Tabella 1.5).

Tabella 1-5: Dati climatici di riferimento per i gradi giorno di riscaldamento (DD). Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	1058	674	287	0	91

1.1.6 Notti tropicali

Il numero medio di notti tropicali, ovvero il numero di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è superiore a 20°C, si verifica in media per 95 giorni all'anno. A Ischia, le aree che registrano il maggior numero di notti tropicali all'anno sono situate sulla costa dell'isola, mentre l'entroterra registra un numero inferiore di notti tropicali. Ad esempio, le aree intorno a Fontana registrano 69 giorni, mentre le aree a sud di Piano Liguori 119 giorni all'anno (Figura 1-6).

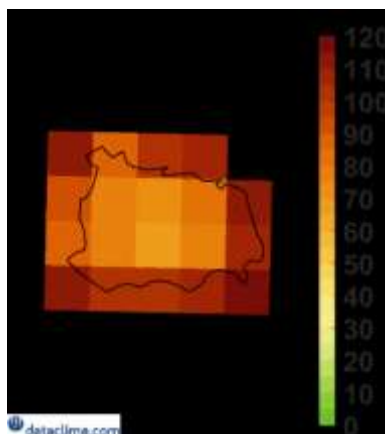


Figura 1-6: Notti tropicali su Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

Nel corso dell'anno, il numero di notti tropicali è maggiore durante l'estate, dove questa condizione si verifica per 71 giorni, e a seguire durante l'autunno per 23 giorni. In primavera si verifica per 1 giorno e in media non ci sono giorni in cui si verifica in inverno (Tabella 1.6).

Tabella 1-6: Dati climatici di riferimento per le notti tropicali (giorni). Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico assoluto	95	0	1	71	23

1.2 Precipitazioni

1.2.1 Precipitazioni medie nei giorni di pioggia

Il valore delle precipitazioni medie nei giorni di pioggia, per i giorni con precipitazioni maggiori o uguali a 1 mm, è di 446 mm. In tutta Ischia, il nord-est dell'isola registra i valori maggiori, mentre il sud-ovest registra quelli più bassi. Ad esempio, l'area intorno al Cretaio riceve circa 468 mm, mentre le zone a sud-ovest di Panza ricevono circa 420 mm (Figura 1-7).

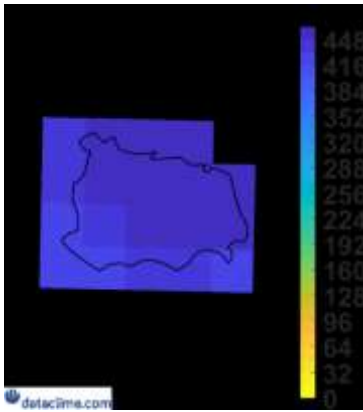


Figura 1-7: Precipitazioni medie nei giorni di pioggia a Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

Nel corso dell'anno, l'inverno registra il valore maggiore di precipitazioni medie nei giorni di pioggia, con un totale di 168 mm. In autunno si registrano 146 mm, in primavera 109 mm e in estate il valore più basso, di 24 mm (Tabella 1.7).

Tabella 1-7: Dati climatici di riferimento per le precipitazioni accumulate nei giorni di pioggia (mm). Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	446	168	109	24	146

1.2.2 Giorni di precipitazioni molto intense

Il numero medio di giorni all'anno in cui le precipitazioni giornaliere sono superiori o uguali a 20 mm è di 4 giorni. In tutta l'isola, il numero di giorni di precipitazioni molto intense all'anno è abbastanza uniforme, con 4 giorni, ad eccezione di un'area situata a ovest dell'isola che registra 3 giorni all'anno, proprio a ovest del Cuotto (Figura 1-8).

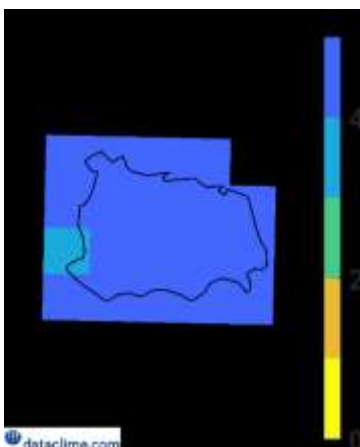


Figura 1-8: Giorni di precipitazioni molto intense a Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

Nel corso dell'anno il numero di giorni con precipitazioni molto intense è maggiore in autunno e in inverno, con 2 giorni, e a seguire in primavera con 1 giorno. In media non ci sono giorni in estate in cui le precipitazioni giornaliere sono maggiori o uguali a 20 mm (Tabella 1.8).

Tabella 1-8: Dati climatici di riferimento per i giorni di precipitazioni molto intense (giorni). Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	4	2	1	0	2

1.2.3 Precipitazioni massime in un giorno

La media annuale delle precipitazioni massime in un giorno a Ischia è di 46 mm/giorno. Sull'isola, i livelli massimi di precipitazione in un giorno variano da 42 mm/giorno nel sud-ovest dell'isola a 52 mm/giorno nel nord-est (Figura 1-9).

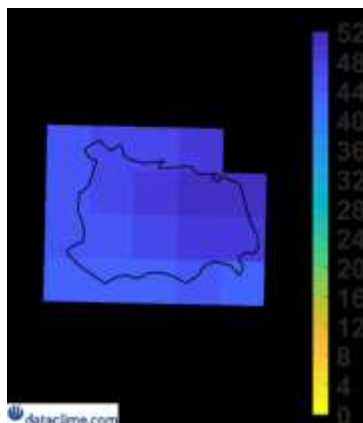


Figura 1-9. Precipitazioni massime in un giorno a Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

Nel corso dell'anno, la stagione in cui si registrano valori maggiori di precipitazioni massime nell'arco di un giorno è l'autunno, con 37 mm/giorno, a seguire l'inverno con 30 mm/giorno. In primavera si registrano in media 26 mm/giorno e in estate 13 mm/giorno (Tabella 1.9).⁵

Tabella 1-9. Dati climatici di riferimento per le precipitazioni massime in un giorno (mm/giorno). Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	46	30	26	13	37

Sono state effettuate ulteriori analisi della distribuzione spaziale delle precipitazioni sull'isola di Ischia durante alcuni eventi estremi, come mostrato nei dati ERA5@2km. L'obiettivo di queste analisi era quello di valutare le informazioni fornite dai dati di rianalisi rispetto alle osservazioni delle stazioni locali, ma anche di comprendere i modelli spaziali delle precipitazioni estreme sull'isola. Queste analisi dettagliate sono descritte nell'Appendice 1.

1.2.4 Giorni secchi consecutivi

Il numero di giorni consecutivi di siccità, corrispondenti a quando le precipitazioni giornaliere sono inferiori a 1 mm, è in media di 66 giorni all'anno. In tutta l'isola questo numero varia da circa 62 giorni nel nord-ovest (aree a sud-ovest di Lacco Ameno), a 67 e 69 giorni nel sud-est e nel sud-ovest dell'isola (Figura 1-10).

⁵ Durante l'evento pluviometrico del novembre 2022, è importante notare che sono caduti fino a 155 mm di pioggia nel corso di sole sei ore.

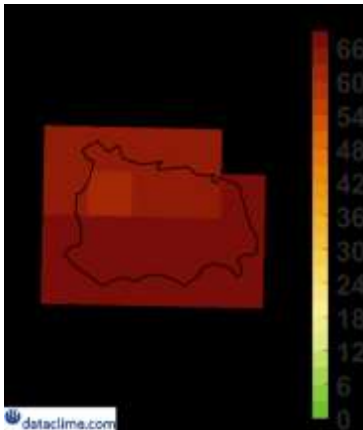


Figura 1-10: Giorni secchi consecutivi a Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

Nel corso dell'anno la stagione che registra il maggior numero di giorni secchi consecutivi è l'estate, con 57 giorni. A seguire, durante l'autunno il numero di giorni consecutivi di siccità è di 24, mentre in primavera e in inverno è di 21 giorni (Tabella 1.10).

Tabella 1-10: Dati climatici di riferimento per i giorni secchi consecutivi (giorni). Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	66	21	21	57	24

1.3 Vento

1.3.1 Velocità del vento estrema

La velocità estrema annuale del vento, cioè il 98° percentile della velocità massima giornaliera del vento, è in media di 13 m/s. Sull'isola, le velocità estreme del vento sono più basse all'interno dell'isola, con picchi di 10 m/s, mentre la costa meridionale dell'isola sperimenta le maggiori velocità del vento, fino a 15 m/s (Figura 1-11).

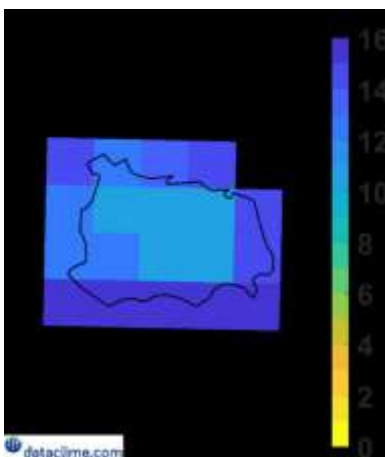


Figura 1-11: Velocità estrema del vento a Ischia, utilizzando i dati climatici di riferimento. Fonte: Dataclime

Nel corso dell'anno, le velocità estreme del vento sono maggiori durante l'inverno, con 14 m/s, un valore superiore alla media annuale. In estate le velocità estreme del vento sono minime, con una media di 10 m/s, mentre in primavera e in autunno le velocità estreme del vento sono di 13 m/s (Tabella 1.11).

Tabella 1-11: Dati climatici di riferimento per la velocità estrema del vento (m/s). Fonte: Dataclime

	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON
Periodo storico (assoluto)	13	14	13	10	13

1.4 Rischi idrogeologici

L'isola di Ischia è soggetta a rischi idrogeologici come frane, colate di terra e detriti, crolli di massi e alluvioni di vario tipo. A rendere l'isola particolarmente vulnerabile sono soprattutto la morfologia dei versanti, i terreni piroclastici e i potenziali eventi pluviometrici estremi che si concentrano in inverno, in primavera e soprattutto in autunno. Per facilitare la comprensione di questo rapporto, i trasporti di massa gravitativi come frane, colate di terra e di detriti o crolli di massi sono riassunti come frane. Tuttavia, in alcuni capitoli specifici, le diverse tipologie di frane sono considerate separatamente.

I fattori che determinano i rischi idrogeologici sono la morfologia dei versanti, la litologia, i cambiamenti d'uso del suolo, gli interventi antropici e gli eventi meteorologici estremi. I fattori scatenanti sono le precipitazioni (estreme su diverse scale temporali), il rapido scioglimento delle nevi (soprattutto nelle regioni alpine) o i terremoti (Tichavsky et.al., 2019). Le precipitazioni innescano sia frane che alluvioni e possono essere collegate alle condizioni climatiche e ai cambiamenti climatici, che sono al centro di questo rapporto.

In generale, periodi umidi di lunga durata (cioè, le precipitazioni antecedenti) e/o le precipitazioni intense di breve durata inducono cedimenti dei versanti (Tichavsky et.al., 2019 e riferimenti). Nel caso dei suoli piroclastici, come quelli sull'isola di Ischia, a determinare se l'innescamento di frane è dovuto a condizioni antecedenti o a brevi eventi di pioggia intensa sono la copertura del suolo (superficiale o meno) e la granulometria (Uzielli et. al., 2018 e riferimenti). In particolare, il disastro del 26 novembre 2022 è stato innescato da un evento pluviometrico giornaliero molto estremo (De Falco et. al., 2023 e Romeo et. al., 2023), che è stato poi ricondotto al cambiamento climatico. Va detto che la maggior parte delle frane si verifica in concomitanza con eventi alluvionali, a dimostrazione che entrambi sono innescati da forti precipitazioni.

Il capitolo successivo:

1. fornisce una panoramica generale della geomorfologia, della geologia e della sismicità, che è un driver di base per i rischi geologici;
2. elenca gli eventi segnalati nel contesto dei rischi idrogeologici;
3. fornisce una panoramica delle zone a rischio frana dell'isola;
4. fornisce una panoramica delle zone a rischio alluvione dell'isola.

1.4.1 Geomorfologia, geologia e sismicità

Dal punto di vista geomorfologico, il Monte Epomeo (789 m.s.l.m.) è un alto strutturale, ossia un Horst tettonico, con un ripido versante che va da nord a nord-ovest e un versante meridionale più lieve. Sull'isola si trovano anche cime più basse, come il Monte Vezzi (394 m.s.l.m.) nella parte sud-orientale dell'isola e il Monte Rotaro (307 m.s.l.m.). La costa, soprattutto nella parte meridionale dell'isola, è caratterizzata da ripide scogliere.

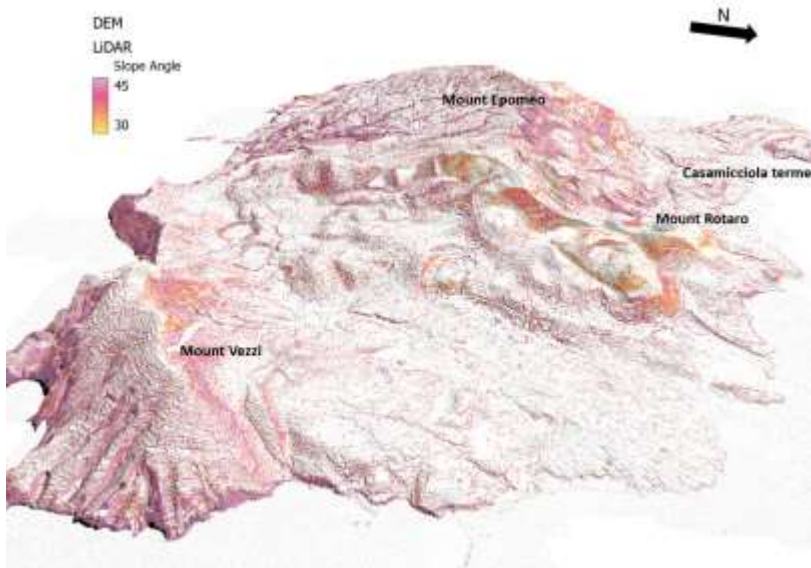


Figura 1-12: Vista 3D di Ischia con visualizzazione delle pendenze superiori a 30°, Scala verticale x 1,5

Dal punto di vista geologico, l'isola è dominata dal tufo verde del Monte Epomeo, da diverse rocce piroclastiche ed epiclastiche di granulometria compresa tra cenere e bombe, e da rocce laviche. I fianchi delle montagne, soprattutto intorno al Monte Epomeo, sono ricoperti da materiale incoerente e terreni piroclastici (Carta Geologica, 2011). I tufi verdi del Monte Epomeo favoriscono l'instabilità dei versanti.

Il tufo verde ha generalmente una porosità aperta relativamente alta, il che significa che l'acqua può facilmente infiltrarsi in questa litologia applicando pressione ai pori e destabilizzando l'ammasso roccioso. Il tufo verde del Monte Epomeo contiene anche minerali argillosi rigonfiabili del gruppo della smectite, che è un prodotto dell'alterazione delle rocce basaltiche sottoposte agenti atmosferici (D'Antonio et al, 2021⁶). Questi minerali argillosi aumentano il loro volume quando entrano in contatto con l'acqua, aumentando la pressione dei pori che è uno dei motori delle frane a livello microscopico.



Figura 1-13: Tufo verde del Monte Epomeo (data della foto: 05/10/2023).

Il vulcanismo si origina da e lungo ripide faglie, che definiscono e formano blocchi vulcanici (Carlino et al., 2022⁷). Secondo Carlino et al. 2022, la subsidenza dell'isola negli ultimi 5.000 anni - uno sprofondamento gravitazionale - avviene lungo le medesime faglie, che si attivano nel processo creando sforzi di taglio ed eventualmente causando terremoti (Figura 1-14). Ciò avviene soprattutto nella parte settentrionale dell'isola, intorno a Casamicciola Terme, lungo la faglia della Grande Sentinella (GS). Gli autori evidenziano

⁶ D'Antonio, Massimo, Arienzo, Ilenia, Brown, Richard J., Petrosino, Paola, Pelullo, Carlo, Giaccio, Biagio. (2021) "Petrografia e chimica minerale del tufo verde di Monte Epomeo, Isola di Ischia, Italia meridionale: Constraints for Identification of the Y-7 Tephrostratigraphic Marker in Distal Sequences of the Central Mediterranean". *Minerali* 11(9):955

⁷ Carlino Stefano, Alessandro Sbrana, Nicola Alessandro Pino, Paola Marianelli, Giuseppe Pasquini, Prospero De Martino e Vincenzo De Novellis. (2022): "La tettonica vulcanica del settore settentrionale della caldera dell'Isola di Ischia (Italia meridionale): Risorgive, Subsidenza e Terremoti". *Front. Scienze della Terra, Sez. Vulcanologia*, 10, <https://doi.org/10.3389/feart.2022.730023>.

anche una leggera inclinazione del blocco del Monte Epomeo verso nord, che porta ad ulteriori sforzi di taglio sulla faglia GS.

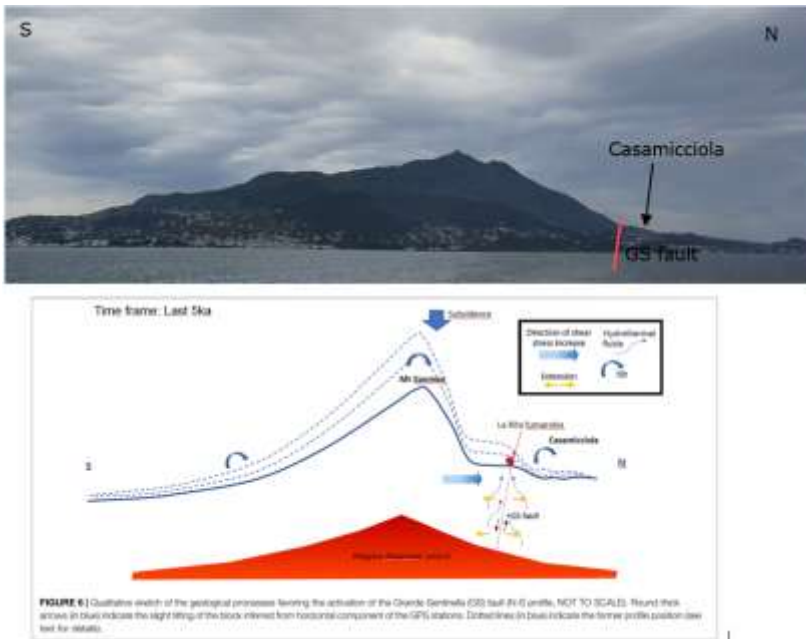


Figura 1-14: In alto: foto di Ischia da un traghetto. In basso: Ultima fase vulcanica e sismica dell'isola in una sezione da Sud a Nord, passante per Casamicciola (Carlino et al, 2022).

1.4.2 Eventi segnalati nel contesto dei rischi idrogeologici

Negli ultimi anni, a Ischia sono stati segnalati diversi disastri naturali. Il 21 agosto 2017, un terremoto di magnitudo piuttosto moderata (M_w 3.9 - M_d 4.0) ha causato due morti, 42 feriti e danni estesi al comune di Casamicciola Terme e ai suoi dintorni, con 2500 sfollati (De Falco et. al., 2023⁸, De Novellis et. al., 2018⁹). Inoltre, a Casamicciola Terme si sono verificati tre gravi eventi franosi negli ultimi 20 anni: Il 30 aprile 2006, una frana si è verificata nei pressi del Monte Vezi causando una vittima (De Vita et. al., 2007¹⁰). Il 10 novembre 2009 (Santo et. al., 2012¹¹) e il 26 novembre 2022 (De Falco et. al., 2023 e Romeo et. al., 2023¹²) forti piogge hanno innescato alluvioni improvvise, colate detritiche e frane che hanno causato un totale di 13 vittime (De Falco et. al., 2023).

Durante il primo sopralluogo (3 - 5 maggio 2023), il consulente ha avuto l'opportunità di visitare l'area che è stata pesantemente colpita dall'evento del 26 novembre 2022. Questo sopralluogo ha fornito importanti indicazioni sui meccanismi e sulle caratteristiche degli eventi franosi estremi a Ischia. Nell'Appendice 3 è documentata in dettaglio la valutazione svolta durante e subito dopo il sopralluogo. Nel frattempo, sono stati pubblicati due articoli scientifici (De Falco et. al., 2023 e Romeo et. al., 2023) che tracciano un quadro più dettagliato, ma simile, dell'evento.

Oltre ai tre eventi ben documentati sopraccitati, i database scientifici contengono ulteriori informazioni su circa 910 frane registrate in passato. Sono stati vagliati i database degli eventi franosi storici. Una fusione

⁸ De Falco Melania, Giovanni Forte, Ermanno Marino, Luigi Massaro & Antonio Santo (2023): Osservazioni UAV e di campo sulla frana di Celario del 26 novembre 2022, Isola di Ischia (Italia meridionale), Journal of Maps 19(1), DOI: 10.1080/17445647.2023.2261484

⁹ De Novellis, V., Carlino, S., Castaldo, R., Tramelli, A., De Luca, C., Pino, N. A., et al. (2018). Il modello di sorgente del terremoto di Ischia del 21 agosto 2017 desunto da misure sismologiche, GPS e DInSAR. Geophysical Research Letters 45, 2193-2202. <https://doi.org/10.1002/2017GL076336>

¹⁰ De Vita et. al., (2007): Engineering geological model of the initial landslides occurred on the 30 April 2006, at the Mount Vezi (Ischia Island, Italy), Italian Journal of Engineering Geology and Environment (2), 119-141. <https://doi.org/10.4408/IJEGE.2007-02.O-08>

¹¹ Santo et. al., (2012): Il flash flood dell'isola di Ischia del novembre 2009 (Italia): Analisi del fenomeno e pericolosità, Fisica e Chimica della Terra 49, 3 - 17. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.12.004>

¹² Romeo et. al., (2023): Indagine e valutazione preliminare della frana di Casamicciola nell'isola di Ischia (Italia) del 26 novembre 2022. Frane 20, 1265-1276. <https://doi.org/10.1007/s10346-023-02064-0>

dei database ITALICA (Peruccacci et al. ,2023¹³), CAFLAG (Esposito e Matano, 2023¹⁴), IFFI (Italian Landslide Inventory by ISPRA, 2023¹⁵) e LaICa (Fusco et al. 2023¹⁶) ha identificato 910 frane dal 1828 al 2022 sull'isola di Ischia (Figura 1-15). I diversi dataset contengono informazioni sulla localizzazione, sulla data, sulle caratteristiche della frana (ad esempio tipo di movimento, angolo di attrito, fattori scatenanti) e sui danni. Purtroppo, queste informazioni non sono sempre disponibili. Ad esempio, la data esatta di accadimento non è sempre disponibile all'interno dei set di dati. Queste informazioni sono tuttavia molto importanti per mettere in relazione le frane con gli eventi pluviometrici. Le informazioni relative alle intensità (deflusso, energia, volume o velocità) sono generalmente scarse o non disponibili. Sulla base degli eventi documentati in dettaglio, è comunque possibile identificare tre categorie di impatto qualitative (moderato, grave, estremo). In assenza di informazioni sulle intensità, l'attenzione si concentra sulle **frane gravi**, definite come segue:

- si presume che gli eventi per cui sono state riportate le date precise siano eventi gravi, che devono essere considerati nella valutazione del rischio di frana relativo all'isola;
- impatto diretto o indiretto sulla popolazione;
- hanno il potenziale di causare danni alle infrastrutture o di ferire/uccidere persone;
- indipendenti dall'intensità (ad esempio, anche una frana di piccola intensità può avere un forte impatto);
- possono essere di tutti i tipi: complesse, colate detritiche o di terra, crolli di massi e frane superficiali.

Per il periodo 2002-2022, sono elencati 20 eventi con date esatte, di cui 19 sono stati innescati da precipitazioni e uno da un terremoto (cfr. Figura 1-15 e Tabella 1.12). Non sono state segnalate frane profonde, sebbene esista probabilità di accadimento sull'isola. Per quanto possibile, le frane selezionate sono state accertate attraverso ricerche su Internet e da articoli scientifici. Pertanto, nel periodo di osservazione di 21 anni, la probabilità di una frana **grave** è stata del 90% entro un anno.

¹³ Peruccacci et al. (2023): ITALICA, un ampio e accurato catalogo spazio-temporale delle frane indotte dalle piogge in Italia. *Earth System Science Data* 15, 2863-2023. <https://doi.org/10.5194/essd-15-2863-2023>

¹⁴ Esposito, G. e Matano, F. (2023): Un geodatabase di eventi franosi storici verificatisi nell'area vulcanica altamente urbanizzata dei Campi Flegrei, Italia. *Earth System Science Data* 15, 1133-1149. <https://doi.org/10.5194/essd-15-1133-2023>

¹⁵ <https://www.isprambiente.gov.it/en/projects/soil-and-territory/iffi-project>

¹⁶ Fusco, F., Tufano, R., De Vita, P. et. al. (2023): Un inventario rivisto delle frane della regione Campania (Italia). *Dati scientifici* 10, 355. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02155-6>

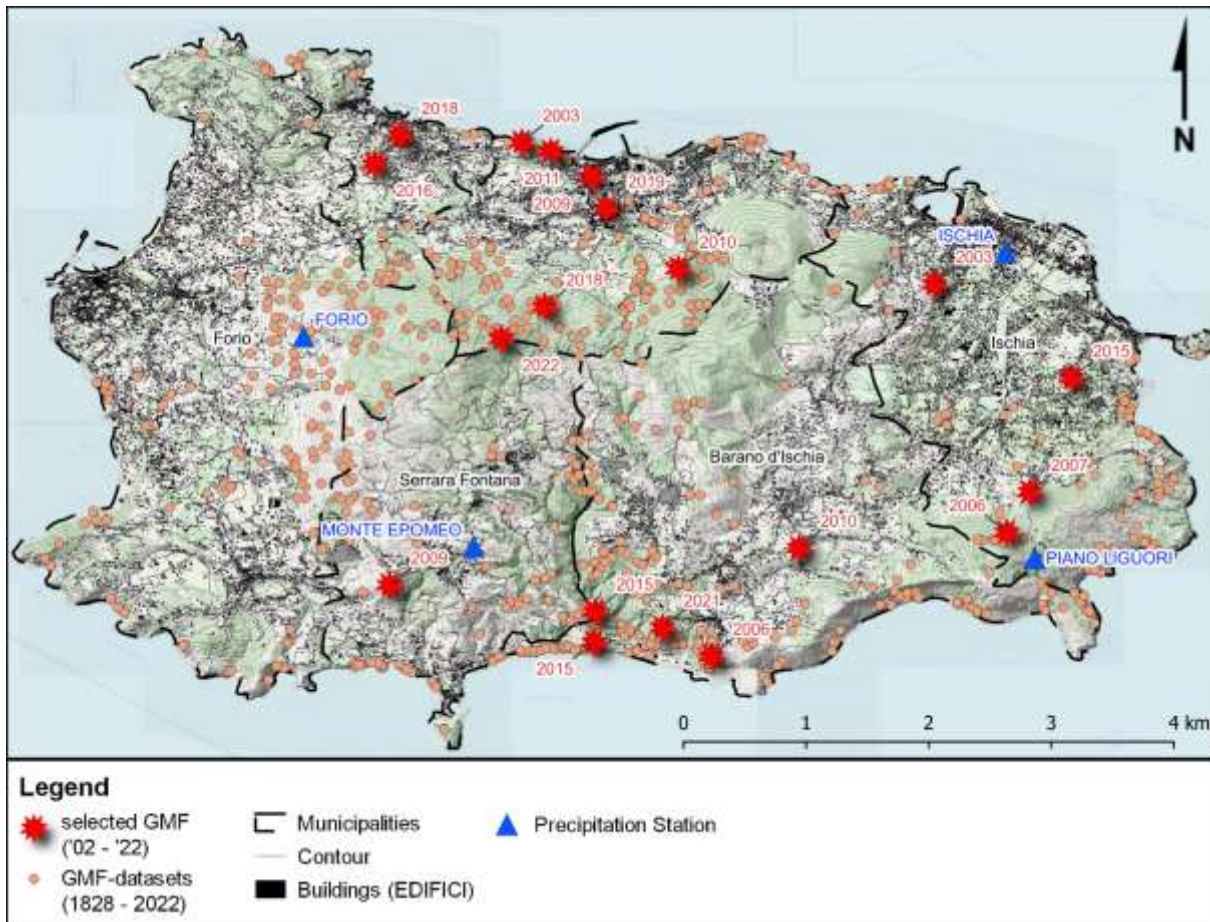


Figura 1-15 Isola di Ischia: panoramica dei trasporti di massa gravitativi (TMG) storici e delle stazioni pluviometriche.

Tabella 1-12 Alcuni gravi TMG selezionati (2002 - 2022) con informazioni aggiuntive (data, precipitazioni al momento dell'evento e 59 giorni prima).

Data			Pioggia @ Monte Epomeo		Data			Pioggia @ Monte Epomeo	
anno	mese	giorno	giorno dell'evento [mm/d]	59 giorni prima dell'evento [mm/59d]	anno	mese	giorno	giorno dell'evento [mm/d]	59 giorni prima dell'evento [mm/59d]
2003	2	4	9.8	315	2015	2	22	44	388
2003	9	9	29.2	53	2015	2	25	19.6	447
2006	4	30	32.8	95	2015	2	26	19.6	456
2006	7	7	32.2	47	2016	10	9	5.2	263
2007	10	6	71	101	2018	2	20	9	154
2009	1	14	14	389	2018	2	24	18.8	216
2009	11	10	44	311	2019	11	25	19.6	420
2010	6	21	3.4	103	2021	12	11	7.6	409
2010	9	25	32.2	54	2022	11	26	145.4	199
2011	3	5	39.8	220					

1.4.3 Frane

Per identificare le aree esposte a frane è stato applicato il seguente approccio del Sistema Informativo Geografico (GIS) su scala dell'intera isola (1:35.000):

1. Identificazione delle zone geomorfologicamente omogenee sulla base di informazioni sulla pendenza (derivate da un modello digitale di elevazione ad alta risoluzione (Comm. Strutt., 2023) e da una carta geologica.
2. Analisi dei dati catastali storici delle frane e identificazione degli hotspot sulla base di mappe di frequenza.
3. Analisi della mappa della pericolosità e del rischio di frana esistente (cioè la mappa ISPRA) basata sui punti (1) e (2).

L'analisi geomorfologica riporta 11 zone geomorfologiche (GMZ). Le zone sono aree caratterizzate da una estensione spaziale) delle frane consistente (zona di partenza, percorso e area di deflusso. Una stima qualitativa della suscettibilità alle frane è stata stilata sulla base del giudizio di esperti (1 ... moderata, 2 ... media, 3 ... alta e 4 ... molto alta). La Figura 1-16 mostra le 11 zone. Naturalmente, le GMZ con terreni più ripidi rientrano in una categoria di suscettibilità più elevata.

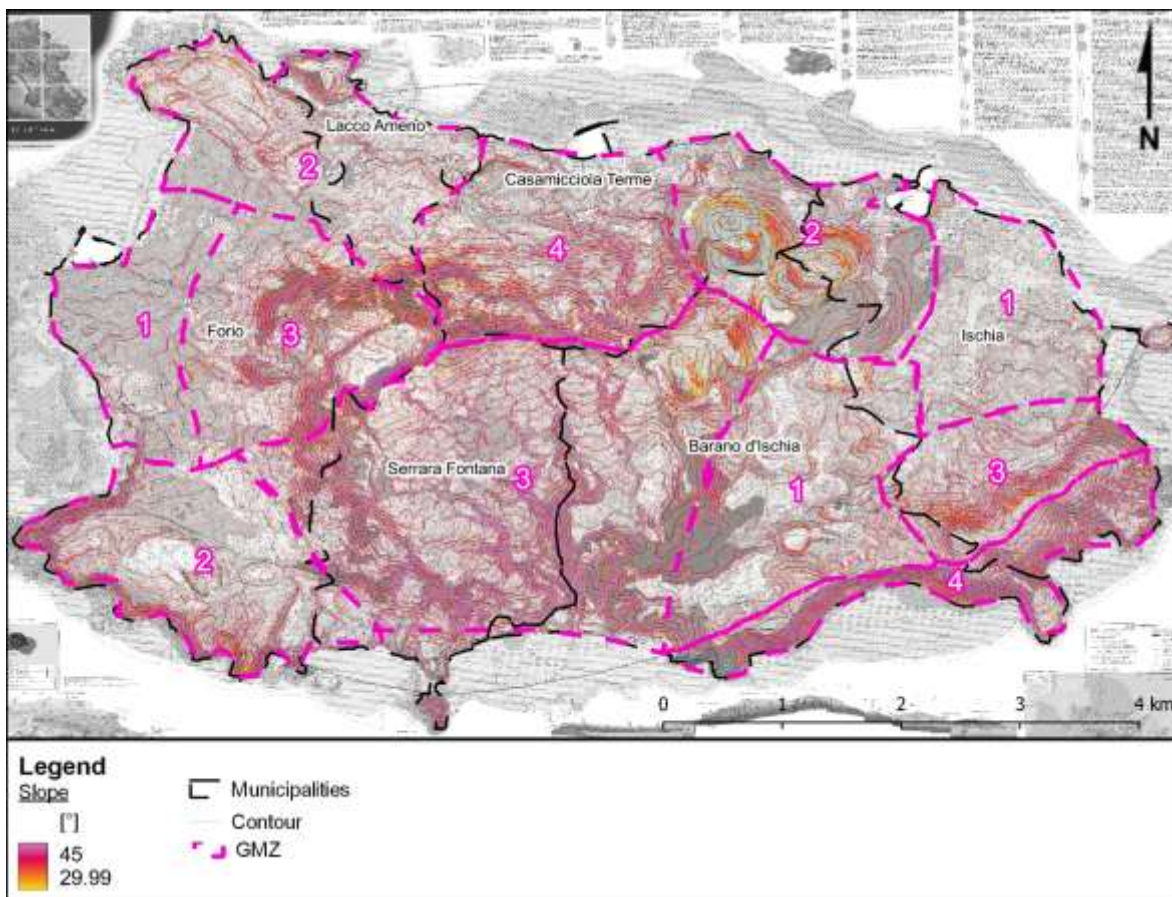


Figura 1-16 Isola di Ischia: l'analisi geomorfologica porta a 11 zone geomorfologiche (GMZ).

La Figura 1-17 illustra la documentazione delle frane descritta nel capitolo 1.4.2. La Tabella 1.13 mostra le frane suddivise per comune. Esistono diversi hotspot: Casamicciola Terme e Barano d'Ischia sono i comuni con il maggior numero di frane. In particolare, Casamicciola Terme mostra il maggior numero di frane per km² e una maggiore frequenza di frane gravi. Inoltre, la parte meridionale (parte costiera) è particolarmente colpita da frane. Forio è stata vittima di molte frane in passato, ma nessuna frana grave

negli ultimi anni. Ulteriori informazioni dalla fonte ISPRA rivelano che la maggior parte delle frane di Forio sono frane profonde.

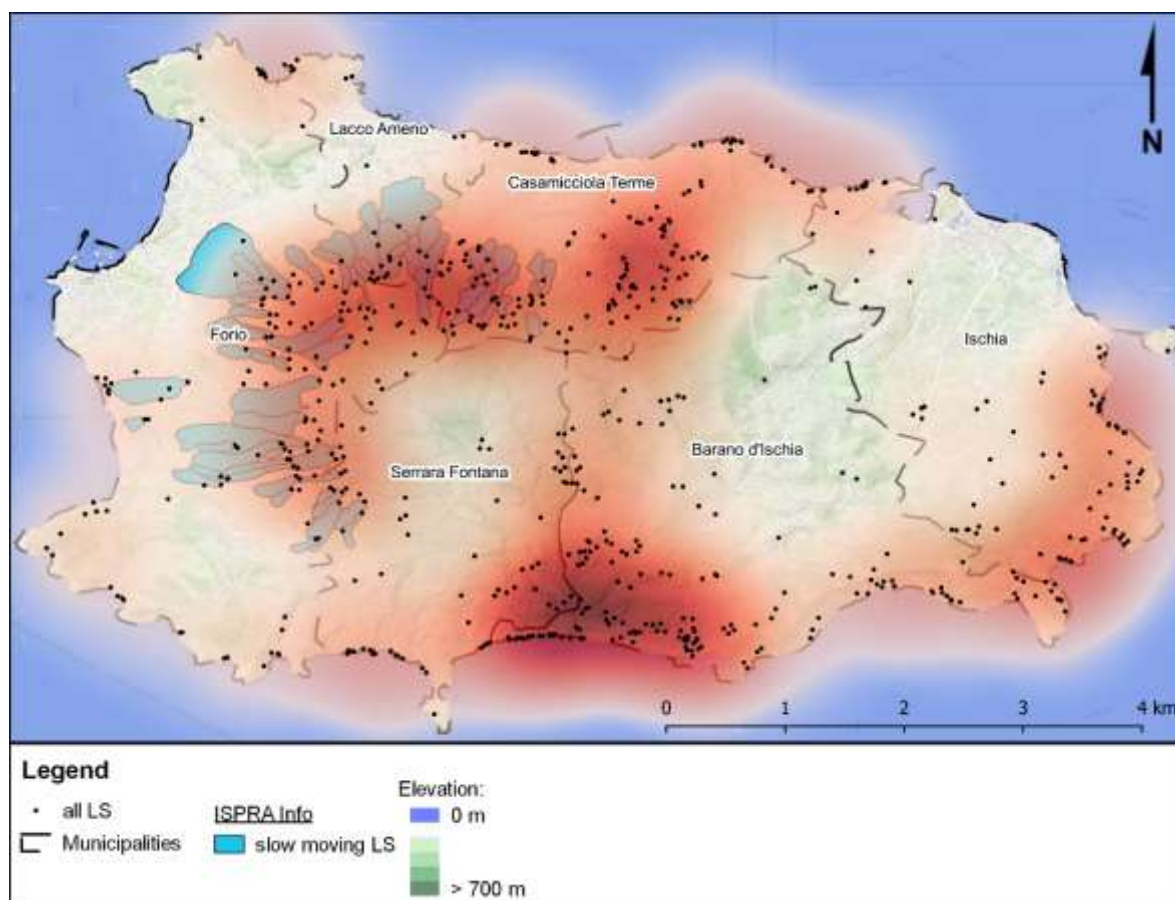


Figura 1-17 Isola di Ischia: Mappa delle densità delle frane avvenute in passato. Il colore rosso identifica le aree con maggiore attività franosa.

Tabella 1-13: Eventi di frana osservati per comune per diversi periodi.

Comune	eventi totali (1828 - 2022)	eventi per km ² (1828 - 2022)	frane gravi* (2002 - 2022)
Forio	196	15	0
Ischia	117	14	4
Lacco Ameno	38	18	3
Casamicciola Terme	214	37	7
Barano d'Ischia	233	21	4
Serrara Fontana	112	17	2

* Le frane gravi sono definite nel capitolo 1.4.2

La Figura 1-18 mostra le zone di pericolosità da frana ISPRA, disponibili pubblicamente. La mappa ISPRA è un dataset che fornisce zone di pericolosità categorizzate (P1 ... moderata, P2 ... media, P3 ... alta e P4 ... molto alta). La classificazione è piuttosto complessa e la preparazione e il metodo di delimitazione di queste zone sono sconosciuti. Inoltre, un'analisi più dettagliata della mappa ha rivelato che ci sono alcuni punti deboli nella categorizzazione. Ad esempio, il versante settentrionale del Monte Epomeo e il versante

meridionale del Monte Vezzi rientrano nella stessa categoria di pericolosità (confronta Figura 1-19 pannello di sinistra). Tuttavia, il potenziale energetico è più elevato sul Monte Epomeo a causa delle maggiori altitudini e della maggiore pendenza della superficie. I pendii della parte meridionale del Monte Epomeo presentano una categoria di pericolosità inferiore (pendii più pianeggianti e terrazzamenti). Un altro esempio è mostrato nella Figura 1-19 - pannello di destra: l'estensione spaziale dell'evento TMG del 26 novembre 2022 rientra in generale nella classificazione di pericolosità ISPRA. Tuttavia, l'evento TMG principale attraversa un'area non pericolosa (in bianco), che è però circondata da zone di pericolo. Si tratta di una lacuna nella mappa di pericolosità ISPRA. Ciò dimostra l'importanza di aggiornare, verificare e calibrare costantemente le mappe di pericolosità con nuovi eventi. Tuttavia, la mappa di pericolosità sembra tener conto dei maggiori eventi franosi. La mappa mostra le zone di pericolo intorno ai fianchi scoscesi delle montagne dell'isola ed è considerata adatta a una scala di 1:35000.

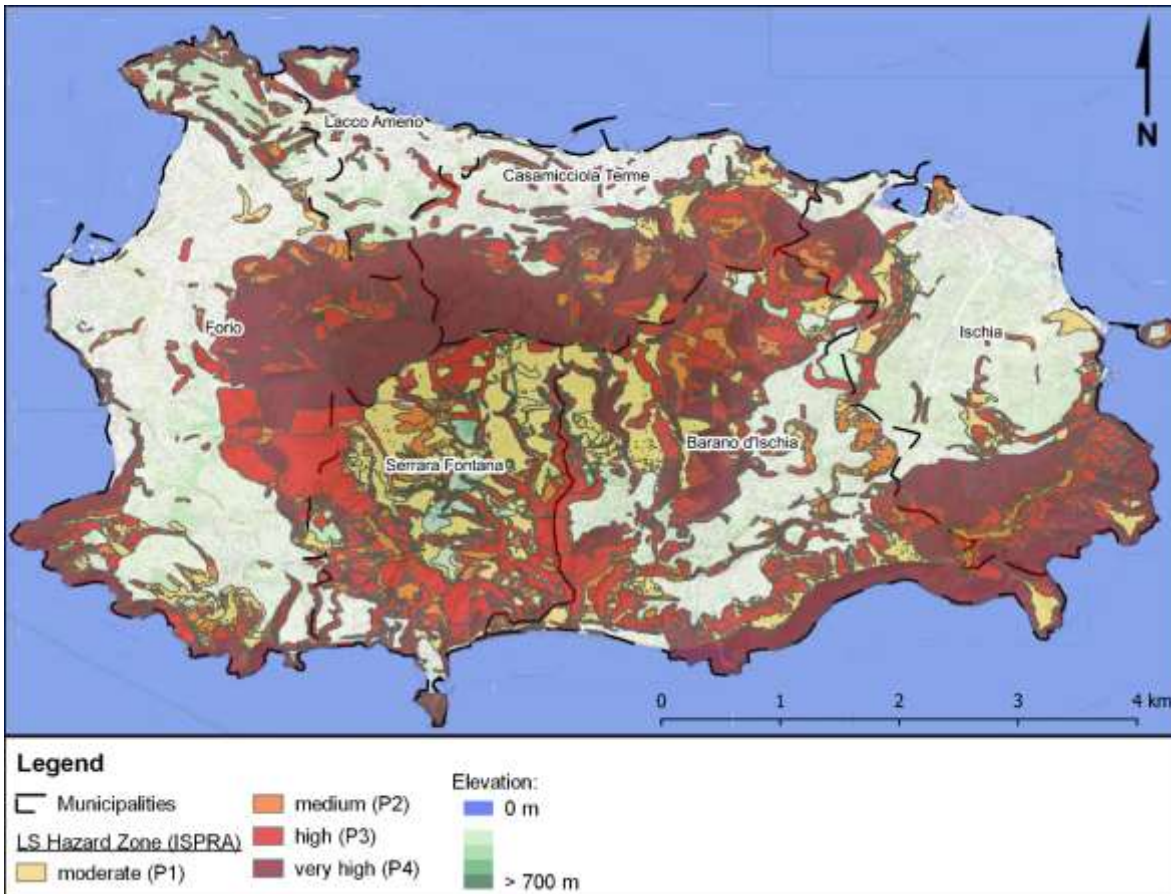


Figura 1-18 Isola di Ischia: Carta della pericolosità da frana esistente (fonte: ISPRA).

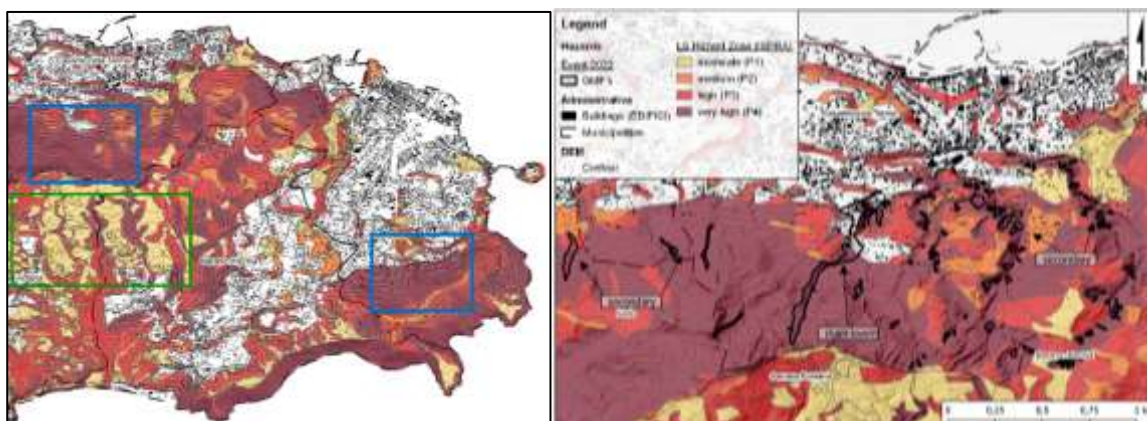


Figura 1-19 Esempi di punti deboli della mappa di pericolosità da frana esistente (fonte: ISPRA).

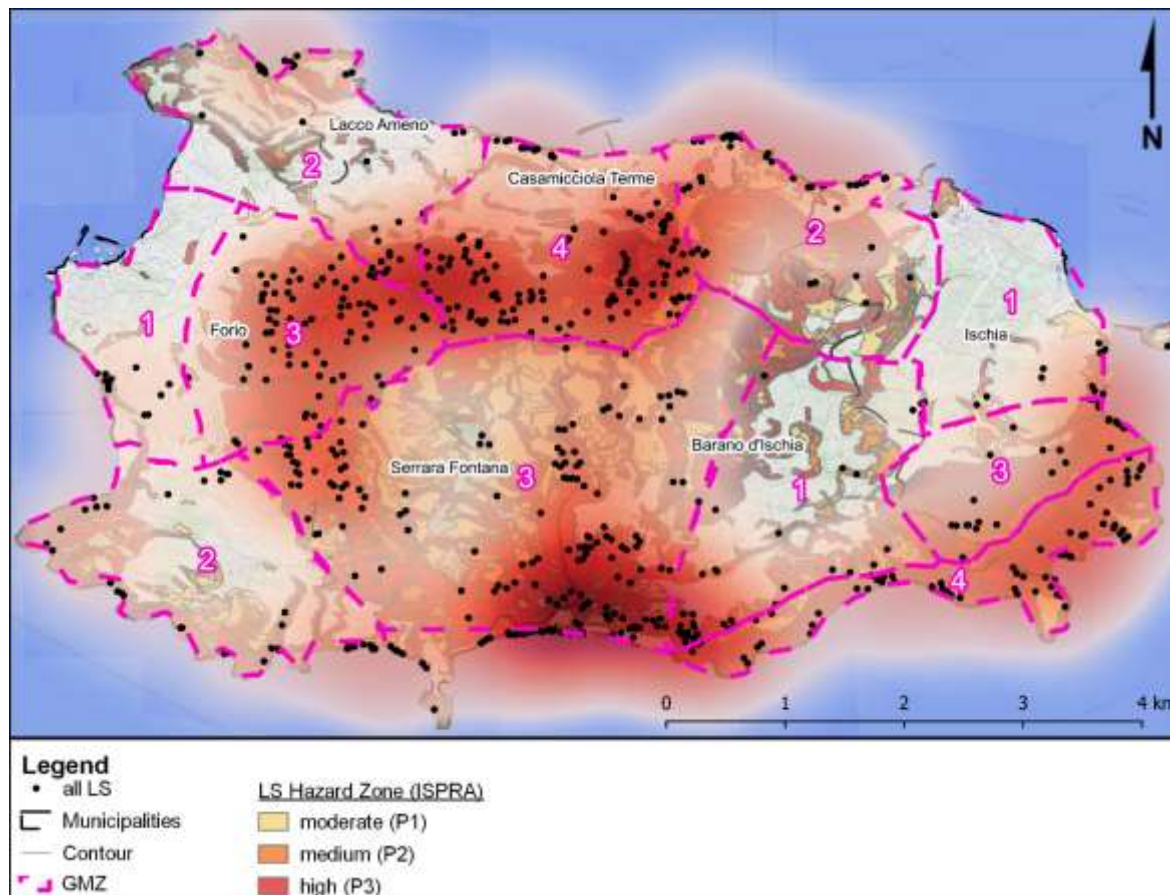


Figura 1-20 Isola di Ischia: sovrapposizione della mappa di pericolosità da frana esistente (fonte: ISPRA), delle zone geomorfologiche identificate e degli eventi franosi storici.

In sintesi:

- La mappa di pericolosità ISPRA mostra una buona corrispondenza (1) con la mappa di densità delle frane storiche, (2) con le zone geomorfologiche e con l'indice di suscettibilità qualitativa (confronta Figura 1-20);
- Le aree ripide sono classificate come zone a rischio elevato/molto elevato;
- Le zone di deflusso delle frane sembrano essere riportate sulla mappa ISPRA;
- La mappa ISPRA mostra alcune lacune: il potenziale energetico sulle pendici settentrionali del Monte Epomeo (Casamicciola) potrebbe essere più elevato rispetto ad altre regioni. Le aree bianche circondate da zone di pericolo vicino al Cretaio hanno una minore densità di frane (minore probabilità).

Nelle sezioni successive, il rischio di frana per ogni settore sarà valutato sulla base della mappa di pericolosità da frana di alto livello ottenuta e sulla base dei potenziali danni.

1.4.4 Inondazioni

I principali tipi di inondazioni osservati a Ischia sono:

- Alluvioni improvvise: innescate da precipitazioni estreme di breve durata, che provocano fenomeni di acqua alta e flussi detritici nei bacini idrografici più piccoli, lungo le trincee e i torrenti;
- Alluvioni pluviali: le piogge eccessive provocano l'inondazione di aree pianeggianti che non riescono ad assorbire l'acqua piovana o i flussi d'acqua provenienti dalle colline;

- Inondazioni urbane: le piogge eccessive portano al collasso dei sistemi di drenaggio urbano che non riescono ad assorbire l'acqua;
- Inondazioni costiere: dovute alla spinta dell'acqua a riva da parte di mareggiate e venti forti o all'innalzamento del livello del mare.

Lo sviluppo di una **mappa** dettagliata della **pericolosità da alluvione** che includa le aree soggette a inondazioni è un compito impegnativo, che richiede una simulazione idraulica dettagliata dell'area di studio. Tuttavia, per una prima stima delle aree a rischio di inondazione, è disponibile un metodo più semplice, ma anche efficace. In questo studio la stima si basa su un'analisi topografica dell'isola che identifica le aree in base alla loro altezza rispetto al drenaggio o al corso d'acqua più vicino. I risultati sono confrontati con i dati del portale ISPRA, che fornisce anche una mappa della pericolosità da alluvione dell'isola.

La mappa in Figura 1-21 mostra le aree a rischio di alluvione a Ischia secondo il dataset ISPRA. Le aree lungo i principali corsi d'acqua e le depressioni topografiche sembrano essere correttamente identificate e plausibili. Tuttavia, le aree lungo le ripide trincee situate in quota nel centro dell'isola, e alcune forme circolari non sono comprensibili in quanto la topografia non consente l'accumulo o la stagnazione dell'acqua in questi luoghi. I punti potrebbero indicare eventi storici, ma non ci sono ulteriori informazioni sulla loro origine. Inoltre, queste aree non corrispondono alle reali zone di impatto. Inoltre, sembra che alcune aree non siano state identificate affatto, soprattutto nella parte bassa dei comuni di Ischia e Forio. Date le informazioni disponibili, non è chiaro se questa mappa sia il risultato di una simulazione, di una classificazione manuale o di un algoritmo e su quali dati si basi. Pertanto, queste informazioni possono essere utilizzate solo con riserva. Inoltre, non esistono informazioni sui periodi di ritorno per le aree inondate identificate.

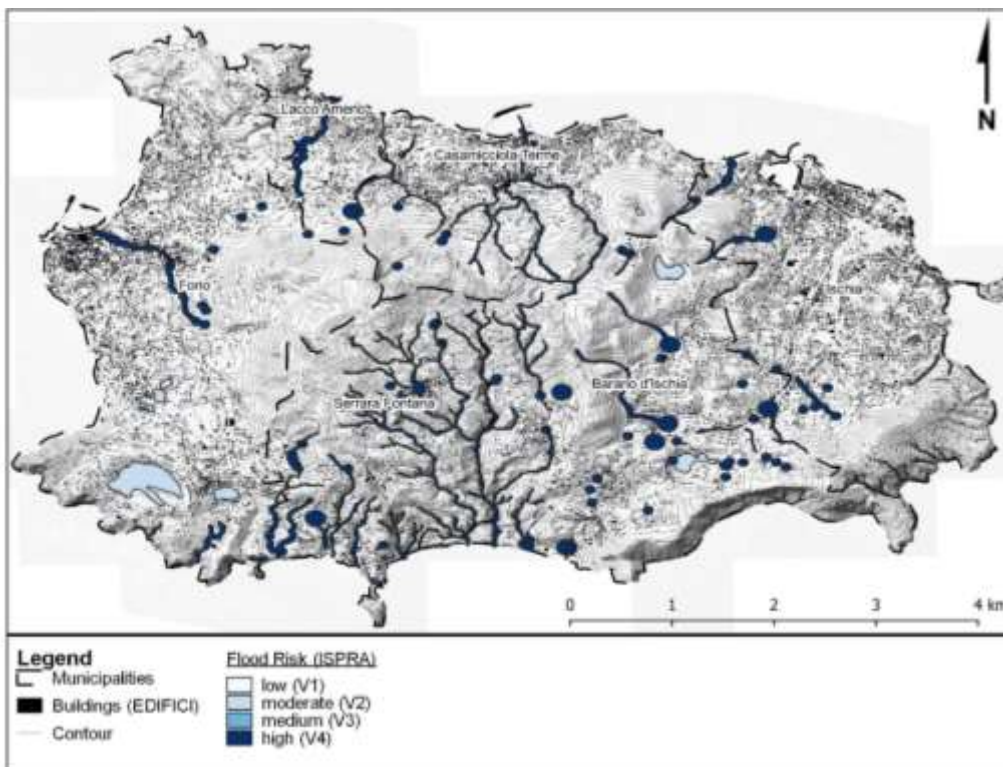


Figura 1-21 Aree a rischio di alluvione a Ischia secondo il dataset ISPRA sulla pericolosità da alluvione.

In questa fase, l'approccio per determinare una mappa preliminare della pericolosità da alluvione si basa su un'analisi topografica molto approssimativa. Questa analisi serve come controllo di plausibilità del dataset ISPRA e, in una seconda fase, viene combinata con la stessa. La Figura 1-22 mostra il risultato dell'analisi topografica, che evidenzia tutte le aree che hanno un'altezza al di sopra del drenaggio più vicino (HAND) uguale o inferiore a quattro metri. Ciò significa che la mappa evidenzia le aree che si trovano da 0

a 4 metri al di sopra dell'alveo del fiume, che è un'ipotesi approssimativa dei livelli dell'acqua durante le piene, basata sul giudizio di esperti piuttosto che su simulazioni idrauliche.

Va notato che questo valore è conservativo e dovrebbe essere verificato o perfezionato da simulazioni idrauliche di inondazione. Tuttavia, nel dettaglio, la mappa si basa sul modello digitale di elevazione (DEM) ad alta risoluzione derivato da una scansione laser. Sulla base di questo set di dati, un algoritmo GIS ha calcolato l'accumulo di flusso, le direzioni del flusso e la rete fluviale dell'isola. Sulla base di questi risultati è stata condotta un'analisi topografica in cui per ogni punto di drenaggio lungo la rete fluviale è stata calcolata la distanza verticale da ogni pixel all'interno dell'area di drenaggio corrispondente. È stata fissata una soglia di 0,5 km² per il bacino idrografico minimo, per garantire che le aree considerate possano accumulare acqua a sufficienza per un'inondazione significativa.

Le aree identificate come da 0 a 4 metri sopra l'alveo sembrano essere coerenti con il dataset ISPRA. Rispetto alla Figura 1-21 questo approccio identifica le stesse depressioni, aree lungo i corsi d'acqua più grandi e ulteriori aree significative di allagamento nelle parti basse di Ischia e Forio. Inoltre, nel caso in cui la mappa ISPRA identifichi un'area allagata, questa è una stima conservativa. Tuttavia, in questa fase non erano disponibili informazioni relative al drenaggio urbano o ai sistemi fognari, che quindi non sono stati considerati nella creazione della mappa.

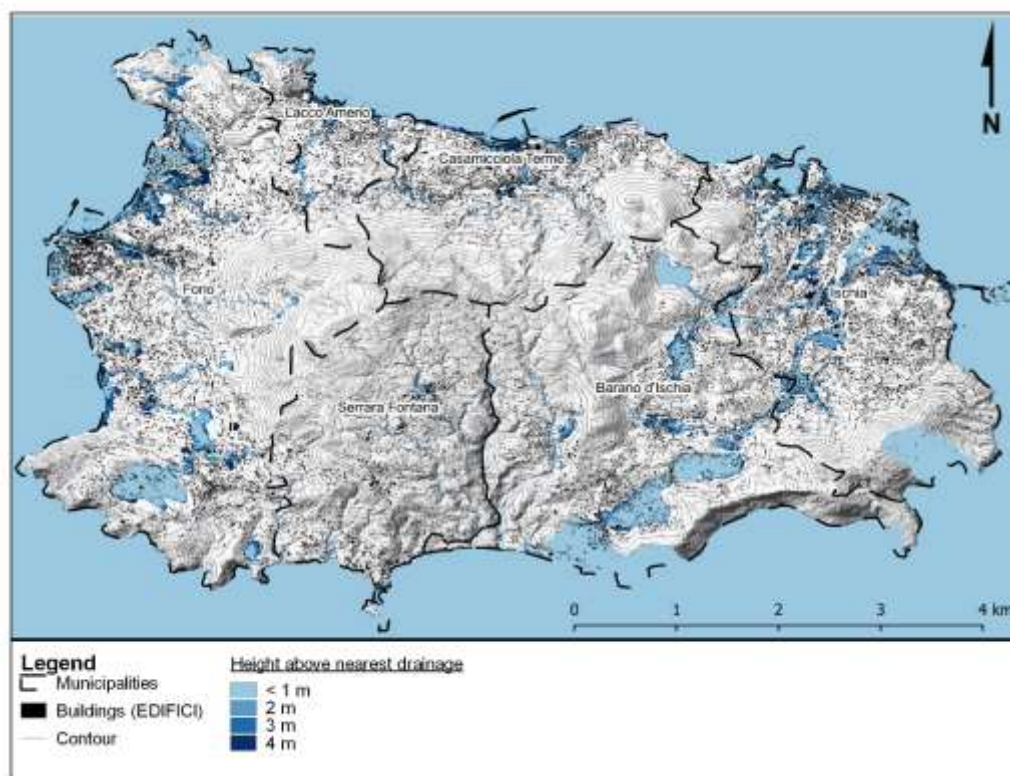


Figura 1-22 Altezza rispetto al drenaggio più vicino. Le aree evidenziate sono state identificate come più soggette a inondazioni a causa della loro differenza di altitudine rispetto al punto di drenaggio più vicino. Per l'analisi sono stati considerati solo i punti di drenaggio con un bacino d'utenza superiore a 0,5 km².

La Figura 1-23 mostra la mappa di alta pericolosità da alluvione, che è una combinazione della mappa ISPRA e dell'analisi topografica. In dettaglio, (1) i poligoni circolari sono stati cancellati dal dataset ISPRA e (2) il dataset rimanente è stato unito a un dataset HAND modificato. Il dataset HAND è stato modificato in modo da cancellare le aree soggette a inondazioni costiere e poligonizzare la linea limite a 4 metri dell'acqua.

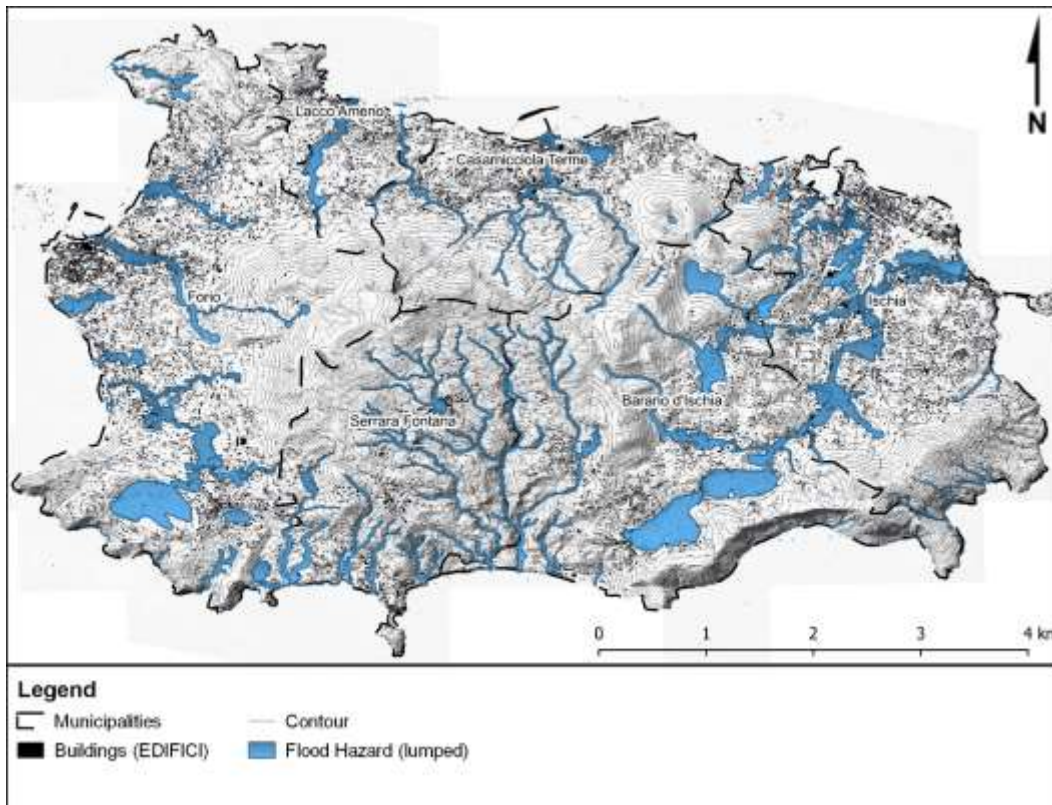


Figura 1-23 Mappa di alta pericolosità da alluvione dell'isola di Ischia. Combinazione della mappa del rischio di alluvione ISPRA e dell'analisi dell'altezza rispetto al drenaggio più vicino.

Una delle ragioni dell'elevata incertezza nelle stime del rischio di alluvione per l'isola di Ischia è la topografia intrinseca, con molti piccoli ruscelli e corsi d'acqua effimeri, ma nessun fiume più grande. A causa di questa rete di drenaggio dispersiva, non sono disponibili osservazioni di portata e non si conoscono le portate di piena legate a eventi pluviometrici estremi.

Dopo l'evento estremo del novembre 2022, il team del Prof. Domenico Pianese del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università di Napoli Federico II ha messo a punto un modello di deflusso delle piogge per due torrenti di Casamicciola Terme. Le loro simulazioni sono descritte nel "Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione" (2023). I modelli idrologici e idraulici associati sono stati impostati per i bacini idrografici di due torrenti, come mostrato in Figura 1-24. Questi modelli sono stati applicati per simulare le portate di piena generate da eventi pluviometrici con diversi periodi di ritorno.



Figura 1-24. Bacini idrografici del versante settentrionale del Monte Epomeo (torrenti blu scuro) e canali che drenano attraverso Casamicciola Terme (torrenti blu chiaro) considerati nei modelli idrologici e idraulici (vista verso Casamicciola Terme da nord verso sud, fonte: Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione, 2023)

Per la definizione dell'input pluviometrico, sono state analizzate in dettaglio le intensità delle precipitazioni estreme su scale temporali brevi di poche ore e sono state derivate curve di intensità-durata-frequenza (IDF) per l'isola di Ischia. Sono state stabilite nuove curve IDF basate sulle più recenti osservazioni delle stazioni locali e confrontate con le curve IDF regionali calcolate in precedenza. La Figura 1-25 mostra il confronto delle osservazioni del 26 novembre nelle quattro stazioni di Ischia con le nuove curve IDF. Le misurazioni per le durate più brevi erano nell'intervallo dei periodi di ritorno da 20 a 100 anni, mentre le durate più lunghe, da 5 a 12 ore, erano correlate a periodi di ritorno ancora più elevati, fino a 500 anni, soprattutto a Forio. Va notato, tuttavia, che il record di osservazioni di circa 20 anni è molto breve per una stima affidabile dei periodi di ritorno, per cui rimane una sostanziale incertezza sul periodo di ritorno delle osservazioni del 26 novembre.

Le curve IDF sono state utilizzate per generare input di pioggia basati su diversi periodi di ritorno, e le relative piene sono state inserite nei modelli idrologici e idraulici di deflusso pioggia-deflusso. La Figura 1-26 presenta i risultati della simulazione, per un evento e uno dei corsi d'acqua modellati (Via Cava verso il mare, sul lato destro nella figura precedente in Figura 1-24).

I modelli pluviometrici esistenti descritti per i versanti settentrionali del Monte Epomeo e di Casamicciola Terme saranno utilizzati per la valutazione delle portate di piena conseguenti ai cambiamenti climatici. Per questa valutazione, sono state sviluppate curve IDF di precipitazioni estreme conseguenti ai cambiamenti climatici, sulla base dei dati dei modelli climatici, come descritto nel Capitolo 2.4.2.

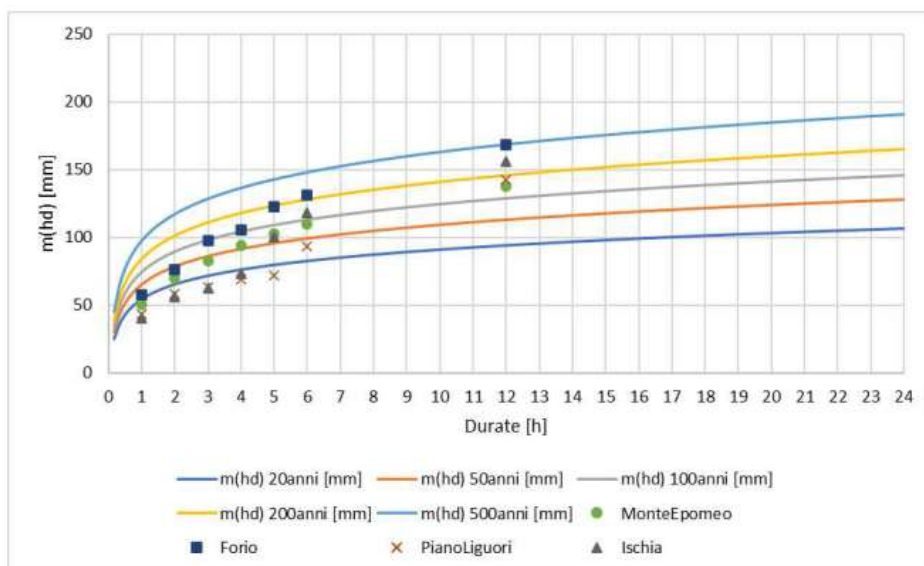


Figura 1-25 Confronto delle curve IDF regionali per l'isola di Ischia con diversi periodi di ritorno con le precipitazioni massime dell'evento del 26 novembre (fonte: Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione, 2023)

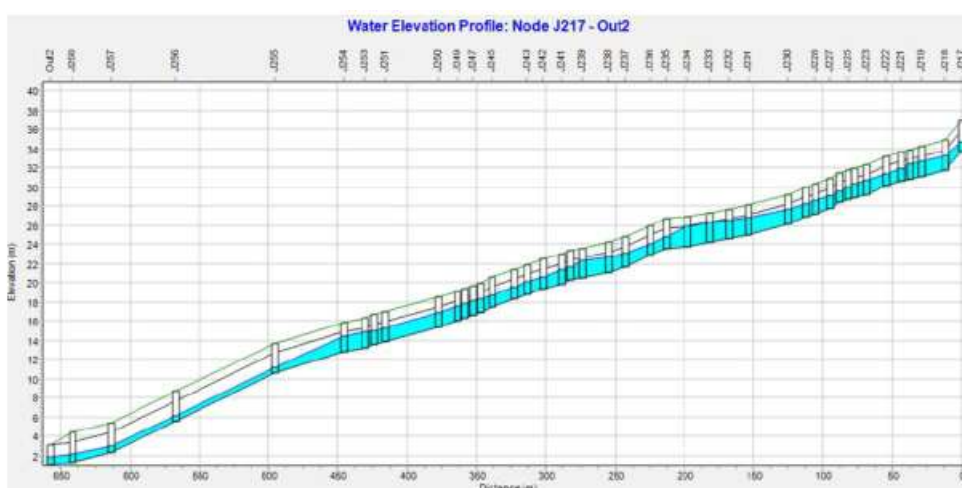


Figura 1-26 Sezione longitudinale dell'innalzamento dell'acqua durante un evento di piena centennale nel modello relativo al torrente di Via Cava verso il mare, con una portata simulata di 46 m³/s (fonte: Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione, 2023).

In sintesi:

- Le aree a rischio di inondazione identificate nelle mappe del rischio di alluvione ISPRA sono da considerarsi piuttosto conservative. Tuttavia, non sono disponibili informazioni sui periodi di ritorno e sui metodi utilizzati.
- L'analisi topografica che porta al set di dati HAND è un metodo semplificato per ottenere le aree potenzialmente soggette ad alluvioni. La calibrazione e l'integrazione con la mappa ISPRA modificata portano a una mappa di alta pericolosità da alluvione, come presentato in questo capitolo.
- Le inondazioni costiere non sono considerate in queste mappe, ma vengono analizzate e discusse nel Capitolo 1.6

- Per due torrenti di Casamicciola Terme che sono stati interessati da flussi di piena nel novembre 2022, sono disponibili simulazioni di modelli di deflusso delle piogge che consentono di stimare le portate di piena dopo eventi di precipitazione estreme.
- Sono necessari ulteriori studi sulle alluvioni per aumentare le informazioni sui deflussi e migliorare il livello di confidenza delle mappe del rischio di alluvione. Ad esempio, le velocità del flusso e le altezze effettive dell'acqua (entrambi indicatori di intensità) non possono essere considerate da questa analisi di alto livello.
- La mappa dell'alta pericolosità da alluvione (in scala 1:35.000, mostrata in Figura 1-23) può essere utilizzata per identificare in generale le aree soggette a inondazioni e può essere utilizzata nell'analisi settoriale.

1.5 Incendi boschivi

Le colline di Ischia sono per lo più boschive, soprattutto sul versante settentrionale. Il database EFFIS (<https://effis.jrc.ec.europa.eu>) mostra che negli ultimi anni sono stati osservati alcuni incendi boschivi (Figura 1-27). È interessante notare che tutti gli incendi segnalati risalgono al 2021 e al 2022, mentre il database stesso inizia nel 2008. Tuttavia, il database potrebbe essere carente di dati, poiché i segnali di incendio boschivo mostrati in Figura 1-28 non fanno parte del database. A prescindere da ciò, gli incendi sono un problema nell'isola e potrebbero essere amplificati dai cambiamenti climatici.



Figura 1-27 Panoramica degli incendi boschivi basata sul database EFFIS (2008 - 2022).



Figura 1-28 Segni osservati di un incendio boschivo avvenuto nel 2022. L'immagine è stata scattata durante la missione di ricerca (3rd - 5th maggio 2023) dalla stazione degli autobus di Ischia in direzione della collina del Montagnone.

1.6 Oceanografia del Mediterraneo

1.6.1 Livello del mare

Le fluttuazioni del livello del mare sono dovute ad una combinazione di fattori astronomici e climatici, su scale temporali diverse (Figura 1-29). I diversi parametri sono i seguenti:

- Marea astronomica (relativamente bassa nel Mar Mediterraneo);
- Mareggiate (dovute alla combinazione di bassa pressione e vento che soffia sulla superficie del mare);
- Set-up e run-up dell'onda (nella zona di rottura dell'onda);
- Innalzamento del livello del mare dovuto al riscaldamento globale.

Ad eccezione delle maree astronomiche, tutti gli altri parametri possono essere influenzati dai cambiamenti climatici. I diversi parametri (ad eccezione dell'innalzamento del livello del mare) sono descritti più dettagliatamente nel capitolo 2.6.

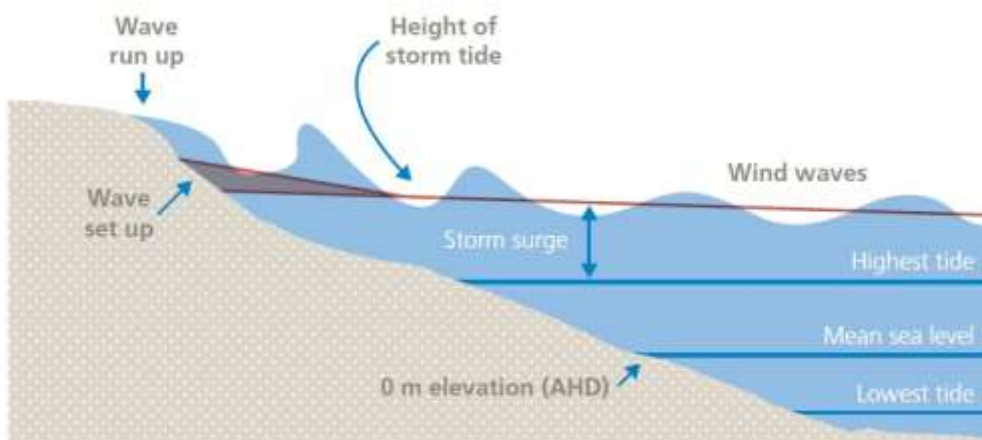


Figura 1-29. Illustrazione dei parametri del livello del mare che influiscono su una zona costiera

Le fluttuazioni del livello del mare sono registrate dai mareografi in tutto il mondo. Un mareografo è installato a Ischia Porto e uno a Castellammare.

Le misurazioni dei mareografi a Ischia sono state descritte e analizzate in "Sea-Level Variability in Gulf of Naples" and the "Acqua Alta" Episodes in Ischia from Tide-Gauge Observations in the Period 2002-2019" di Bernardino Buonocore, Yuri Cotroneo, Vincenzo Capozzi, Giuseppe Aulicino, Giovanni Zambardino e Giorgio Budillon.

Il lavoro presenta un dataset mareografico di 18 anni (2002-2019) raccolto sull'Isola di Ischia (Golfo di Napoli, Mar Tirreno meridionale) che può contribuire all'analisi delle caratteristiche fondamentali della variabilità del livello del mare in questa regione. L'analisi delle componenti mareali mostra che il Golfo di Napoli è caratterizzato dall'assenza di un sistema anfidromico. In quest'area, le variazioni del livello del mare dovute alla **componente astronomica** della marea sono generalmente **limitate a ± 20 cm** rispetto al livello medio del mare, ma l'impatto di questa variabilità è rafforzato dall'aumento globale del livello del mare e dall'effetto delle perturbazioni atmosferiche regionali che potrebbero anche triplicare le variazioni del livello del mare.

Gli effetti di questi eventi, la cui frequenza è aumentata negli ultimi decenni, sono stati drammatici nelle aree costiere dove si svolge un'intensa attività sociale ed economica, ad esempio a Ischia. **Su scale temporali interannuali, i risultati indicano che l'innalzamento relativo del livello del mare a Ischia ha una magnitudo di 3,9 mm/anno.** Particolare attenzione è dedicata agli episodi di "Acqua Alta" (AA) e al loro legame con il trend a lungo termine del livello del mare e con i fenomeni meteorologici.

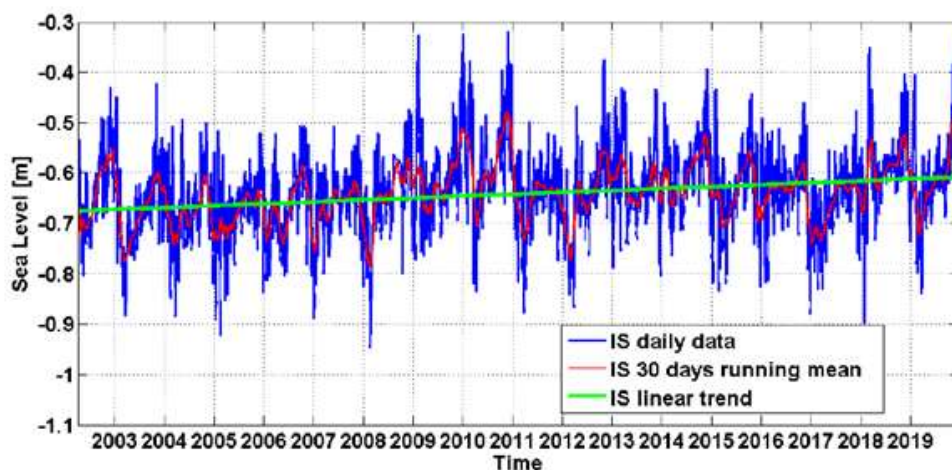


Figura 1-30. Dati giornalieri di marea raccolti a Ischia dal 2002 al 2019 (linee blu). Sono mostrate anche la media sui 30 giorni (linea rossa) e la tendenza lineare dei dati (linea verde).

La raccolta e l'analisi statistica dei dati grezzi dei mareografi potrebbe consentire di isolare le componenti astronomiche del segnale e le altre componenti (in particolare le mareggiate) per dedurre i livelli idrici del periodo di ritorno.

Episodi di "Acqua Alta" a Ischia

Gli effetti combinati del vento, della pressione atmosferica e delle maree possono provocare la rapida sommersione delle aree costiere, con conseguenti inondazioni catastrofiche e pericolo per la vita e le attività economiche. Questo fenomeno è noto come "Acqua Alta" (AA) e interessa alcune aree del Mediterraneo, come la città di Venezia nel Mar Adriatico settentrionale e l'isola di Lipari nel Mar Tirreno meridionale.



Figura 1-31. Illustrazione eventi "Acqua alta" area Ischia Porto (A) 2 marzo 2018 (B) 30 novembre 2019 e a Ischia Ponte a destra.

A Ischia, gli eventi di AA causano l'inondazione dei moli dell'area di Ischia Porto e delle strade del quartiere di Ischia Ponte, dove sono presenti intense attività socio-economiche, principalmente legate al turismo. Negli ultimi anni questo fenomeno ha attirato l'attenzione del grande pubblico e i suoi effetti sono stati riportati da diversi giornali nazionali e locali.

In questo lavoro, il numero, l'estensione e la distribuzione stagionale degli eventi AA a Ischia Porto sono stati studiati attraverso i dati del livello del mare raccolti dal mareografo di Ischia dal 2002. Per ogni anno dal 2002 al 2019, il numero totale di eventi AA è espresso come percentuale sul numero totale di ore registrate.

Dopo il 2009, gli episodi di AA sembrano essere più frequenti, con solo gli anni 2011 e 2017 che presentano una percentuale di eventi singoli inferiore all'1%. Un numero maggiore di episodi di AA è stato registrato nel 2010 (8,7%), corrispondente a circa 762 ore di sommersione. In quell'anno, l'altezza del livello del mare è stata registrata a +32 cm.

YEAR	H max [cm]	AA %	AA% > 5 cm	AA% > 10 cm	AA% > 20 cm	AA% > 30 cm
2003	12.0	0.82	0.74	0.02	0.00	0.00
2004	11.0	0.52	0.44	0.02	0.00	0.00
2005	5.5	0.38	0.27	0.00	0.00	0.00
2006	5.8	0.58	0.48	0.00	0.00	0.00
2007	6.5	0.35	0.32	0.00	0.00	0.00
2008	13.0	0.91	0.75	0.06	0.00	0.00
2009	26.0	4.50	4.20	0.91	0.08	0.00
2010	32.0	8.70	8.20	1.70	0.13	0.02
2011	13.0	0.41	0.35	0.01	0.00	0.00
2012	20.0	2.00	1.80	0.30	0.00	0.00
2013	18.0	3.00	2.70	0.17	0.00	0.00
2014	13.0	3.50	3.10	0.14	0.00	0.00
2015	12.0	2.10	2.00	0.06	0.00	0.00
2016	9.1	1.20	0.99	0.00	0.00	0.00
2017	7.2	0.47	0.39	0.00	0.00	0.00
2018	24.0	4.40	4.00	0.83	0.07	0.00
2019	24.0	4.30	4.10	1.20	0.14	0.00

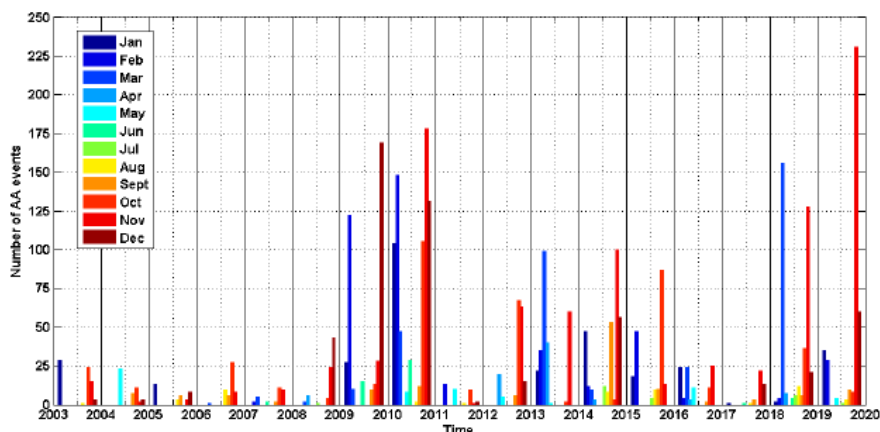


Figura 1-32. Altezza massima del livello del mare (cm), numero totale di eventi di "acqua alta" (%) e numero di eventi di "acqua alta" superiori a 5, 10, 20 e 30 cm sul molo dal 2002 al 2019 (tabella superiore). Numero di eventi di "acqua

alta" dal 2002 al 2019; ogni evento è definito come un singolo livello medio orario del mare che supera il bordo del molo "riva destra" (figura in basso).

1.6.2 Mareggiate

Anche i fenomeni meteorologici, ossia la pressione atmosferica e il vento, possono influenzare il livello del mare, in particolare durante le tempeste. Gli effetti della pressione e del vento si combinano spesso durante le tempeste, generando onde lunghe, chiamate mareggiate, con tempi caratteristici che vanno da alcune ore a un giorno e una lunghezza d'onda approssimativamente pari alla larghezza del centro della depressione, in genere 150-800 km. Queste mareggiate producono variazioni significative del livello del mare, fino a 2-3 m sulla costa, a seconda della forma della linea di costa e dell'intensità della tempesta. In pratica, il termine livello di mareggiata viene talvolta utilizzato in modo improprio per includere la componente mareale astronomica e altri effetti meteorologici.

Basse pressioni atmosferiche locali (depressioni) provocano corrispondenti innalzamenti del livello dell'acqua. Allo stesso modo, le alte pressioni provocano un abbassamento del livello dell'acqua. Si tratta del cosiddetto effetto barometrico inverso.

Quando la pressione atmosferica è superiore al valore medio di 1013 hPa, il livello del mare diminuisce, a condizione che possa aumentare in un altro luogo dove la pressione atmosferica è inferiore al valore medio.

Gli effetti dinamici possono tuttavia provocare un'amplificazione significativa dell'innalzamento del livello dell'acqua. Quando la depressione si sposta rapidamente, l'innalzamento del livello dell'acqua segue la depressione. L'altezza di queste onde di mareggiata può aumentare considerevolmente a causa dello shoaling nelle zone vicine alla costa.

1.6.3 Set-up del vento e delle onde

Lo sforzo di taglio esercitato dal vento sulla superficie dell'acqua provoca una pendenza nella superficie dell'acqua, in conseguenza della quale il set-up e il set-down del vento si verificano rispettivamente ai confini di sottovento e sopravvento.

I sistemi operativi utilizzati per la previsione delle mareggiate a partire dalle previsioni meteorologiche si basano su modelli numerici di flusso (2D o 3D) dell'area considerata. Il modello tiene conto delle sollecitazioni sulla superficie del mare dovute al vento e al gradiente di pressione atmosferica. L'esecuzione di un modello numerico di questo tipo con l'inclusione della forza di marea è il metodo consigliato per prevedere o modellare casi reali di mareggiata. Questo vale anche per la dinamica delle forze meteorologiche, gli effetti della batimetria nelle aree a basso fondale e le interazioni tra l'onda di marea e la mareggiata. L'intensità degli effetti meteorologici sulla variazione di MSL può essere ottenuta confrontando i risultati di una simulazione che considera sia le forzanti mareali che quelle meteorologiche con i risultati di una simulazione che considera solo le forzanti mareali.

L'assetto ondoso è localizzato in prossimità della linea di costa. È causato principalmente dalla dissipazione di energia provocata dalla rottura delle onde in arrivo in profondità.

1.6.4 Statistiche sul vento

Le statistiche del vento e delle onde sono state estratte dai modelli ERA5 e Copernicus. ERA5 è la quinta generazione di rianalisi atmosferica ECMWF del clima globale che copre il periodo da gennaio 1940 a oggi. ERA5 è prodotto dal Copernicus Climate Change Service (C3S) di ECMWF. ERA5 fornisce stime orarie di numerose variabili climatiche relative all'atmosfera, al continente e all'oceano. I dati coprono la Terra con una griglia di 30 km e descrivono l'atmosfera utilizzando 137 livelli dalla superficie fino a un'altezza di 80 km. ERA5 include informazioni sulle incertezze per tutte le variabili a risoluzione spaziale e temporale ridotte.

Copernicus Marine Service è la componente marina del programma Copernicus, che fornisce dati operativi oceanici e servizi informativi liberamente accessibili. È gestito da Mercator Ocean e dai suoi fornitori per conto dell'Unione europea. Il sistema operativo di analisi e previsione oceanica globale di Météo-France, con una risoluzione di 1/12 di grado, fornisce analisi giornaliere e previsioni fino a 10 giorni delle onde sulla

superficie oceanica globale. Questo servizio include finestre di 3 ore in cui vengono riportati i parametri dell'onda (altezza significativa, periodo, direzione, deriva di Stokes,...ecc.), così come le seguenti partizioni: l'onda dovuta al vento, onda di mareggiata primaria e secondaria.

Le statistiche del vento e delle onde sono state estratte in due punti diversi: uno sul lato orientale dell'isola di Ischia e l'altro sul lato occidentale, come mostrato nella Figura 133. Figura 1-33 in cui sono presentate le rose dei venti e delle onde per questi due punti. Queste rose dei venti e delle onde sono anche riprodotte in immagini più grandi nell'Appendice 4.

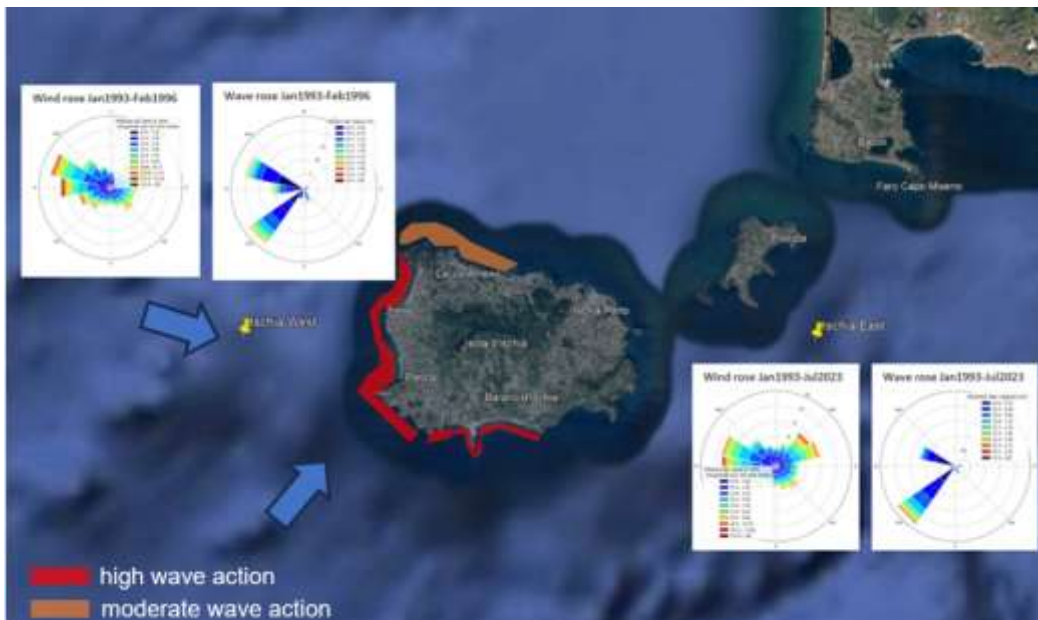


Figura 1-33. Rose dei venti e delle onde in due diverse località dell'isola di Ischia



Figura 1-34. Onde che si infrangono sulla Spiaggia dei Maronti

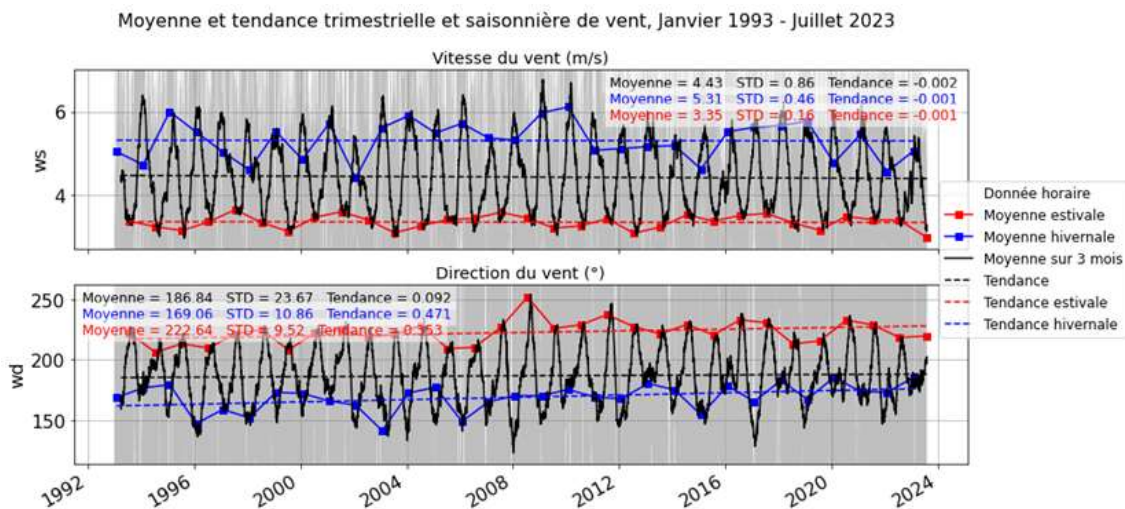
Possiamo osservare che, a causa della posizione dell'isola di Ischia nel Mar Mediterraneo, il vento e le onde non sono completamente correlati. Infatti, l'isola è esposta solo a due regimi d'onda principali: sud-ovest e ovest-nord-ovest, mentre se il vento è dominante anche su questi settori, possiamo trovare anche venti dal settore est.

Le coste occidentali e meridionali sono quindi più esposte all'azione delle onde rispetto alle coste settentrionali e orientali (Figura 1-34).

Sono state inoltre estrapolate le statistiche mensili (e presentate nell'Appendice 3). I dati mostrano che sia il vento che le onde hanno la loro massima intensità (cioè, la velocità del vento e l'altezza delle onde) durante la stagione invernale, tra ottobre e aprile, tipica del clima mediterraneo nord-occidentale.

Una statistica interessante da osservare è l'andamento medio trimestrale del vento e delle onde registrato dal 1993 al 2023 sulla punta est. In 30 anni, possiamo osservare che tutti i parametri (vento e onde, separati in grafici estivi e invernali) variano intorno a una media costante. Tuttavia, alcuni anni registrano venti più impetuosi della media, mentre altri molto meno.

Si possono osservare cicli seriali di 3 o 4 anni sopra o sotto la media. Questi grafici mostrano che il clima medio non cambia necessariamente, ma non rappresentano gli eventi estremi isolati che possono verificarsi.



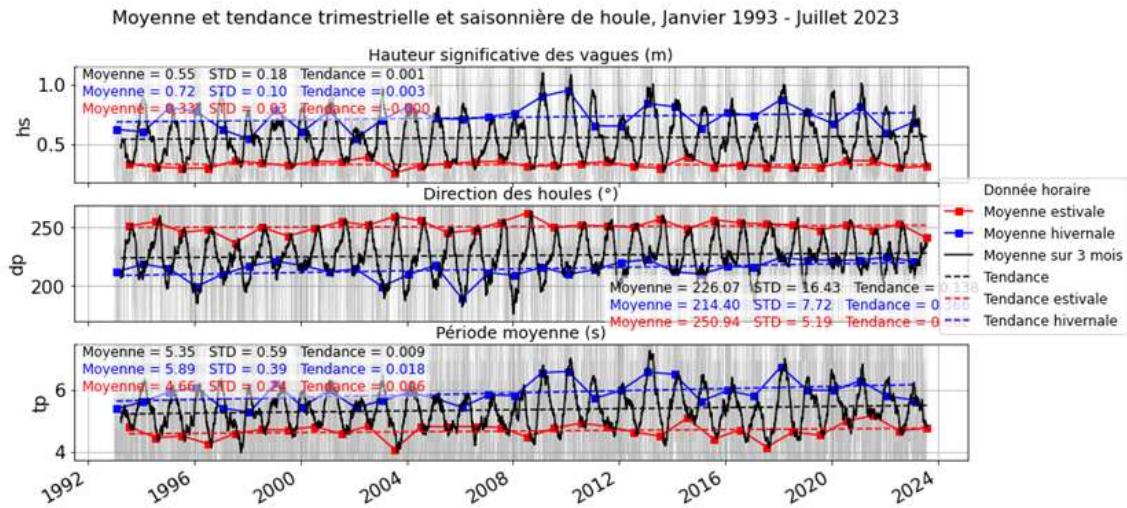


Figura 1-35. Andamento medio trimestrale del vento e delle onde dal 1993 al 2023

Lungo le coste del Mar Mediterraneo e in particolare sull'isola di Ischia, le **mareggiate e l'insieme di vento e onde possono indurre un innalzamento locale del livello del mare fino a 1,0 m (in un modello statico)**.

L'azione del moto ondoso può anche produrre fenomeni di trasgressione con inondazioni che possono raggiungere **+1,0 m di** altezza sul livello del mare lungo la linea di costa esposta (nel caso di un modello dinamico).

Questi valori sono una stima approssimativa che tiene conto dell'aggiunta di tutte le variabili. Per i criteri di progettazione, si consiglia di effettuare uno studio specifico sulle mareggiate utilizzando i dati dei mareografi e altri dati se disponibili.

2 Proiezioni dei cambiamenti climatici per l'isola di Ischia

Per studiare i rischi climatici in aree limitate, sono attualmente disponibili modelli climatici regionali con risoluzioni dell'ordine di 10-15 km, che consentono una caratterizzazione dettagliata dei processi atmosferici. I modelli climatici regionali consentono una maggiore risoluzione spaziale e temporale rispetto ai modelli di circolazione globale e sono più adatti a formulare scenari di cambiamento climatico per l'analisi dell'impatto locale. Di particolare importanza a livello europeo sono i modelli climatici regionali prodotti dalla comunità scientifica internazionale nell'ambito del programma EURO-CORDEX, con una risoluzione a livello europeo di circa 12 km¹⁷.

Questi modelli sono stati utilizzati nel presente lavoro per valutare le variazioni climatiche attese nell'area di interesse, anche in accordo con quanto fatto nell'ambito del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC) approvato nel dicembre 2023. In particolare, i modelli EURO-CORDEX adottati per lo sviluppo dell'analisi sono attualmente disponibili per la consultazione sulla piattaforma Copernicus Climate Change Service (C3S). Per ciascuno dei tre scenari RCP considerati, sono state utilizzate 14 simulazioni climatiche fornite da diverse combinazioni di modelli climatici globali (GCM) e regionali (RCM).

È importante sottolineare che le analisi ottenute dai modelli climatici sono soggette a incertezze di varia natura, come ad esempio i diversi scenari di concentrazione ipotizzati, la simulazione imperfetta del sistema climatico da parte dei modelli e l'intrinseca complessità e non linearità del sistema (Collins 2007). Per questo motivo, soprattutto nella fase di supporto alle decisioni, è preferibile una strategia che utilizzi sia diversi scenari sia un insieme di catene di modellazione. Questa strategia, volta alla valutazione dei cambiamenti climatici con i modelli EURO-CORDEX, consente di quantificare alcune delle fonti di incertezza associate ai modelli.

La misura dell'incertezza del modello per ogni punto dati in questo contesto è determinata dalla deviazione standard rispetto al valore più affidabile, ossia la media complessiva. Una deviazione standard maggiore indica una maggiore incertezza del modello. Si noti, tuttavia, che la deviazione standard è anche correlata ai valori assoluti del parametro, vale a dire che valori assoluti più alti implicano valori di deviazione standard più elevati. Questo perché implicitamente i punti dati si allontaneranno maggiormente dalla media complessiva, che è considerata il valore più affidabile per valutare la variazione climatica in quel punto specifico. Questa metodologia è coerente con quanto è stato calcolato analogamente al PNACC. Per ogni punto all'interno del dominio, un valore di deviazione standard più basso implica un maggiore livello di accordo e, viceversa, una deviazione standard più alta suggerisce una maggiore variabilità del modello, come indicato da Von Trentini et al., 2019¹⁸. In generale, si osserva una maggiore incertezza del modello (ovvero valori più elevati di deviazione standard rispetto alle proiezioni di cambiamento mediane) per le proiezioni relative alle precipitazioni rispetto a quelle relative alla temperatura. Anche l'incertezza per i valori estremi è più alta di quella per i valori medi.

Le misure di incertezza sono riportate nelle tabelle seguenti tra parentesi, a destra del valore medio complessivo. Il valore medio complessivo nelle tabelle è indicato in rosso se il valore mostra una diminuzione, in blu se mostra un aumento. I valori forniti sono quelli medi sull'isola di Ischia. Le mappe che mostrano la distribuzione spaziale sull'isola sono riportate in Appendice 1.

Per quanto riguarda l'indicatore dell'altezza della superficie marina, i dati sono ottenuti da due fonti. I dati dell'insieme dei modelli climatici CMIP6 disponibili nell'Atlante IPCC consentono di analizzare l'incertezza relativa alle proiezioni di innalzamento del livello del mare. Il modello oceanico NEMO applicato al Mar Mediterraneo a una risoluzione di 7 km e arricchito con i dati atmosferici e idrologici del modello climatico CMCC-CM a una risoluzione orizzontale di circa 80 km (in accordo con lo stesso approccio utilizzato nel PNACC) fornisce proiezioni di un solo modello climatico, ma a una risoluzione spaziale più elevata. La

¹⁷ Jacob et al. (2014). EURO-CORDEX: nuove proiezioni ad alta risoluzione dei cambiamenti climatici per la ricerca d'impatto europea. *Regional Environmental Change* 14(2), 563-578, <http://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>.

¹⁸ Von Trentini et al. (2019). Valutazione della variabilità naturale nei segnali RCM: confronto tra un ensemble multi-modello EURO-CORDEX e un grande ensemble a singolo modello di 50 membri. *Climate Dynamics* 53(3), 1963-1979. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04755-8>

configurazione del modello utilizzata in queste simulazioni è denominata MEDSEA. Questo indicatore è disponibile solo per lo scenario climatico RCP8,5.

2.1 Temperatura

2.1.1 Temperatura media

Si prevede che la temperatura media aumenterà in tutti gli scenari di emissione entro il 2050, sia annualmente che stagionalmente, con un incremento che dipende dallo scenario di emissione. Cambia anche la stagione in cui si prevede l'aumento maggiore. Secondo lo scenario RCP2.6, l'aumento maggiore dovrebbe verificarsi sia in estate che in autunno con 1,2 giorni, secondo lo scenario RCP4.5 l'aumento maggiore dovrebbe verificarsi in estate con 1,7 giorni e secondo lo scenario RCP8.5 dovrebbe verificarsi in autunno con 2,1 giorni (Tabella 2.1). Per quanto riguarda la temperatura media, l'incertezza dei modelli (deviazione standard tra parentesi) è molto bassa in relazione alle proiezioni di cambiamento; infatti tutti i modelli concordano sulla direzione e soprattutto sull'entità del cambiamento di temperatura. Per le altre variabili legate alla temperatura, l'incertezza è leggermente più alta, ma ancora nettamente inferiore a quella delle variabili legate alle precipitazioni.

Tabella 2-1. Dati climatici previsti per la temperatura media (°C). La deviazione standard, e quindi l'incertezza del modello, è presentata tra parentesi. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	17	10.5	14.8	24	18.7
2050 RCP2.6 (variazione)	+1 (0.4)	+1 (0.4)	+0.8 (0.3)	+1.2 (0.3)	+1.2 (0.6)
2050 RCP4.5 (variazione)	+1.4 (0.3)	+1.3 (0.4)	+1.0 (0.3)	+1.7 (0.3)	+1.5 (0.3)
2050 RCP8.5 (variazione)	+1.8 (0.3)	+1.7 (0.3)	+1.4 (0.3)	+2 (0.3)	+2.1 (0.3)

2.1.2 Giorni d'estate

Si prevede che il numero di giorni nel corso dell'anno in cui la temperatura massima giornaliera supererà i 29,2°C aumenterà in tutti gli scenari di emissione entro il 2050. Secondo lo scenario RCP8.5, il numero di giorni annuali dovrebbe aumentare di 14 giorni. La stagione che si prevede subirà l'aumento maggiore, in tutti gli scenari di emissione, è l'estate, mentre l'inverno e la primavera non subiranno variazioni nel numero di giorni estivi in tutti gli scenari di emissione (Tabella 2.2).

Tabella 2-2. Dati climatici proiettati per i giorni estivi (giorni). La deviazione standard, e quindi l'incertezza del modello, è presentata tra parentesi. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	25	0	0	23	2
2050 RCP2.6 (variazione)	+7 (11.7)	0 (0.0)	0 (0.1)	+6 (9.4)	+1 (2.4)
2050 RCP4.5 (variazione)	+11 (14.8)	0 (0.0)	0 (0.3)	+9 (11.8)	+1 (3.0)
2050 RCP8.5 (variazione)	+14 (17.4)	0 (0.0)	0 (0.2)	+11 (13.1)	+3 (4.7)

2.1.3 Indice di durata periodi caldi

Il numero di giorni che contribuiscono a "periodi caldi", quando la temperatura massima (TX) rimane al di sopra del 90° percentile climatologico di riferimento, è previsto in aumento in tutti gli scenari di emissione entro il 2050, sia annualmente che stagionalmente. Si prevede che il valore annuale di riferimento di 5 giorni aumenterà di 89 giorni secondo lo scenario RCP8.5. La stagione che si prevede subirà l'aumento maggiore, cambia a seconda degli scenari di emissione. Secondo gli scenari RCP2.6 e RCP8.5, l'aumento maggiore dovrebbe verificarsi in autunno, mentre secondo lo scenario RCP4.5 l'aumento maggiore dovrebbe verificarsi in estate (Tabella 2.3).

Tabella 2-3. Dati climatici previsti per l'indice di durata dei periodi caldi (giorni). La deviazione standard, e quindi l'incertezza del modello, è presentata tra parentesi. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	5	1	1	1	1
2050 RCP2.6 (variazione)	+37 (22.0)	+8 (5.8)	+5 (3.7)	+9 (5.5)	+12 (9.8)
2050 RCP4.5 (variazione)	+59 (23.1)	+12 (5.8)	+8 (4.2)	+18 (7.3)	+16 (11.5)
2050 RCP8.5 (variazione)	+89 (27.7)	+18 (6.4)	+14 (6.7)	+23 (10.1)	+26 (12.2)

2.1.4 Gradi-giorno di raffrescamento

Si prevede che i gradi-giorno di raffrescamento aumentino annualmente in tutti gli scenari di emissione, con un aumento fino a 206 gradi-giorno nell'ipotesi RCP8.5. La stagione in cui si prevede l'aumento maggiore, in tutti gli scenari di emissione, è l'estate, con 154 giorni secondo RCP8.5. In primavera si prevede un aumento di 1 giorno con RCP4.5 e nessun cambiamento rispetto ai valori di base con RCP2.6 e RCP8.5. Per l'autunno si prevede un aumento in tutti gli scenari di emissione, fino a 52 giorni con RCP8.5, mentre per l'inverno non si prevedono cambiamenti rispetto ai valori di base in tutti gli scenari di emissione (Tabella 2.4).

Tabella 2-4. Dati climatici previsti per i gradi-giorno di raffrescamento. Tra parentesi è riportata la deviazione standard. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto))	262	0	1	240	22
2050 RCP2.6 (variazione)	+107 (83.0)	0 (0.0)	0 (0.6)	+81 (51.9)	+26 (39.9)
2050 RCP4.5 (variazione)	+159 (95.3)	0 (0.0)	+1 (1.3)	+125 (63.1)	+34 (42.2)
2050 RCP8.5 (variazione)	+206 (117.1)	0 (0.0)	0 (1.0)	+154 (69.8)	+52 (57.5)

2.1.5 Gradi-giorno di riscaldamento

I gradi-giorno di riscaldamento dovrebbero diminuire in tutti gli scenari di emissione, sia annualmente che stagionalmente. La stagione che si prevede subirà la maggiore diminuzione, in tutti gli scenari di emissione, è l'inverno, con una diminuzione di 173 giorni secondo lo scenario RCP8.5. L'estate dovrebbe subire variazioni minime rispetto ai valori di base, con una diminuzione media di 1 giorno in tutti gli scenari di emissione (Tabella 2.5).

Tabella 2-5. Dati climatici previsti per i gradi-giorno di riscaldamento (DD). Tra parentesi è riportata la deviazione standard. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico assoluto	1058	674	287	0	91
2050 RCP2.6 (variazione)	-217 (60.5)	-100 (39.3)	-78 (18.3)	-1 (1.4)	-38 (17.2)
2050 RCP4.5 (variazione)	-277 (47.3)	-138 (40.2)	-94 (14.5)	-1 (1.5)	-44 (17.9)
2050 RCP8.5 (variazione)	-361 (44.6)	-173 (33.3)	-130 (21.8)	-1 (1.7)	-58 (18.1)

2.1.6 Notti tropicali

Si prevede che il numero di giorni all'anno in cui la temperatura minima giornaliera è superiore a 20°C aumenti in tutti gli scenari di emissione, rispettivamente di 21, 28 e 36 giorni con RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Si prevede che il numero di giorni diminuisca durante i mesi invernali, in tutti gli scenari di emissione, e allo stesso modo in primavera con RCP2.6, mentre con RCP4.5 e RCP8.5 si prevede che non ci saranno cambiamenti. L'aumento maggiore è previsto durante l'estate, in tutti gli scenari di emissione, seguito dall'autunno (Tabella 2.6).

Tabella 2-6. Dati climatici previsti per le Notti Tropicali. Tra parentesi è riportata la deviazione standard. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico assoluto	95	0	1	71	23
2050 RCP2.6 (variazione)	+21 (9.0)	-4 (13.1)	-1 (5.0)	+16 (16.2)	+9 (5.9)
2050 RCP4.5 (variazione)	+28 (9.9)	-4 (13.2)	0 (5.0)	+20 (15.7)	+11 (6.7)
2050 RCP8.5 (variazione)	+36 (10.9)	-3 (13.0)	0 (5.0)	+24 (15.9)	+15 (7.6)

2.2 Precipitazioni

2.2.1 Precipitazioni medie nei giorni di pioggia

La media annua delle precipitazioni giornaliere nei giorni umidi (giorni con precipitazioni maggiori o uguali a 1 mm) è prevista in aumento con RCP2.6 di 4 mm, mentre è prevista in diminuzione sia con RCP4.5 che con RCP8.5 (Tabella 2.7). Secondo RCP2.6, tutte le stagioni dovrebbero subire un aumento, con l'inverno che dovrebbe subire il maggiore incremento pari a 8 mm. Secondo RCP4.5, l'inverno e l'autunno dovrebbero subire un aumento, mentre la primavera e l'estate dovrebbero subire una diminuzione; il cambiamento maggiore dovrebbe verificarsi in estate, con una diminuzione di 16 mm. Secondo l'RCP8.5, la variazione maggiore è prevista per la primavera e l'estate, con una diminuzione di 5 mm. L'inverno non dovrebbe subire variazioni, mentre l'autunno dovrebbe registrare un piccolo aumento di 2 mm. L'incertezza relativa alle precipitazioni medie e a tutte le altre variabili legate alle precipitazioni è elevata, poiché la deviazione standard dei risultati del modello è per lo più superiore alla variazione media.

Tabella 2-7. Dati climatici previsti per le precipitazioni medie nei giorni di pioggia (mm). Tra parentesi è riportata la deviazione standard. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	446	168	109	23	146
2050 RCP2.6 (variazione)	+4 (6.0)	+8 (14.4)	+2 (11.0)	+8 (27.4)	+2 (12.8)
2050 RCP4.5 (variazione)	-2 (3.7)	+2 (8.8)	-3 (8.4)	-16 (36.0)	+1 (12.0)
2050 RCP8.5 (variazione)	-1 (4.9)	0 (11.1)	-5 (9.9)	-5 (28.7)	+2 (12.7)

2.2.2 Giorni di precipitazioni molto intense

Il numero di giorni in un anno in cui le precipitazioni giornaliere sono maggiori o uguali a 20 mm, secondo le proiezioni, aumenterà di 1 giorno con RCP2.6 e RCP8.5, mentre con RCP4.5 non ci saranno cambiamenti. In tutte le stagioni, con ciascuno degli scenari di emissione, si prevede in media che il numero di giorni in cui le precipitazioni giornaliere sono superiori o uguali a 20 mm non subirà variazioni, tranne che in inverno con RCP2.6, dove si prevede un aumento di un giorno (Tabella 2.8).

Tabella 2-8. Dati climatici previsti per i giorni di precipitazioni molto intense. Tra parentesi è riportata la deviazione standard. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	4	2	1	0	1.7
2050 RCP2.6 (variazione)	+1 (0.9)	+1 (0.7)	0 (0.4)	0 (0.2)	0 (0.9)
2050 RCP4.5 (variazione)	0 (0.7)	0 (0.4)	0 (0.3)	0 (0.2)	0 (0.6)
2050 RCP8.5 (variazione)	+1 (0.7)	0 (0.4)	0 (0.3)	0 (0.2)	0 (0.7)

2.2.3 Precipitazioni massime in un giorno

Si prevede un aumento annuale delle precipitazioni massime in un giorno in tutti gli scenari di emissione, con un aumento fino a 8 mm/giorno secondo RCP8,5. L'aumento maggiore è previsto durante l'inverno, in tutti gli scenari di emissione, con un aumento fino a 7 mm/giorno secondo RCP2.6, 9 mm/giorno secondo RCP4.5 e 12 mm/giorno secondo RCP8.5. Tuttavia, si prevede che il cambiamento maggiore si verifichi in estate con RCP4.5, con una diminuzione di 16 mm/giorno. Per tutte le altre stagioni è previsto un aumento (Tabella 2.9).

Tabella 2-9. Dati climatici previsti per la precipitazione massima di 1 giorno (mm/giorno). La deviazione standard è riportata tra parentesi. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	46	30	26	13	37
2050 RCP2.6 (variazione)	+4 (9.3)	+7 (8.9)	+5 (14.4)	+4 (21.0)	+5 (14.5)

2050 RCP4.5 (variazione)	+6 (16.1)	+9 (11.3)	+4 (12.6)	-16 (24.0)	+8 (20.1)
2050 RCP8.5 (variazione)	+8 (10.2)	+12 (10.4)	+2 (11.6)	+3 (24.0)	+8 (13.5)

2.2.4 Giorni secchi consecutivi

Il numero di giorni consecutivi in cui le precipitazioni giornaliere sono inferiori a 1 mm all'anno è previsto in aumento sia con RCP4.5 che con RCP8.5, mentre con RCP2.6 si prevede che non ci saranno cambiamenti rispetto al valore di base di 66. Secondo l'RCP2.6, la primavera e l'autunno dovrebbero registrare i maggiori aumenti pari a 1 giorno. Con RCP4.5 e RCP8.5 si prevede che l'estate subisca il cambiamento maggiore, con un aumento rispettivamente di 3 e 2 giorni (Tabella 2.10).

Tabella 2-10. Dati climatici previsti per i giorni secchi consecutivi (giorni). Tra parentesi è riportata la deviazione standard. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	66	21	21	57	24
2050 RCP2.6 (variazione)	0 (4.1)	0 (1.9)	+1 (1.8)	0 (3.7)	+1 (1.9)
2050 RCP4.5 (variazione)	+3 (3.5)	0 (1.3)	+1 (1.9)	+3 (3.7)	0 (1.7)
2050 RCP8.5 (variazione)	+2 (5.4)	+1 (2.0)	+1 (2.5)	+2 (4.7)	+1 (1.5)

2.3 Vento

2.3.1 Velocità estrema del vento

La velocità estrema annuale del vento (98° percentile della velocità massima giornaliera del vento) non dovrebbe subire variazioni rilevanti. I valori medi secondo RCP2.6 e RCP4.5 non mostrano variazioni, mentre nel caso di RCP8.5 mostrano una piccola diminuzione. Secondo RCP8.5, tutte le stagioni dovrebbero registrare una diminuzione della velocità estrema del vento, mentre secondo RCP4.5 l'inverno e l'estate dovrebbero registrare una diminuzione, l'estate non dovrebbe subire variazioni rispetto al valore di riferimento, mentre la primavera dovrebbe registrare un aumento. Secondo RCP2.6, l'inverno dovrebbe subire una diminuzione della velocità estrema del vento, mentre la primavera, l'estate e l'autunno non dovrebbero subire variazioni. La variazione maggiore è prevista in estate con RCP4.5 e in inverno con RCP4.5 e RCP8.5, con una diminuzione di 2 m/s (Tabella 2.11). L'incertezza del modello (deviazione standard tra parentesi) è nell'intervallo o leggermente superiore alle proiezioni mediane, indicando una sostanziale incertezza. Tuttavia, tutte le proiezioni concordano su variazioni minime della velocità estrema del vento.

Tabella 2-11. Dati climatici previsti per la velocità estrema del vento (m/s). Tra parentesi è riportata la deviazione standard. Fonte: Dataclime

	Annuale	DJF	MAM	JJA	SON
Periodo storico (assoluto)	13	14	13	10	13
2050 RCP2.6 (variazione)	0 (1.5)	-1 (2.1)	0 (2.2)	0 (4.0)	0 (3.1)

2050 RCP4.5 (variazione)	0 (1.1)	-2 (1.7)	+1 (2.2)	-2 (3.6)	0 (3.4)
-----------------------------	---------	----------	----------	----------	---------

2.4 Rischi idrogeologici

I principali rischi idrogeologici sull'isola di Ischia sono le frane (cioè vari tipi di trasporti di massa gravitativi) e le alluvioni. I cambiamenti attesi in questi due pericoli nel contesto dei cambiamenti climatici sono analizzati di seguito.

2.4.1 Frane

Per stimare la probabilità futura di frana, sono stati applicati i **seguenti passaggi**:

1. Analisi dei dati storici (2002-2022):

- a) Analisi dei dati storici relativi a frane disastrose e precipitazioni
- b) Definizione di un modello probabilistico condizionale (modello di Bayes) che descriva la probabilità storica di frana.

2. Proiezioni future (2040 - 2060)

- a) Analisi delle variazioni delle precipitazioni giornaliere previste (basate sull'insieme del modello climatico regionale EURO-CORDEX)
- b) Stima della probabilità futura di frana basata sulle probabilità condizionali e sulle precipitazioni previste

Nella **prima fase** sono stati vagliati i database degli eventi storici di frana, per i cui dettagli si rimanda al capitolo 1.4.2. L'analisi dei dati storici ha rivelato che nel periodo di riferimento di 21 anni (2002-2022) la probabilità storica di una frana "grave" indotta dalle piogge era del 90% entro un anno.

Inoltre, sono stati analizzati i dati pluviometrici storici di quattro stazioni pluviometriche dell'Isola di Ischia (Figura 1-15). La stazione del Monte Epomeo vanta il record più lungo (2002 - 2022) ed è stata considerata in questo studio. Le precipitazioni a Ischia hanno un chiaro andamento stagionale con una stagione piovosa da settembre a febbraio, con un picco a novembre (150 mm/mese), e un minimo da luglio ad agosto (18 mm/mese). Le precipitazioni medie annue sono di circa 870 mm/anno. In 20 anni di osservazione, sono stati osservati 1696 giorni con precipitazioni giornaliere superiori a 1 mm/giorno. L'evento pluviometrico medio è di 11 mm/giorno, mentre la massima precipitazione osservata è stata di 145 mm/giorno e si è verificata il 26 novembre 2022.

La Tabella 1.12 mostra in dettaglio gli eventi franosi selezionati. La maggior parte degli eventi si è verificata durante la stagione delle piogge, con due picchi distinti: uno all'inizio (ottobre/novembre, con forti precipitazioni a breve termine) e uno alla fine della stagione delle piogge (febbraio, con precipitazioni antecedenti più elevate e quindi terreni probabilmente saturi). Gli eventi pluviometrici giornalieri scatenanti erano per lo più minori a febbraio e maggiori negli altri mesi. Ciò è comprensibile se si considerano i suoli piuttosto saturi alla fine della stagione delle piogge e gli eventi di pioggia giornaliera potenzialmente più grandi nei mesi precedenti la stagione delle piogge.

La Tabella 1.12 porta a ritenere che tutte le frane considerate siano state innescate da eventi pluviometrici (come sostenuto anche da De Falco et. al., 2023). Anche se in generale non si possono escludere altri fattori scatenanti, come i terremoti, gli eventi disastrosi ben documentati del 2006, 2009 e 2022 sono stati innescati da forti precipitazioni giornaliere. L'evento del 2022 può essere considerato molto estremo, mentre gli altri due possono essere considerati gravi (confrontare anche Figura 2-21).

La Figura 2-21 mostra gli eventi pluviometrici giornalieri superiori a 1 mm/giorno osservati sul Monte Epomeo, con gli eventi pluviometrici correlati a un evento di frana segnati in rosso - chiaramente, la maggior parte degli eventi non ha portato a un evento TMG. Il grafico è suddiviso in cinque classi: le prime

due classi ([1,20], [21,40]) sono relative a eventi pluviometrici che si verificano su base annuale. Le due classi successive ([41,60], [61,80]) possono essere associate a intervalli di ritorno da cinque a dieci anni. La classe rimanente (>80) non ha un limite temporale e contiene precipitazioni giornaliere con intervalli di ritorno di 20 anni e oltre. Queste classi di precipitazioni individuate sono essenziali nel modello bayesiano applicato, descritto nel paragrafo seguente.

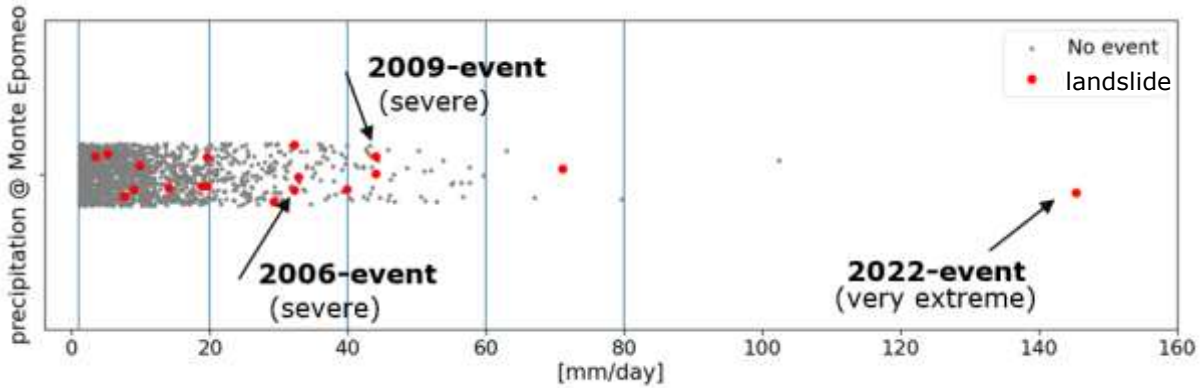


Figura 2-1 Grafico 1D-scatter degli eventi pluviometrici (> 1 mm/d) dal 2002 al 2022 e degli eventi franosi associati (punti rossi).

Sebbene le precipitazioni siano considerate il principale fattore scatenante delle frane, esse non sono sempre il fattore determinante, il che significa che simili eventi di precipitazioni giornaliere non sempre portano a un evento franoso. La domanda sorge spontanea: oltre quale soglia si verifica una frana? Berti et. al., 2012¹⁹ propongono un approccio probabilistico per valutare le soglie pluviometriche e l'occorrenza di frane basato su un modello bayesiano (probabilità condizionata). Per mantenere il modello bayesiano semplice e poiché la maggior parte degli eventi franosi gravi sono probabilmente innescati da precipitazioni brevi e intense, viene utilizzato il caso 1D proposto da Berti et. al., 2012. La probabilità condizionata $P(A|B)$ è la probabilità che si verifichi un evento A (ad esempio, una frana) dato il verificarsi di un altro evento B (ad esempio, la somma delle precipitazioni giornaliere). In altre parole, la probabilità condizionata di A dato B (detta anche probabilità a posteriori), è la probabilità di osservare una frana quando si verifica un evento pluviometrico di magnitudo B. In questo studio, B è considerato come cinque classi di precipitazioni (n), come mostrato in Figura 2-21. La probabilità condizionata è fornita dal teorema di Bayes:

$$P(B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(A)}$$

dove:

$P(B|A)$ è la probabilità condizionata di B dato A (detta anche eventualità), cioè la probabilità di osservare un evento pluviometrico di magnitudo B quando si verifica una frana,

$P(A)$ è la probabilità a priori di A, cioè la probabilità che si verifichi una frana indipendentemente dal fatto che si verifichi o meno un evento pluviometrico di magnitudo B. In questo studio, la probabilità a priori è dell'1,1% (19 GMF in 1696 eventi pluviometrici).

$P(B)$ è la probabilità marginale di B, cioè la probabilità di osservare una pioggia all'interno di una certa classe pluviometrica (n) indipendentemente dal verificarsi o meno di una frana.

Ad esempio, per una pioggia B_5 con intensità $I > 80$ mm/giorno, sarà $P(B_5 | A) = P(I > 80 | A) = 1/19 = 0,05$ e $P(B_5) = P(I > 80) = 2/1696 = 0,0011$ (2 dei 1696 eventi pluviometrici rientrano nell'intervallo di intensità considerato). La corrispondente probabilità di frana è $P(A|B_5) = P(A|I > 80) = 0,05 \cdot 0,011 / 0,0011 = 0,5$. Eseguendo la stessa analisi per diverse classi di intensità n, si ottiene un istogramma della probabilità

¹⁹ M. Berti, M. L. V. Martina, S. Franceschini, S. Pignone, A. Simoni e M. Pizziolo. (2012): "Soglie probabilistiche di pioggia per l'occorrenza di frane utilizzando un approccio bayesiano". Journal of Geophysical Research: Earth Surface, <https://doi.org/10.1029/2012JF002367>

di frana (Figura 2-22). Come descritto da Berti et. al., 2012, le classi di intensità con i valori più alti di $P(A|B)$ sono più suscettibili alle frane. Se la distribuzione delle precipitazioni dovesse cambiare in futuro a causa dei cambiamenti climatici (ad esempio, andando verso eventi più estremi), è possibile stimare i cambiamenti nell'occorrenza di frane su base statistica.

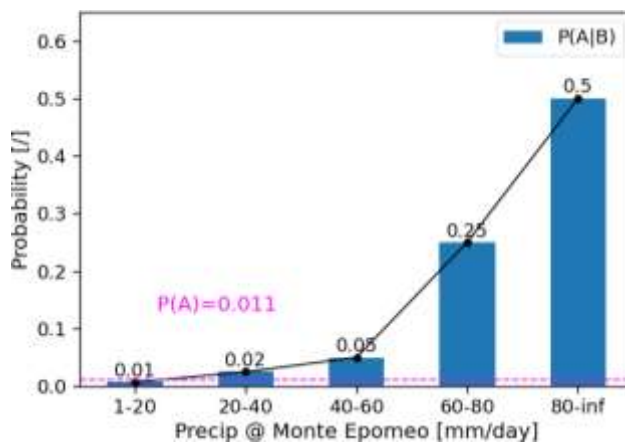


Figura 2-2 Probabilità condizionata di TMG per classe di precipitazioni sulla base dei dati storici (2002 - 2022)

Nella **seconda fase** sono stati valutati i segnali di cambiamento climatico relativi alle precipitazioni giornaliere. In questo studio sono stati utilizzati i dati del modello climatico EURO-CORDEX, disponibili pubblicamente sulla piattaforma Copernicus Climate Change Service (C3S), con una risoluzione europea di ~ 12 km (Jacob et al., 2014²⁰, Hennemuth et al., 2017²¹). L'insieme dei modelli climatici considera tre diversi scenari di emissione (cioè RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5) e 14 diversi modelli climatici. In totale, sono state analizzate 42 serie temporali di precipitazioni giornaliere simulate dal 1981 al 2065.

Per valutare le future variazioni delle precipitazioni, viene utilizzato il seguente approccio: in primo luogo, le cinque classi storiche di precipitazioni, come mostrato in Figura 2-21 e Figura 2-22), vengono tradotte in percentili. Ciò significa che ogni insieme è definito dal suo valore percentile basato sulle osservazioni storiche. In secondo luogo, per ciascuno dei 42 modelli climatici, vengono applicati i percentili calcolati dalle osservazioni per classificare le serie temporali di precipitazioni simulate per il periodo storico 2002-2022. In terzo luogo, i valori assoluti derivati da questa classificazione, separatamente per ciascun modello climatico, vengono utilizzati per classificare il periodo futuro simulato (2040-2060). In quarto luogo, il numero di giorni per insieme viene contato per entrambi i periodi di simulazione, storico e futuro, e le variazioni vengono calcolate in relazione l'una all'altra.

Questo approccio, basato su valori relativi (percentili) derivati dalle serie osservate, ma che utilizza valori assoluti come intervallo di classificazione per calcolare il cambiamento dal periodo storico a quello futuro nelle simulazioni del modello climatico, consente di utilizzare i dati originali del modello climatico senza correggere esplicitamente il bias del modello.

La Figura 2-23 mostra le variazioni previste in numero di giorni per classe di precipitazioni. È probabile che le basse intensità di pioggia diminuiscano, quelle medie aumentino leggermente e quelle alte aumentino. Le variazioni tra i diversi modelli climatici aumentano con l'aumentare dell'intensità.

²⁰ Jacob et al. (2014). EURO-CORDEX: nuove proiezioni ad alta risoluzione dei cambiamenti climatici per la ricerca d'impatto europea. *Regional Environmental Change* 14(2), 563-578, <http://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>.

²¹ Hennemuth et al. (2017). Guida all'uso dei dati delle proiezioni climatiche EURO-CORDEX. Versione 1.0-2017.08. <https://www.hereon.de/imperia/md/content/csc/cordex/euro-cordex-guidelines-version1.0-2017.08.pdf>

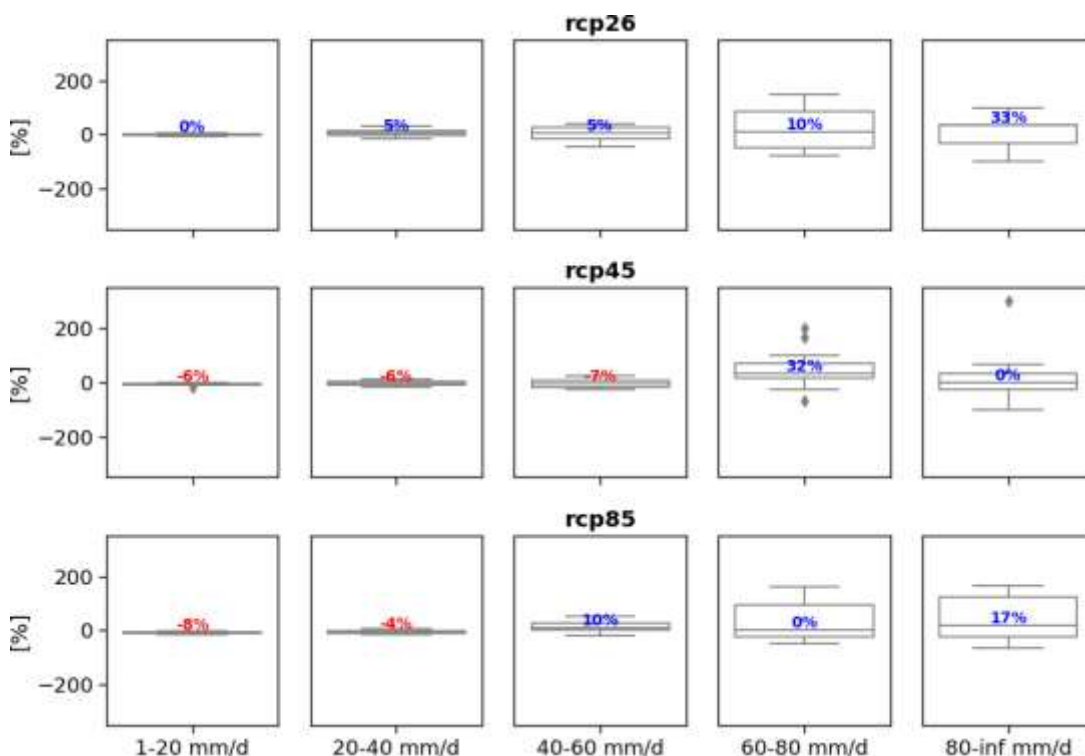


Figura 2-3 Box plots dei cambiamenti simulati [%] in 14 simulazioni del modello climatico CORDEX per tre diversi scenari di emissione e per ogni classe di precipitazioni. Il numero (rosso per una diminuzione o blu per un aumento) mostra la mediana dell'ensemble CORDEX.

Partendo dal presupposto che le probabilità condizionali delle precipitazioni e dei TMG non cambieranno in futuro, lo svilupparsi di frane in futuro è stato stimato in base al seguente approccio. I segnali di cambiamento climatico di ciascun modello climatico e di ciascuna classe di precipitazioni sono stati applicati alle osservazioni storiche. Quindi, il numero di TMG previsti per il periodo 2040-2060 ($\#LS_{CC}$) è stato calcolato in base alla variazione delle precipitazioni in ciascuna classe e in ciascuna simulazione del modello climatico ($\#rainfall_{i,CC}$) come segue:

$$\#LS_{CC} = \sum_i^{classes(n)} \#rainfall_{i,CC} * P(A|B_i)$$

I **risultati** sono discussi nei paragrafi seguenti. Il pannello di sinistra della Figura 2-24 mostra il numero previsto di frane e i relativi cambiamenti basati sull'insieme CORDEX per diversi scenari di emissione. A causa dei segnali divergenti del cambiamento climatico - diminuzione nelle due classi di precipitazioni più basse e aumento chiaro, ma incerto, nelle classi di precipitazioni più alte - il numero complessivo di frane rimarrà praticamente invariato nella mediana d'insieme. Tuttavia, i box plot mostrano un basso accordo tra i modelli: i modelli 18/10/14 mostrano un aumento/non cambiamento/diminuzione delle frane in futuro. Il numero totale di TMG previsti (2040-2060) varia da 16 nel caso migliore a 23 nel caso peggiore. Rispetto ai 19 eventi franosi storici, la proiezione varia da -15% a +20%.

Il pannello di destra in Figura 2-24 si concentra sulle frane estreme (ad esempio, evento del 2022) innescate da precipitazioni di intensità molto elevata e mostra che la loro probabilità è destinata ad aumentare nelle condizioni climatiche future. L'accordo tra i modelli è piuttosto buono, con 21/9/12 modelli che mostrano un aumento/nessuna variazione/diminuzione delle frane future. Due modelli climatici mostrano un forte aumento delle frane significative, passando da una frana a quattro/cinque nelle condizioni climatiche future.

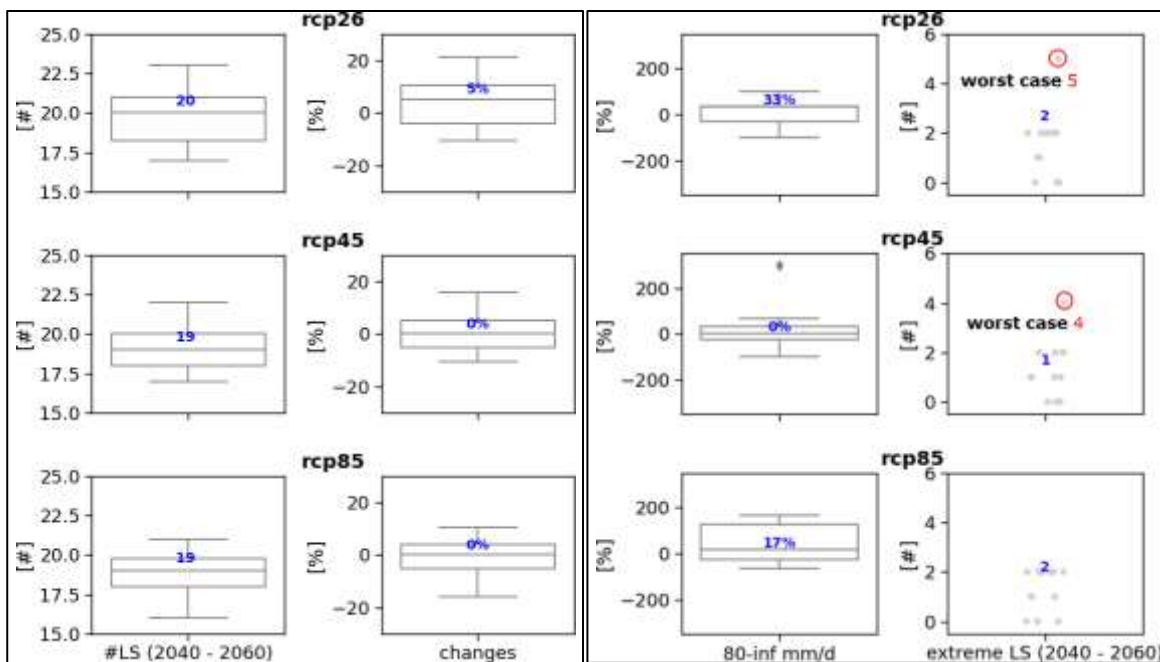


Figura 2-4 Risultati: il pannello di sinistra mostra il numero totale di frane previsto (2040-2060) lungo il complesso CORDEX e le variazioni previste [%]. Il pannello di destra mostra i cambiamenti previsti nella classe di precipitazioni più elevata e il numero associato di eventi franosi estremi previsti per il periodo 2040-2060. I numeri blu indicano la mediana del complesso.

Per quanto riguarda il processo decisionale, è importante sottolineare che i dati prodotti dai modelli climatici sono soggetti a incertezze di varia natura, quali i diversi scenari di emissione assunti, la simulazione imperfetta del sistema climatico da parte dei modelli e l'intrinseca complessità e non linearità del sistema. Inoltre, i modelli climatici hanno una risoluzione piuttosto grezza, che non tiene conto pienamente degli effetti orografici della topografia dell'isola. Sono stati sviluppati modelli climatici ad altissima risoluzione (ad esempio, Raffa et al., 2023²²), ma non sono ancora disponibili insiemi di dati abbastanza ampi per l'analisi delle incertezze. Pertanto, le proiezioni dei modelli climatici con una risoluzione temporale (ad esempio, oraria) e spaziale più elevata rimangono un argomento di ricerca futura.

Un'ulteriore incertezza deriva dall'uso di dati sulle precipitazioni giornaliere che potrebbero non cogliere appieno le differenze nei fenomeni di attivazione più brevi. In futuro, l'incremento dell'intensità delle precipitazioni per eventi di durata di poche ore potrebbe essere più elevato rispetto alle precipitazioni giornaliere (Westra et al., 2014²³), il che implicherebbe potenzialmente un maggiore incremento di eventi di TMG. Inoltre, l'analisi si basa sulla stazione pluviometrica del Monte Epomeo, considerata rappresentativa di tutte le frane registrate a Ischia, anche se le intensità locali delle precipitazioni che hanno innescato frane specifiche potrebbero essere diverse da quelle osservate nella stazione del Monte Epomeo.

Inoltre, il modello bayesiano applicato introduce delle incertezze. Ad esempio, molte delle frane osservate ricadono nelle due classi di intensità pluviometrica più basse, alle quali è associata una diminuzione dei giorni di pioggia e di conseguenza una diminuzione delle frane. Tuttavia, ciò potrebbe essere fuorviante, poiché non vengono considerate le precipitazioni antecedenti. Le precipitazioni antecedenti e la conseguente saturazione dei suoli potrebbero essere rilevanti soprattutto per le frane innescate da eventi pluviometrici con intensità di pioggia giornaliera relativamente bassa (si veda anche, ad esempio, Uzielli

²² Raffa, M., Adinolfi, M., Reder, A. et al. Proiezioni ad altissima risoluzione sull'Italia in diversi scenari CMIP5 IPCC. Sci Data 10, 238 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02144-9>

²³ Westra, S., et al. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall, Rev. Geophys., 52, doi:10.1002/2014RG000464.

et. al., 2018²⁴). Inoltre, la combinazione di lunghi periodi di siccità seguiti da condizioni estremamente umide potrebbe innescare TMG e potrebbe essere osservata più frequentemente in futuro (Tichavsky et. al., 2019²⁵). Le condizioni di umidità del suolo antecedenti potrebbero essere considerate in un modello bayesiano 2D (come proposto in Berti et. al., 2012). Inoltre, l'ipotesi che le probabilità condizionate non cambino nel futuro è vera solo se lo stato del sistema della superficie terrestre rimane invariato (Berti et. al., 2012). Ad esempio, un terremoto potrebbe modificare le condizioni che hanno innescato un TMG in passato e le probabilità precedenti potrebbero non essere più rappresentative per il futuro. Tuttavia, dopo il terremoto del 2017, le frane segnalate non sono aumentate in modo significativo. Pertanto, non è possibile stabilire un legame diretto con il terremoto, indice che il sistema potrebbe cambiare lentamente o che la magnitudo di questo terremoto era troppo debole.

Il metodo applicato ha dei limiti in termini di risoluzione spaziale. Le probabilità calcolate si riferiscono all'intera isola e non possono essere collegate a una specifica località dell'isola. Inoltre, il database delle frane comprende tutti i diversi tipi di frana, che sono stati analizzati insieme per avere un campione adeguato. Il database si limita a informazioni marginali sull'intensità delle frane, con solo tre eventi franosi documentati in dettaglio. Per una visione più dettagliata della pericolosità e del rischio di frana negli hotspot, sono necessari studi più specifici.

Nonostante le incertezze descritte, il modello bayesiano riporta la relazione fisica di base tra le precipitazioni giornaliere e l'occorrenza di frane. L'uso di soglie probabilistiche di pioggia permette di prendere in considerazione i segnali del cambiamento climatico e fornisce una base di discussione su come i futuri GMF potrebbero avere un impatto sulla società dell'Isola di Ischia. Il progetto richiama l'attenzione sulla probabile maggiore frequenza di eventi estremi e sottolinea l'importanza di misure per ridurre questi pericoli e/o evitare eventi disastrosi in futuro.

Da questa analisi si possono trarre le seguenti **conclusioni**: Sull'Isola di Ischia, la probabilità che si verifichino gravi frane è già alta con il clima attuale. L'analisi degli eventi storici ha rivelato che le precipitazioni di elevata intensità hanno il potenziale per innescare eventi franosi disastrosi. Il modello bayesiano applicato ha inoltre mostrato che la probabilità di frane durante eventi pluviometrici di elevata intensità è maggiore rispetto a quelli di bassa intensità.

L'analisi dei cambiamenti previsti nelle precipitazioni ha rivelato che gli eventi di bassa intensità diminuiranno in futuro, mentre quelli di alta intensità aumenteranno. Sulla base di questi segnali di cambiamento climatico e delle probabilità condizionali, si **prevede che la probabilità di accadimento delle frane cambierà tra il -15% e il +20% in condizioni climatiche future per il 2040-2060**. Inoltre, l'analisi ha mostrato che **nei due scenari peggiori, in 22 anni potrebbero verificarsi quattro o cinque frane con lo stesso potenziale di rischio dell'evento del 2022**.

Alla luce del recupero e della ricostruzione, l'analisi mostra chiaramente che la pericolo di frane è evidente e potrebbe essere ancora più grave in futuro, a causa dell'aumento della frequenza di eventi estremi. Lo studio permette di fare considerazioni affidabili sui casi peggiori, che serviranno come base per la discussione tra le diverse parti interessate. In studi successivi (che non fanno parte di questo studio), gli hotspot di potenziale instabilità dei versanti dovrebbero essere analizzati in modo più dettagliato, per consentire la pianificazione di attività di adattamento per ridurre l'intensità di futuri eventi franosi.

2.4.2 Alluvioni

I tipi di alluvione osservati a Ischia (vedi capitolo 1.4.4) sono direttamente correlati agli eventi estremi di precipitazione. L'effetto delle variazioni dell'intensità delle precipitazioni sul deflusso delle piene può essere valutato applicando simulazioni idrologiche come quelle effettuate dal team del Prof. Pianese per Casamicciola Terme.

²⁴ Uzielli, Marco, Guido Rianna, Fabio Ciervo, Paola Mercogliano e U nni K . E idsvig. 2018. "E voluzione temporale della pericolosità da f rana di tipo fl ow per un'inf ruttura stradale nel comune di N ocera Inf eriore (Italia meridionale) sotto l'ef f etto dei cambiamenti climatici". N at. H azards E arth S y st. S ci., 13 , 219 5- 2207 , doi: 10.519 4/ nh ess- 13 - 219 5- 2013

²⁵ Tichavský, R., Ballesteros-Cánovas, J.A., Šilhán, K. et al. Dry Spells and Extreme Precipitation are The Main Trigger of Landslides in Central Europe. Sci Rep 9, 14560 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51148-2>

Poiché per quest'area sono già stati sviluppati modelli idrologici e sono state effettuate simulazioni di precipitazioni estreme per diversi periodi di ritorno in condizioni climatiche storiche, la BEI, la Struttura Commissariale e il Prof. Pianese hanno deciso di utilizzare questo modello per studiare l'impatto dei cambiamenti climatici sulle alluvioni. Nell'ambito di questo studio sono state sviluppate proiezioni per le precipitazioni estreme in base agli scenari di cambiamento climatico.

I dati applicati sono stati coordinati in modo che i risultati possano essere utilizzati direttamente nei modelli idrologici del team del Prof. Pianese e che si possa valutare direttamente l'impatto dell'applicazione degli scenari di cambiamento climatico sul deflusso delle piene. Poiché l'input pluviometrico del modello idrologico era basato principalmente sulle curve di intensità-durata-frequenza (curve IDF, cfr. Capitolo 1.4.4). 1.4.4), le analisi delle precipitazioni estreme nei dati del modello climatico hanno avuto come obiettivo la generazione di curve IDF in relazione a cambiamenti climatici.

Le curve IDF in relazione a cambiamenti climatici sono state generate sulla base di analisi delle precipitazioni massime annuali per diverse probabilità di accadimento sull'isola di Ischia. Queste variazioni sono state calcolate utilizzando l'approccio descritto da Padulano et al. (2019)²⁶. Mentre per i dettagli analitici si rimanda al lavoro di Padulano et al. (2019), l'approccio richiede come input la curva Intensità-Durata-Frequenza (IDF) di riferimento per l'area di interesse e almeno due campioni di 30 precipitazioni massime giornaliere restituite da almeno un modello climatico per il periodo di riferimento e quello futuro. Attraverso l'IDF di riferimento, i dati climatici vengono "corretti" e "perturbati" per fornire la curva IDF per il periodo futuro coerente con quella di riferimento.

In particolare, la curva IDF di riferimento per l'area di interesse è stata ottenuta dal VA.PI Campania come riportato nel documento "Piano Commissariale di Interventi Urgenti". Sono state prese in considerazione sia la curva "tradizionale" utilizzata per l'isola di Ischia (ricadente nella sottozona A1, ora definita "VA.PI originale"), sia la curva ottenuta considerando le precipitazioni massime annuali a diverse durate ottenute dall'analisi dei 4 pluviometri presenti sull'isola negli ultimi 15 anni (ora definita "VA.PI modificata"), anch'esse descritte nel Capitolo 1.4.4. 1.4.4.

Per quanto riguarda i dati climatici, sono gli stessi utilizzati per delineare il profilo climatico locale dell'isola di Ischia, ottenuti dal programma CORDEX per l'Europa (cioè EURO-CORDEX). In particolare, sono stati considerati diversi modelli e scenari (esperimento "storico" per il passato, che per questi modelli si estende al 2005, e RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5 per il futuro, che per questi modelli va dal 2006 al 2100) per fornire una visione più chiara della distribuzione tra i diversi modelli e scenari climatici considerati.

Per quanto riguarda i periodi ipotizzati, essi sono 1981-2010 per il passato e 2036-2065 per il futuro. Va notato che per il periodo passato, i dati EURO-CORDEX derivano dal cosiddetto "esperimento storico", ottenuto eseguendo simulazioni climatiche regionali su un periodo storico utilizzando le concentrazioni di CO₂ osservate come causa forzante (il che significa che non si tratta di osservazioni reali).

Prima di presentare i risultati, è bene evidenziare alcuni dei principali presupposti e limiti dell'approccio:

A causa delle attuali prestazioni e capacità dei modelli climatici, tutte le elaborazioni sono state fatte sotto la forte ipotesi che le variazioni su scala giornaliera "funzionino" per durate inferiori al giorno.

L'analisi è stata condotta sfruttando catene di simulazione climatica solo per l'area indagata e proponendo poi una variazione del fattore di crescita (a specifici periodi di ritorno) che, strettamente parlando, è valida solo alla scala locale. I parametri del fattore di crescita sono stati originariamente stimati in VA.PI. considerando contesti territoriali molto più ampi.

La Tabella 2.12 fornisce le variazioni previste nella Precipitazione Massima Annuale (MAP) ottenute in diversi scenari RCP dalla Ensemble Mean (EM) dei modelli EURO-CORDEX utilizzando il "VA.PI modificato". Le tabelle riportano anche la deviazione standard (STD) tra i diversi modelli per quantificare la dispersione

²⁶ Padulano, R., Reder, A., & Rianna, G. (2019). Un approccio d'insieme per l'analisi delle precipitazioni estreme in condizioni di cambiamento climatico a Napoli (Italia). *Hydrological Processes*, 33(14), 2020-2036. <https://doi.org/10.1002/hyp.13449>

rispetto alla EM di EURO-CORDEX e il coefficiente di variazione (CV), definito come il rapporto tra STD e EM, che quantifica di quante volte la deviazione standard è maggiore della media.

Tabella 2-12: Variazione della Precipitazione Massima Annuale (MAP) per diversi periodi di ritorno in diversi scenari realizzati utilizzando come riferimento la curva "VA.PI modificata".

Maximum annual rainfall depth (mm) variation for different return periods									
T (years)	RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
	EM (%)	±STD (%)	CV (-)	EM (%)	±STD (%)	CV (-)	EM (%)	±STD (%)	CV (-)
5	5.0	9.1	1.8	4.0	12.5	3.1	8.4	9.6	1.1
10	7.0	11.1	1.6	5.7	14.7	2.6	8.5	12.0	1.4
20	10.0	19.0	1.9	8.7	22.0	2.5	8.5	15.1	1.8
50	16.5	40.7	2.5	16.0	43.4	2.7	8.4	20.6	2.5
100	24.6	68.7	2.8	25.7	71.4	2.8	8.5	25.9	3.0

Le variazioni del MAP sono maggiori per lo scenario RCP8.5 rispetto agli altri scenari per i periodi di ritorno bassi (frequenza più alta); un comportamento opposto è stimato per i periodi di ritorno alti (frequenza più bassa), con valori simili per gli scenari RCP2.6 e RCP4.5. Una panoramica dettagliata dei valori dei singoli modelli è riportata in Appendice 5 per i diversi scenari RCP.

Queste elaborazioni sono state integrate a due ulteriori analisi.

La prima analisi ha comportato l'esecuzione del test statistico di Kolmogorov-Smirnov su due campioni per ogni modello climatico e scenario considerato. Questo test mirava a valutare se i due campioni relativi alla precipitazione massima giornaliera per i periodi attuali e futuri fossero caratterizzati dalla stessa distribuzione. L'analisi ha rivelato che solo il modello ID7 (sotto RCP2.6; si veda l'appendice 5 per le etichette dei modelli e la relativa combinazione GMC-RCM) mostra variazioni statisticamente significative. Una possibile spiegazione è l'orizzonte temporale selezionato, che è relativamente vicino a quello attuale.

La seconda analisi si è concentrata sulla valutazione delle variazioni passate delle precipitazioni massime annuali fornite dai modelli climatici, considerando due periodi passati (cioè, 1971-1995 e 1996-2020). Questa analisi mira a valutare le potenziali variazioni nel regime dei massimali annuali durante il periodo passato, confrontando le massime annuali per il periodo in cui ricade la "VA.PI originale" con il periodo corrispondente alla "VA.PI modificata". La Figura 2-25, a sinistra, mostra che i modelli climatici dell'esperimento "storico" restituiscono già un aumento delle precipitazioni massime giornaliere annuali di circa l'8% nel periodo 1996-2020 rispetto al periodo 1971-1995. Questa variazione dovrebbe essere ulteriormente considerata in combinazione con le informazioni fornite in Tabella 2.12 se si vuole mettere in relazione il risultato con l'IDF di riferimento fornito dal "VA.PI originale". Inoltre, il modello spaziale mostrato in Figura 2-26 è molto simile all'andamento dei cambiamenti nelle osservazioni delle precipitazioni estreme nell'Italia meridionale (Avino et al. 2021²⁷), confermando la capacità generale dei modelli climatici CORDEX di rappresentare i cambiamenti nelle precipitazioni estreme.

²⁷ Avino A., Manfreda S., Cimorell L., Pianese D. 2021: Trend delle precipitazioni massime annuali in Campania (Italia meridionale). Processi idrologici 35/12, <https://doi.org/10.1002/hyp.14447>

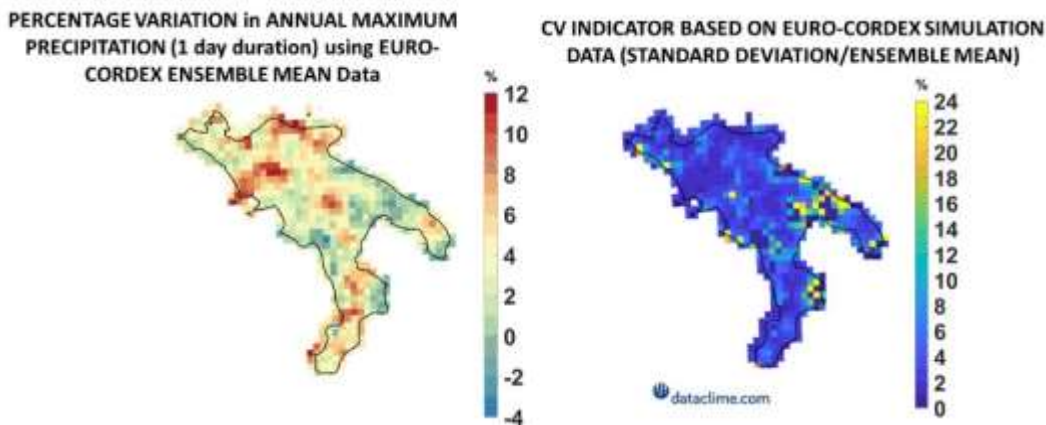


Figura 2-5 Modelli spaziali della variazione passata delle precipitazioni massime annuali nel complesso dei modelli climatici CORDEX (differenza tra i due periodi 1971-1995 e 1996-2020); a sinistra: media dell'insieme (EM); a destra: variazione tra i singoli modelli climatici.

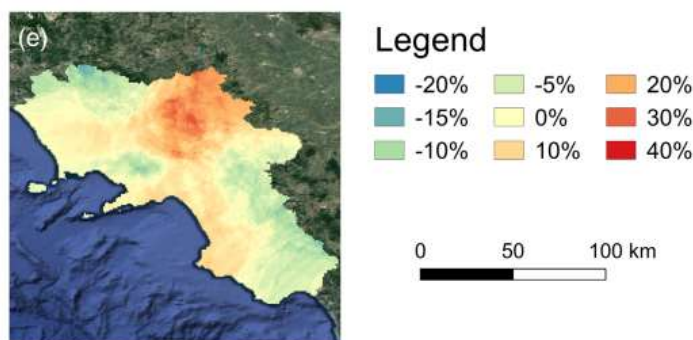


Figura 2-6 Modelli spaziali della variazione in passato della precipitazione massima annuale nei record di osservazione (durata 24 ore, differenza tra i due periodi 1970-1990 e 1991-2018; fonte: Avino et al. 2021)

Sulla base dei risultati mediani dell'insieme forniti nella Tabella 2.12 **si prevede che le precipitazioni estreme in futuro aumenteranno in un intervallo compreso tra il +5% e +25%**. Si raccomanda pertanto di applicare, come attività di adattamento generale e transettoriale ai cambiamenti climatici, un aumento all'interno di questo intervallo per i valori di precipitazione temporalesca di progettazione idraulica.

Le proiezioni dei modelli climatici che comunicano con la presente raccomandazione si basano su simulazioni su scala giornaliera. Le tendenze osservative (Avino et al. 2021) mostrano che gli aumenti su scale temporali sub-giornaliere di poche ore potrebbero essere superiori a quelli su scala giornaliera. Con il continuo sviluppo di modelli climatici con una maggiore risoluzione spaziale e temporale (ad esempio, Raffa et al. 2023), questo aspetto sarà ulteriormente studiato e dovrebbe essere preso in considerazione per le future raccomandazioni.

Sulla base dell'aumento previsto delle precipitazioni estreme, si può chiaramente prevedere che **anche le future piene aumenteranno**. L'entità di questo aumento dipenderà dall'intensità e dalla durata degli eventi pluviometrici e dalle caratteristiche del bacino idrografico al momento dell'evento piovoso. In una prima applicazione degli aumenti dei valori della curva IDF qui elaborati, un aumento specifico delle precipitazioni sarà applicato nelle **simulazioni di deflusso delle acque piovane a Casamicciola Terme** dal team del Prof. Pianese. Oltre a fornire informazioni sui futuri design di drenaggio delle acque per scopi di pianificazione lungo i corsi d'acqua simulati, questi modelli **forniranno anche una stima generale dei futuri aumenti delle piene**, dovuti all'aumento dell'intensità delle precipitazioni, per l'isola di Ischia. La Figura 2-7 mostra a titolo esemplificativo una curva IDF con un tempo di ritorno di 20 anni per il periodo di riferimento e le curve IDF future ipotizzando gli aumenti previsti dai tre diversi scenari di emissione, utilizzando gli aumenti medi dell'insieme forniti in Tabella 2.12. Si noti, tuttavia, che le proiezioni dei singoli

modelli climatici all'interno del complesso EURO-CORDEX variano notevolmente, come mostrato in Figura 2-8 per la curva IDF relativa al futuro con un periodo di ritorno di 20 anni e lo scenario di emissioni RCP4,5.

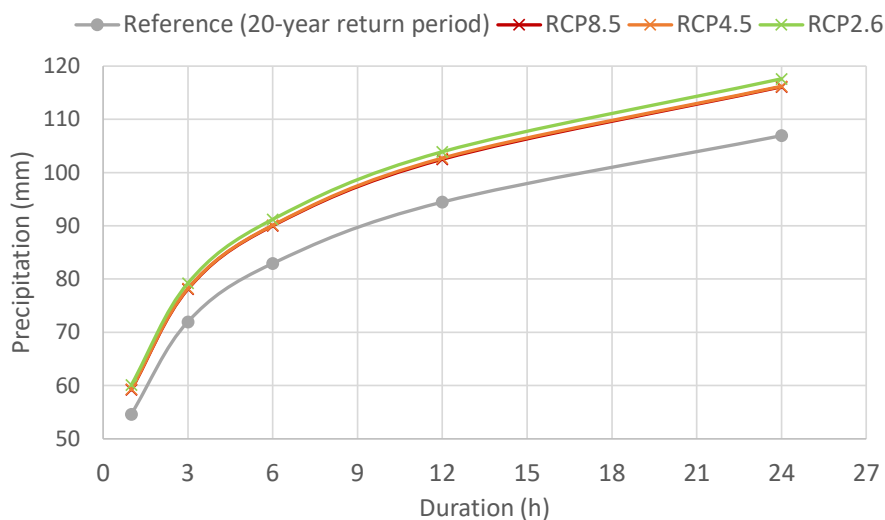


Figura 2-7 curve IDF relative all'isola di Ischia per un periodo di ritorno di 20 anni, al di sotto della baseline del clima di riferimento e per tre scenari climatici nel periodo 2036-2065

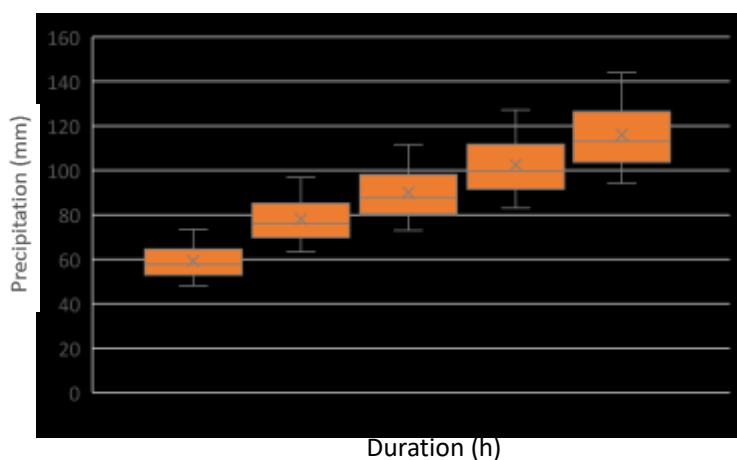


Figura 2-8 Intervallo dei valori della curva IDF in futuro per il periodo di ritorno di 20 anni, in base a RCP4.5, secondo i diversi modelli del complesso EURO-CORDEX (i valori medi dell'insieme sono contrassegnati da una x)

2.5 Incendi boschivi

Come descritto nel Capitolo 1.5, negli ultimi anni gli incendi si sono verificati con maggiore frequenza rispetto al passato (non sono stati registrati incendi prima del 2021), il che potrebbe già essere un segno dell'impatto delle temperature più calde. In genere, le proiezioni future del rischio di incendi boschivi si basano sul calcolo dell'Indice meteorologico degli incendi (FWI²⁸) che utilizza dati di temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità del vento e precipitazioni. La Tabella 2.13 presenta le proiezioni delle variazioni del FWI (in %) calcolate con i dati EURO-CORDEX per i tre scenari di emissione e le quattro stagioni.

²⁸ La FWI non considera le fonti di combustibile né la gestione dell'uso del suolo per il rischio di incendio.

È evidente che il rischio di incendi boschivi è destinato ad aumentare in futuro, con incrementi compresi tra il 9% e il 14% nel FWI. Le variazioni relative sono distribuite in modo relativamente uniforme nel corso dell'anno, con aumenti leggermente superiori in primavera e in estate. Il pericolo maggiore di incendi è ovviamente nei mesi estivi (ma i valori di riferimento per il periodo considerato non sono stati calcolati a causa di parametri mancanti nel set di dati osservativi).

Tabella 2-13. Dati climatici previsti per l'indice del tempo degli incendi (FWI, variazione percentuale). La deviazione

	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON
2050 RCP2.6 (variazione)	+9 (5)	+8	+9	+9	+9
2050 RCP4.5 (variazione)	+14 (4)	+11	+14	+14	+12
2050 RCP8.5 (variazione)	+16 (3)	+15	+18	+16	+14

2.6 Innalzamento del livello del mare e mareggiate

2.6.1 Aumento del livello del mare

L'ultimo rapporto AR6 (pubblicato il 09 agosto 2021) del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC), che segue il rapporto speciale intitolato "Climate change, the oceans and the cryosphere" pubblicato nel settembre 2019, presenta gli ultimi risultati dei diversi modelli per l'anno 2100. Nell'AR6, basato su cinque diverse ipotesi relative alla quantità di gas serra che verranno emessi negli anni a venire (periodo 2000-2100), ogni scenario fornisce una variante considerata probabile per il clima che risulterà dal livello di emissioni scelto come ipotesi di lavoro. I quattro scenari prendono il nome dall'intervallo di forzante radiativo così ottenuto per l'anno 2100: lo scenario SSP1-1.9 corrisponde a un forzante di +1,9 W/m², lo scenario SSP1-2.6 di +2,6 W/m², e lo stesso per gli scenari SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5.

Stime dell'innalzamento del livello del mare su scala globale rispetto al livello del 1995-2014 e alla fine del 2100 (Figura 2-29) variano, come riportato di seguito, a seconda degli scenari:

- +0,28-0,55 m per lo scenario SSP1-1.9;
- +0,32-0,62 m per lo scenario SSP1-2,6;
- +0,44-0,76 m per lo scenario SSP2-4.5;
- +0,63-1,01 m per lo scenario SSP5-8,5.

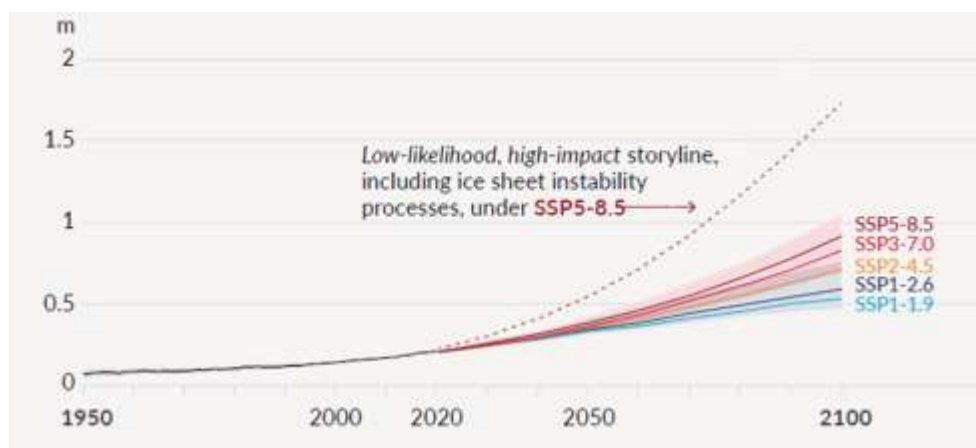


Figura 2-9. Proiezioni dell'innalzamento del livello del mare per il 2100 in base ai diversi scenari, IPCC 2021.

Va notato che esiste un ulteriore scenario chiamato "rottura delle calotte polari", la cui probabilità è bassa ma che è ancora considerato plausibile dagli esperti, le cui conseguenze sono difficili da quantificare a causa delle incertezze esistenti sui processi di risposta. Dalle calotte polari al riscaldamento globale. Questo scenario porterebbe a un aumento del livello generale del mare di quasi 2 metri entro il 2100.

Il rapporto fornisce anche informazioni sulle variazioni regionali dell'innalzamento del livello del mare in tutto il mondo, come illustrato in Figura 2-210.

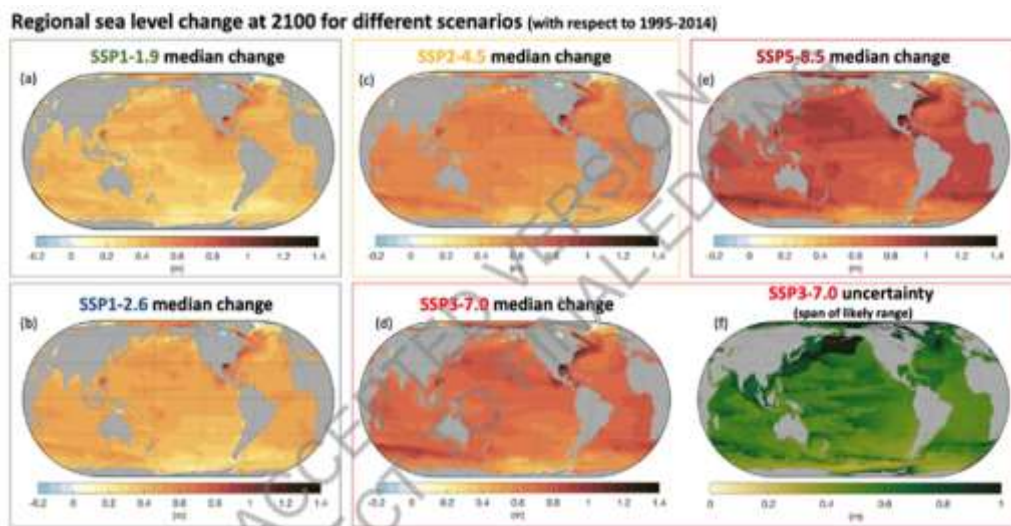


Figura 2-10. Variazione regionale dell'innalzamento del livello del mare in tutto il mondo per diversi scenari

Le proiezioni di innalzamento del livello del mare **IPCC su scala regionale** sono state estratte per l'isola di Ischia e sono presentate per i due scenari più pessimistici (SSP5-8.5 e SSP5-8.5 Low Confidence) in Figura 2-11 con valori di 0,25 m e 0,26 m, rispettivamente.

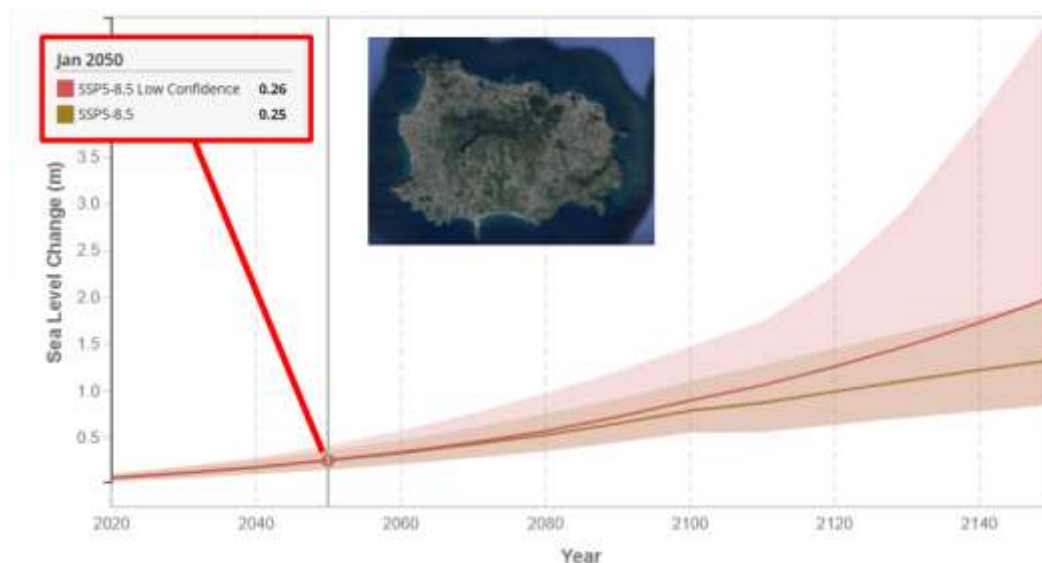


Figura 2-11. Estrazione dei dati di innalzamento del livello del mare per l'isola di Ischia per il 2050 secondo gli scenari SSP5-8.5 e SSP5-8.5 Low Confidence

Inoltre, l'IPCC afferma che l'incertezza sul futuro livello del mare in conseguenza ai cambiamenti climatici, per il 2050, è di circa 0,15 m per il livello medio globale (con proiezioni IPCC per SSP1-2.6 tra 0,17-0,32 m (intervallo probabile) e per SSP5-8.5 tra 0,23-0,40 m (intervallo probabile). Per i valori di innalzamento del livello del mare relativi ad Ischia per SSP5-8.5, pari a 0,25-0,26 m, questo implicherebbe un intervallo di circa 0,17-0,34 m.

Utilizzando le anomalie del livello del mare del modello **MEDSEA**, si prevede che il livello intorno a Ischia aumenterà di 0,19 m, secondo il modello RCP8.5, entro il 2050. Si prevede che ciò si verifichi uniformemente intorno all'isola, per le aree in cui i dati sono disponibili (Figura 2-12). Il valore MEDSEA del CMCC di 0,19 m calcolato in base a RCP8.5 rientra nell'intervallo di incertezza dell'IPCC.

Il documento "Modelling present and future climate in the Mediterranean Sea: a focus on sea-level change" di Sannino et al, pubblicato nel 2022, suggerisce inoltre che il livello del mare Mediterraneo, intorno a Ischia, dovrebbe aumentare tra 0,2-0,25 m per il periodo 2046-2065, rispetto al periodo di riferimento 1985-2005. L'utilizzo di una combinazione di dati provenienti da questa fonte e dei risultati dell'IPCC sull'innalzamento del livello del mare, evidenzia ulteriormente che l'innalzamento del livello del mare potrebbe essere maggiore del valore di 0,19 m indicato dalle anomalie del modello MEDSEA.

Pertanto, per le ulteriori analisi di rischio è stato adottato un valore più alto di 0,26 m (per considerare una valutazione conservativa, ma senza adottare ipotesi più estreme al limite superiore dell'intervallo di incertezza delle proiezioni IPCC).

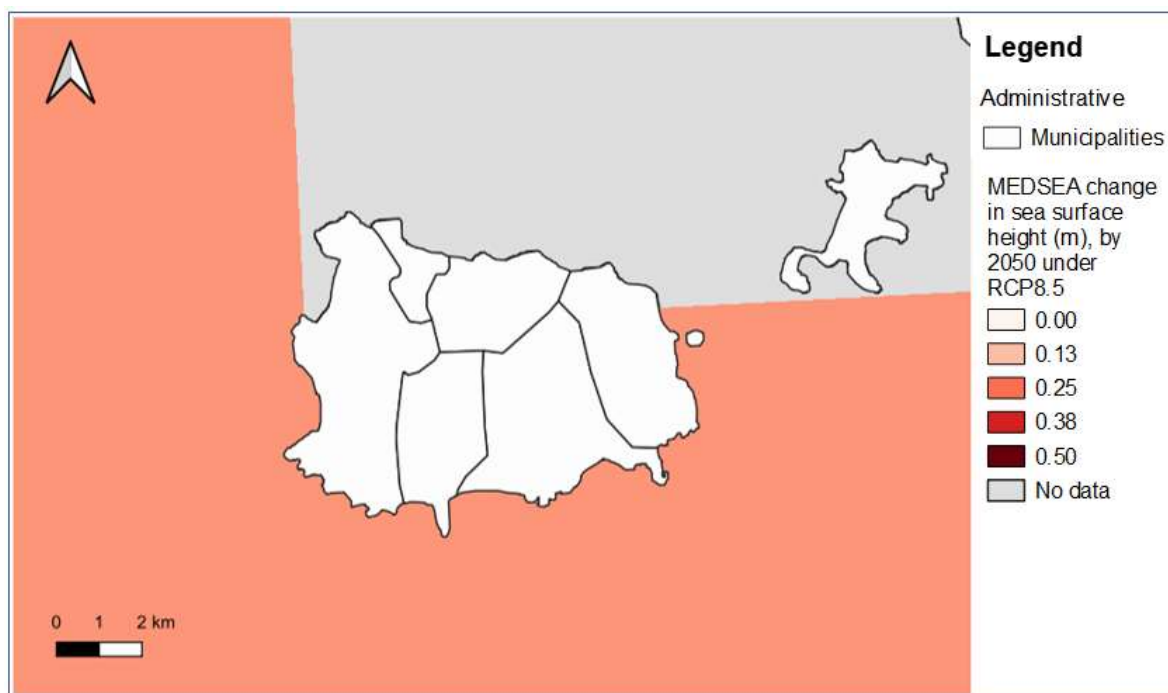


Figura 2-12: Variazione del livello del mare intorno a Ischia entro il 2050, secondo RCP8.5. Fonte: Dataclime

2.6.2 Aumento dell'intensità delle tempeste

Ischia si trova di fronte alla città di Napoli, sulla costa occidentale italiana. L'isola è aperta a tutte le direzioni delle onde; tuttavia, la sua costa orientale, rivolta verso il continente, è meno esposta alle onde rispetto al resto dell'isola.

Il fetch tra lo Stretto di Gibilterra e l'Isola di Ischia è molto ampio (> 1800 km) e può quindi consentire la formazione di onde molto alte durante le tempeste provenienti da ovest.

Un esempio delle condizioni delle onde del 22 novembre sul Mediterraneo occidentale (rilasciato da una previsione modellistica delle onde), un paio di giorni prima della frana, mostra onde fino a 5,5 m provenienti

da sud-ovest sulla costa di Ischia alle 7 del mattino. In serata, alle 21, il moto ondoso ha virato completamente verso ovest e le onde hanno raggiunto più di 7 m di altezza, secondo le previsioni del modello. Figura 2-14.

Il giorno della frana, il 26 novembre 2022, le previsioni mostravano un sistema meteorologico insolito che si presentava come un'intensa depressione ciclonica, con il centro situato sopra Ischia e con il vento (e quindi le onde generate) che girava in senso antiorario intorno all'isola. Nel Mar Mediterraneo, questo tipo di schema meteorologico è chiamato "Medicane".

Medicane è la combinazione di due parole: **Mediterraneo** e **uragano (hurricane in inglese)**. È un ciclone subtropicale mediterraneo, chiamato anche T.M.S. (Tropical-like Mediterranean Storm) dagli scienziati.

Figura 2-13. Previsione modellistica dell'onda per il 22 novembre 2022 alle ore 7. (fonte: . <https://marc.ifremer.fr/resultats/vagues>)

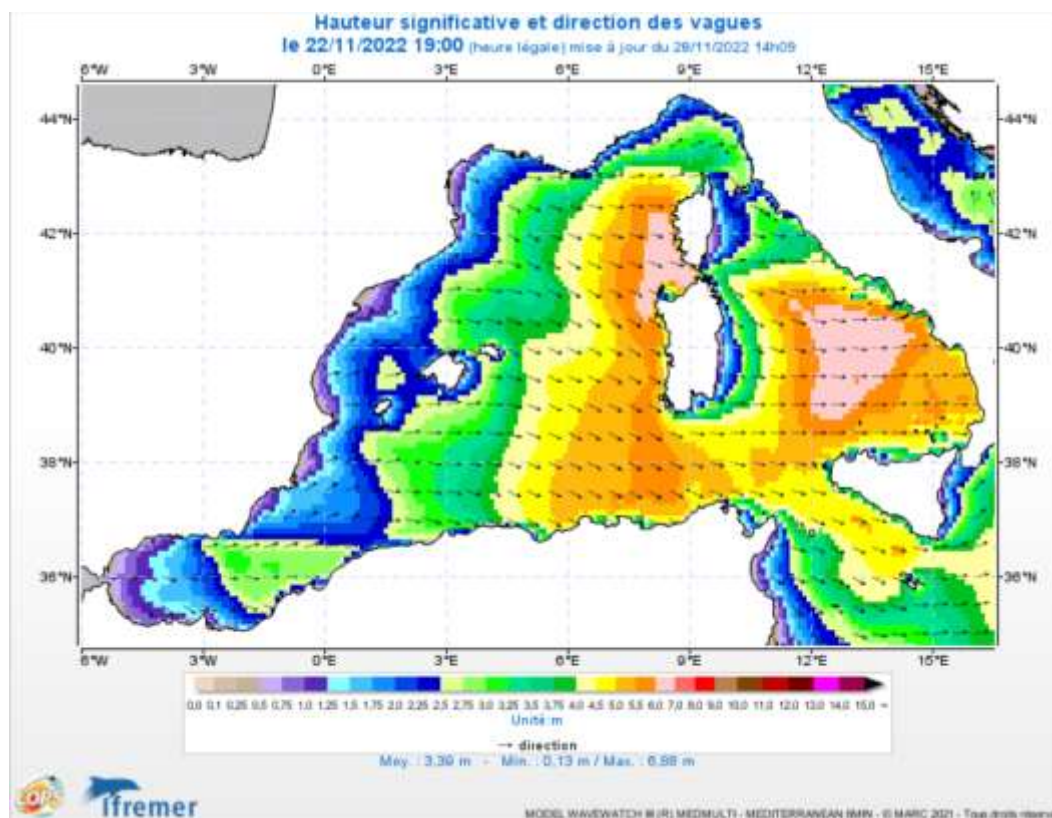


Figura 2-14. Previsione della modellazione dell'onda per il 22 novembre 2022 alle 21:00 (fonte: <https://marc.ifremer.fr/resultats/vagues>)

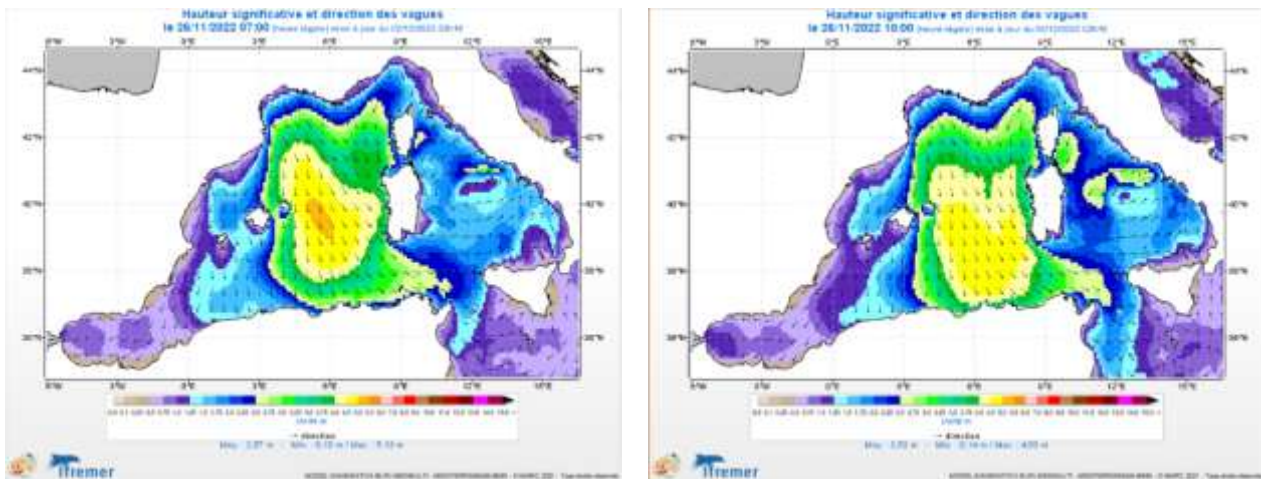


Figura 2-15. Previsione modellistica dell'onda per il 26 novembre 2022 alle 7 e alle 22, giorno della frana, che mostra la formazione di un "Medicane". (fonte: <https://marc.ifremer.fr/resultats/vagues>)

Secondo le ultime pubblicazioni scientifiche (di seguito citate), il riscaldamento globale indurrà cambiamenti dei venti e delle onde nel Mar Mediterraneo.

Ad esempio, in: *Projected future wave climate in the NW Mediterranean Sea* di M. Casas-Prat, J. P. Sierra, pubblicato nel 2013, sono stati ottenuti scenari futuri di moti ondosi regionali ad alta scala temporale-spaziale per il Mar Mediterraneo occidentale, utilizzando cinque combinazioni di modelli di circolazione regionale-globale. I cambiamenti nelle variabili dell'onda sono stati analizzati e messi in relazione con le variazioni delle proiezioni dei venti, valutando anche l'evoluzione della presenza di diverse condizioni marine.

Per valutare la significatività dei cambiamenti, è stato proposto un metodo che tiene conto dell'autocorrelazione dei dati e riproduce correttamente gli estremi. Per il clima medio, sono state ottenute variazioni relative di H_s (altezza d'onda significativa) fino a $\pm 10\%$, mentre sono state di circa $\pm 20\%$ per il clima estremo. In termini medi, le variazioni di H_s sono simili a quelle associate alla velocità del vento, ma sono incrementate/attenuate, rispettivamente, quando le condizioni di fetch sono favorevoli/sfavorevoli.

I Medicane sono una conseguenza già nota del cambiamento climatico e saranno quindi sempre più frequenti negli anni successivi, portando sia ad una maggiore intensità delle onde ma anche a direzioni diverse ^{2930 31}.

2.6.3 Tendenze delle tempeste

Europa

Calafat, F.M., Wahl, T., Tadesse, M.G. et al. in "Trends in Europe storm surge extremes match the rate of sea-level rise. *Nature* 603, 841-845 (2022)" hanno dimostrato che le comunità costiere di tutto il mondo stanno già risentendo degli impatti del cambiamento climatico attraverso variazioni significative del livello del mare. Queste variazioni riflettono l'effetto combinato dell'innalzamento del livello del mare e dei cambiamenti nell'attività delle mareggiate. Comprendere l'importanza di questi due fattori nel modificare la probabilità di eventi estremi è fondamentale per il successo delle attività di adattamento costiero.

Le analisi esistenti delle registrazioni dei mareografi concordano sul fatto che l'innalzamento del livello del mare è stato un fattore determinante del trend dei massimi del livello del mare almeno dal 1960. Tuttavia, il contributo dei cambiamenti delle tempeste rimane poco chiaro, a causa della difficoltà di dedurre questo contributo dai pochi dati raccolti e dei conseguenti risultati inconcludenti che si sono accumulati in

²⁹ <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/ccp4/#Cavicchia--2014>

³⁰ <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/ccp4/#Nissen--2014>

³¹ <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/ccp4/#Romera--2017>

letteratura. Nella pubblicazione sopra citata, i ricercatori analizzano le osservazioni dei mareografi utilizzando metodi spaziali bayesiani per dimostrare che, contrariamente a quanto si pensa, le tendenze delle mareggiate e l'innalzamento del livello del mare hanno entrambi contribuito in modo comparabile alla variazione complessiva dei massimi livelli del mare in Europa dal 1960.

Hanno determinato che l'andamento degli picchi mareali riflette i contributi di un dipolo dominante nord-sud associato alla variabilità climatica interna e di un pattern positivo a segno unico legato a fattori antropici. I risultati dimostrano che fattori esterni e interni possono influenzare notevolmente la probabilità di picchi estremi su periodi di 60 anni, suggerendo che l'attuale pratica di pianificazione costiera di assumere picchi estremi stazionari potrebbe essere inadeguata.

Mar Mediterraneo

Lo studio "The impact of climate change on the storm surges of the Mediterranean Sea: Coastal sea level responses to deep depression atmospheric systems", Ocean Modelling pubblicato nel 2023 da Christos V. Makris, Konstantia Tolika, Vasilis N. Baltikas, Kondylia Velikou, Yannis N. Krestenitis, ha l'obiettivo di valutare sistematicamente gli impatti dei cambiamenti climatici previsti su eventi episodici di innalzamento del livello del mare nelle aree costiere del Mediterraneo, indotti da condizioni meteorologiche severe identificate come depressioni profonde. Si cerca di aggiungere nuove conoscenze sulla scala temporale climatica a lungo termine, identificando le parti interessate della zona costiera del Mediterraneo correlate a sistemi di bassa pressione atmosferica, indicativi del bacino del Mediterraneo durante il XXI secolo.

Per raggiungere questo obiettivo, viene proposta una valutazione quantitativa integrata combinando le proiezioni disponibili, basate sui Representative Concentration Pathways; RCP 4.5 e 8.5, con una modellazione numerica avanzata e una post-elaborazione statistica per la definizione degli impatti meteorologici ciclonici sui caratteristici hotspot delle zone costiere. A tal fine, sono state utilizzate le proiezioni climatiche e gli output di tre modelli climatici regionali (RCM) dell'iniziativa Med-CORDEX alla scala del bacino del Mediterraneo, che sono stati ampiamente valutati e confrontati con i dati di rianalisi.

Questi dati atmosferici alimentano un robusto modello di onde di tempesta (MeCSS) per la simulazione dell'idrodinamica barotropica (elevazione del livello del mare e correnti) accuratamente convalidato rispetto alle osservazioni in situ del livello del mare da parte dei mareografi. I risultati confermano la previsione di un'attenuazione delle mareggiate per la fine del XXI secolo, anche se sono state individuate differenziazioni locali nei massimi di mareggiata intorno alla zona costiera del Mediterraneo. Inoltre, è evidente una leggera riduzione del livello medio del mare indotto dalle tempeste (MSL; componente attribuita esclusivamente al residuo meteorologico dell'elevazione del livello del mare) verso la fine del XXI secolo. Le magnitudo estreme delle mareggiate variano tra 0,35 e 0,50 m nel Mediterraneo, con valori più elevati lungo parti delle sue coste settentrionali (laguna di Venezia, Golfo del Leone, Adriatico settentrionale e Mar Egeo, ecc.) e nel Golfo di Gabes nella sua parte meridionale. Nel complesso, si stima che le distribuzioni spaziali dei massimi di onde di tempesta rimarranno simili a quelle del passato in tutta la zona costiera del Mediterraneo.

Le differenze tra i due scenari utilizzati (RCP4.5 e 8.5) sono evidenti, non tanto in relazione alla distribuzione spazio-temporale dei massimi delle onde di tempesta, che mostra un andamento molto stabile, ma piuttosto in termini di magnitudo. Indicativamente, verso la fine del XXI secolo si può osservare una diminuzione dei picchi massimi di queste onde da -30% a -2%, soprattutto per le simulazioni MeCSS guidate dall'RCP8,5. Si tratta di una stima mediata spazialmente, ma per alcuni siti costieri specifici in Croazia, Spagna, Italia e Francia, come Rovigno, Bakar, Tolone, Trieste, Ajaccio, Genova, Marsiglia, Napoli, Venezia, Cagliari, Ancona, Ibiza e Barcellona, le massime delle mareggiate potrebbero aumentare dall'1% al 22% con diverse combinazioni RCM/RCP verso la fine del XXI secolo. La loro analisi porta a quantificare l'effetto dei sistemi di forte depressione sull'innalzamento del livello del mare in prossimità della costa dovuto alle mareggiate verso il 2100. Le correlazioni più forti tra gli eventi di forte depressione e l'innalzamento del livello del mare si osservano in diverse zone delle coste settentrionali del Mediterraneo (Golfo di Valencia e del Leone, Mar Ligure e Adriatico settentrionale). Seguono le aree alle medie latitudini intorno alla Corsica, alla Sardegna, alla penisola italiana medio-zonale e all'Adriatico, e il Mar Egeo settentrionale. L'influenza delle forti

depressioni sulle mareggiate è minore per la Sicilia, l'Italia meridionale, il Peloponneso, Creta, l'arcipelago dell'Egeo meridionale e il Mare di Alboran.

Le uniche eccezioni nei litorali meridionali del Mediterraneo, generalmente non interessati, sono i golfi di Gabes e Alessandretta. Questi dati si riferiscono al XX secolo, ma sembrano ripetersi per le stime del XXI secolo, con differenziazioni ancora più pronunciate tra la parte meridionale e quella settentrionale. Quest'ultimo dato è probabilmente dovuto allo spostamento previsto verso nord dei principali centri di forte depressione nel Mediterraneo verso la fine del XXI secolo. L'impatto del cambiamento climatico (differenza di periodo di riferimento futuro) sull'effetto dei forti cicloni sugli aumenti episodici del livello del mare in prossimità della costa sembra avere un modello molto chiaro di leggera attenuazione in alcune regioni, cioè la Sardegna, la Corsica, il Mar Ligure e il Mar Adriatico, e l'intera penisola italiana per tutte le implementazioni alimentate da RCM verso la fine del XXI secolo. In determinate condizioni, questo è il caso del Golfo di Valencia, delle coste africane nord-occidentali, delle coste del Mare di Alboran, dello Ionio, del Mar Egeo e del Mar Libico, sotto specifiche combinazioni di forzanti RCM/RCP.

D'altra parte, un possibile aumento dell'influenza delle forti depressioni del Mediterraneo sulle mareggiate potrebbe essere il caso per il Golfo del Leone, i bacini del Mar Ionio, del Mar Egeo e del Mar Levantino, che coprono le coste centro-settentrionali e nord-orientali dell'Africa. In generale, un'influenza positiva delle forti depressioni sui massimi di mareggiata si riferirebbe probabilmente alle aree con massimi di mareggiata medio-alti (ad esempio, Egeo, Ionio, Golfo del Leone o di Valencia o di Gabes, ecc.), ma non ai massimi di tutto il bacino (ad esempio, Laguna di Venezia, Mar Ligure, Adriatico, ecc.) In queste ultime regioni costiere, tuttavia, intensi meccanismi locali del vento (ad esempio, lo Scirocco) sono destinati a svolgere un ruolo essenziale nella formazione di elevate mareggiate. I risultati ottenuti possono essere utilizzati in studi mirati per la modellazione idrologica/idrodinamica integrata nelle condizioni di cambiamento climatico previste per il XXI secolo.

2.7 Sintesi delle proiezioni climatiche e classificazione dei cambiamenti dei rischi climatici per la valutazione della vulnerabilità

Le proiezioni climatiche presentate possono essere riassunte come segue:

Temperatura

- Si prevede che la temperatura media aumenterà tra 1°C (RCP2.6) e 1,8°C (RCP8.5) entro il 2050.
- Il numero di giorni estivi ($T > 29,2^{\circ}\text{C}$) dovrebbe aumentare in tutti gli scenari di emissione, tra i 7 (RCP2.6) e i 14 giorni (RCP8.5).
- Il numero di notti tropicali (temperatura minima $> 20^{\circ}\text{C}$) dovrebbe aumentare in tutti gli scenari di emissione, tra i 21 (RCP2.6) e i 36 giorni (RCP8.5).
- Il numero di giorni che contribuiscono a "periodi caldi", quando la temperatura massima (TX) rimane al di sopra del 90° percentile climatologico, è previsto in aumento in tutti gli scenari di emissione, tra i 37 (RCP2.6) e i 89 (RCP8.5).
- Secondo le proiezioni, i gradi giorno di raffrescamento aumenteranno in tutti gli scenari di emissione, con un massimo di 206 gradi giorno di raffrescamento nel modello RCP8.5. Al contrario, i gradi giorno di riscaldamento dovrebbero diminuire in tutti gli scenari di emissione.
- Complessivamente, le proiezioni relative alla temperatura mostrano una chiara tendenza all'aumento delle temperature medie ed estreme in futuro, indicando ondate di calore più gravi e un aumento del rischio di siccità e incendi. Le proiezioni mostrano alcune incertezze relative all'entità dei cambiamenti futuri, ma sono per lo più specifiche per ogni scenario di emissione (con cambiamenti più forti previsti per le emissioni più elevate).

Precipitazioni

- Secondo i modelli, la precipitazione media giornaliera durante i giorni umidi aumenterà di 4 mm con RCP2.6 mentre diminuirà leggermente con RCP4.5 (-2 mm) e RCP8.5 (-1 mm).
- Il numero di giorni con precipitazioni molto intense ($P \geq 20$ mm) all'anno dovrebbe aumentare di 1 giorno secondo RCP2.6 e RCP8.5, mentre secondo RCP4.5 non ci saranno cambiamenti.
- Le precipitazioni massime annuali in un giorno dovrebbero aumentare in tutti gli scenari di emissione, tra 4 mm (RCP2.6) e 8 mm (RCP8.5).
- Il numero di giorni consecutivi di siccità dovrebbe aumentare sia con RCP4.5 (+3 giorni) che con RCP8.5 (+2 giorni), mentre non si prevedono cambiamenti con RCP2.6.
- Nel complesso, le proiezioni relative alle precipitazioni mostrano una sostanziale incertezza, non solo tra i diversi scenari di emissione, ma anche tra i diversi modelli climatici. Ciò è legato non solo all'incertezza nella rappresentazione dei processi di precipitazione nei modelli climatici, ma anche all'elevata variabilità naturale intrinseca. Per quanto riguarda le precipitazioni estreme, i modelli climatici concordano generalmente su un aumento futuro, con un'incertezza legata soprattutto all'entità di questo aumento.

Vento

Non sono previsti cambiamenti rilevanti nella velocità estrema del vento (fatta eccezione per una piccola diminuzione indicata con RCP8.5).

Rischi idrogeologici

Frane: Sulla base delle proiezioni dei cambiamenti climatici delle precipitazioni e delle probabilità condizionate di piogge e frane, si prevede che la probabilità di episodi franosi cambierà tra il -15% e il +20% in un clima futuro per il 2040-2060, a seconda degli scenari climatici e delle proiezioni dei modelli. Un aumento più pronunciato è previsto per gli eventi estremi con un potenziale disastroso come l'evento del 2022, con gli scenari peggiori che mostrano un aumento da un evento su 22 anni nel passato a quattro o cinque eventi su 22 anni nel futuro.

Inondazioni: Le precipitazioni estreme con periodi di ritorno tra 5 e 100 anni dovrebbero aumentare tra il 5% e il 25%, a seconda del periodo di ritorno e dello scenario di emissione. Si prevede che le alluvioni di piccola scala, causate dalle precipitazioni, a Ischia registreranno un aumento simile al deflusso delle piene. Le simulazioni numeriche del deflusso delle piene basate sull'aumento delle precipitazioni temporalesche saranno effettuate utilizzando i risultati di questo studio e forniranno stime dell'intervallo di aumento del deflusso di piena dovuto ai cambiamenti climatici.

Incendi boschivi

- Con L'Indice Meteorologico degli Incendi in netto aumento (con incrementi maggiori negli scenari a più alte emissioni), si prevede che il pericolo di incendi boschivi aumenterà nel clima futuro.

Aumento del livello del mare

I modelli oceanici regionali indicano un aumento di 0,19 m secondo RCP8.5 entro il 2050. Le proiezioni dei modelli climatici globali con RCP8.5 variano tra 0,17 m e 0,34 m di aumento, con valori medi in complesso intorno a 0,25/0,26 m. Questi ultimi sono stati adottati per un'ulteriore modellizzazione dell'impatto.

L'analisi della letteratura non mostra una chiara tendenza ai cambiamenti futuri delle mareggiate nel Mar Mediterraneo. Pertanto, nelle analisi d'impatto non è stata ipotizzata alcuna variazione.

Una sintesi dei più forti cambiamenti stagionali entro il 2050, come previsto dalla media complessiva del modello climatico CORDEX con RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5, è riportata nella tabella 2.14. Tabella 2.14.

Tabella 2-14: La stagione in cui si prevede che ciascuna variabile subisca il maggior cambiamento (aumento/diminuzione) rispetto all'attuale valore di riferimento entro il 2050 in base a ciascuno scenario di emissione. Questa tabella comprende le variabili per le quali le differenze stagionali sono rilevanti e note.

Variabile	2050 RCP2.6	2050 RCP4.5	2050 RCP8.5
Temperatura media	GLA/SON (aumento)	GLA (aumento)	SON(aumento)
Giorni d'estate	GLA (aumento)	GLA (aumento)	GLA (aumento)
Durata delle ondate di caldo	SON(aumento)	GLA (aumento)	SON(aumento)
Gradi-giorno di raffrescamento	GLA (aumento)	GLA (aumento)	GLA (aumento)
Gradi-giorno di riscaldamento	DGF (diminuzione)	DGF (diminuzione)	DGF (diminuzione)
Notti tropicali	GLA (aumento)	GLA (aumento)	GLA (aumento)
Media precipitazioni nei giorni di pioggia	DGF/GLA (aumento)	GLA (diminuzione)	MAM/GLA (diminuzione)
Giorni di precipitazioni molto intense	DGF (aumento)	Nessuna variazione	Nessuna variazione
Precipitazioni massime in un giorno	DGF (aumento)	GLA (diminuzione)	DGF (aumento)
Giorni secchi consecutivi	MAM/SON (aumento)	GLA (aumento)	GLA (aumento)
Velocità estrema del vento	DGF (diminuzione)	DGF/GLA (diminuzione)	DGF (diminuzione)
Indice meteorologico degli incendi	MAM/GLA (aumento)	MAM/GLA (aumento)	MAM/GLA (aumento)

Sulla base di questi cambiamenti attesi nelle diverse variabili climatiche e nei relativi pericoli climatici, la gravità dei cambiamenti dei principali rischi climatici è stata valutata e classificata come mostrato di seguito nella Tabella 2.15. La **classificazione dei cambiamenti dei rischi climatici** si basa sul giudizio di esperti e considera l'entità dei cambiamenti futuri previsti, l'incertezza legata alle proiezioni e la variabilità naturale per ciascuno dei pericoli climatici.

La tabella 2.15 si basa su una classificazione dell'esposizione ai sensi della "Technical guidance on the climate proofing of infrastructure in the period 2021-2027" dell'UE, che riassume i cambiamenti generali su tutta l'isola. Nonostante la superficie ridotta, esistono variazioni spaziali e non tutti i settori includono beni infrastrutturali o servizi in tutte le parti dell'isola. L'esposizione effettiva è quindi valutata nelle valutazioni di vulnerabilità settoriale del Capitolo 3. 3 e potrebbe in parte variare rispetto alla classificazione generale qui presentata (ad esempio, solo un piccolo numero di terreni agricoli si trova vicino alla costa, per cui l'esposizione alle inondazioni costiere è bassa per questo settore, nonostante il cambiamento del livello del mare e le relative inondazioni costiere siano classificate come alte per l'intera isola).

Tabella 2-15 Classificazione del cambiamento di pericolosità per i principali rischi climatici sull'isola di Ischia (1: piccolo cambiamento, 2: medio cambiamento, 3: grande cambiamento)

Pericolo climatico	Variazione della pericolosità (da 1 piccola a 3 grandi variazioni)	
Alte temperature	Alto	3
Siccità	Medio	2
Incendi boschivi	Medio	2
Precipitazioni temporalesche	Medio	2
Inondazioni fluviali	Medio	2
Frane	Medio	2
Vento	Basso	1
Inondazioni costiere	Alto	3

3 Valutazione della vulnerabilità, potenziali impatti climatici e possibili attività di adattamento

Le sezioni seguenti forniscono una valutazione dei potenziali impatti climatici sui principali settori economici e sulle attività dell'isola di Ischia, sulla base delle proiezioni dei cambiamenti climatici e dei più significativi rischi relativi fornite nel Capitolo 2. 2. In combinazione con le specifiche sensibilità climatiche delle risorse e dei servizi di ciascun settore, viene valutata la vulnerabilità climatica di ciascuno. Considerando le principali vulnerabilità climatiche, vengono identificate le possibili attività di adattamento e, ove possibile, viene stimato il costo delle attività di adattamento raccomandate.

A causa dell'orizzonte temporale limitato di questo studio, la conoscenza della situazione attuale e delle future condizioni di cambiamento climatico sono limitate (ad esempio, solo stime di rischio elevato per alluvioni e frane). Inoltre, l'inventario delle risorse per ogni settore, insieme agli impatti storici legati alle condizioni meteorologiche sono incompleti, nonostante i tentativi di includere il maggior numero possibile di informazioni da parte degli stakeholder locali, attraverso missioni sul campo completate in tempi brevi. Pertanto, lo studio presentato fornisce una prima valutazione della vulnerabilità climatica, equivalente a una Fase 1 (screening) come definito nella "Guida tecnica dell'UE sulla resilienza climatica delle infrastrutture nel periodo 2021-2027".

La classificazione della vulnerabilità climatica settoriale è calcolata, per i settori per i quali tale classificazione è stata ritenuta un'analisi realizzabile e utile, a partire dall'esposizione settoriale e dalla relativa sensibilità sulla base dello schema di classificazione riportato in Tabella 3.1.

Tabella 3-1 Classificazione della vulnerabilità climatica in base alle classificazioni di esposizione e sensibilità

Sensibilità + Esposizione	1	2	3
1	1 – bassa	1 – bassa	2 – media
2	1 – bassa	2 – media	3 – alta
3	2 – media	3 – alta	3 – alta

Tuttavia, si è cercato di analizzare in modo più dettagliato gli impatti di grande rilevanza e le relative opzioni per le attività di adattamento nei settori più rilevanti. Per alcuni settori che richiedono un'analisi più dettagliata, come il settore dei porti e delle infrastrutture costiere con le stime delle altezze delle banchine necessarie, la matrice di vulnerabilità di base non è stata considerata un'analisi utile e non viene quindi fornita.

Analisi più dettagliate sono state necessarie per consentire una stima dei costi delle attività di adattamento per l'analisi costi-benefici effettuata per la Parte 2 di questo rapporto. Tuttavia, per tutte le attività raccomandate in questo studio, sono necessari ulteriori studi più dettagliati prima dell'implementazione e per consentire aggiustamenti flessibili in futuro.

Le seguenti sezioni del Capitolo 3 forniscono valutazioni settoriali per i settori chiave definiti tra la BEI e la Struttura Commissariale (strade, edifici, compreso l'ospedale dell'isola, porti e infrastrutture costiere, approvvigionamento idrico e acque reflue, approvvigionamento energetico, turismo, agricoltura e silvicoltura e soluzioni naturalistiche). Dopo le analisi settoriali, vengono riassunte le raccomandazioni intersettoriali per le attività di adattamento più efficaci relative a frane e alluvioni, che sono generalmente percepite come i rischi climatici più pericolosi a Ischia. Un'ulteriore sezione intersettoriale fornisce raccomandazioni generali di progettazione per una ricostruzione resiliente al clima. La sezione finale di questo capitolo 3 fornisce una sintesi dei risultati principali.

3.1 Strade

3.1.1 Le strade a Ischia

La rete stradale di Ischia è composta da quattro categorie. Esse comprendono: una strada principale che percorre approssimativamente un cerchio intorno all'isola (strada SP270) con una lunghezza totale di 30,5 km, che collega i principali centri e quartieri dell'isola di Ischia; una rete stradale secondaria di 163,7 km; e una rete stradale terziaria di 148,6 km. Inoltre, è presente una rete di sentieri, per un totale di 217 km. La rete stradale si estende anche a tutti i centri minori e alle destinazioni più importanti, come le spiagge e le attrazioni turistiche. Nelle zone montuose vi sono anche molte strade che permettono agli utenti di tagliare direttamente attraverso l'isola.

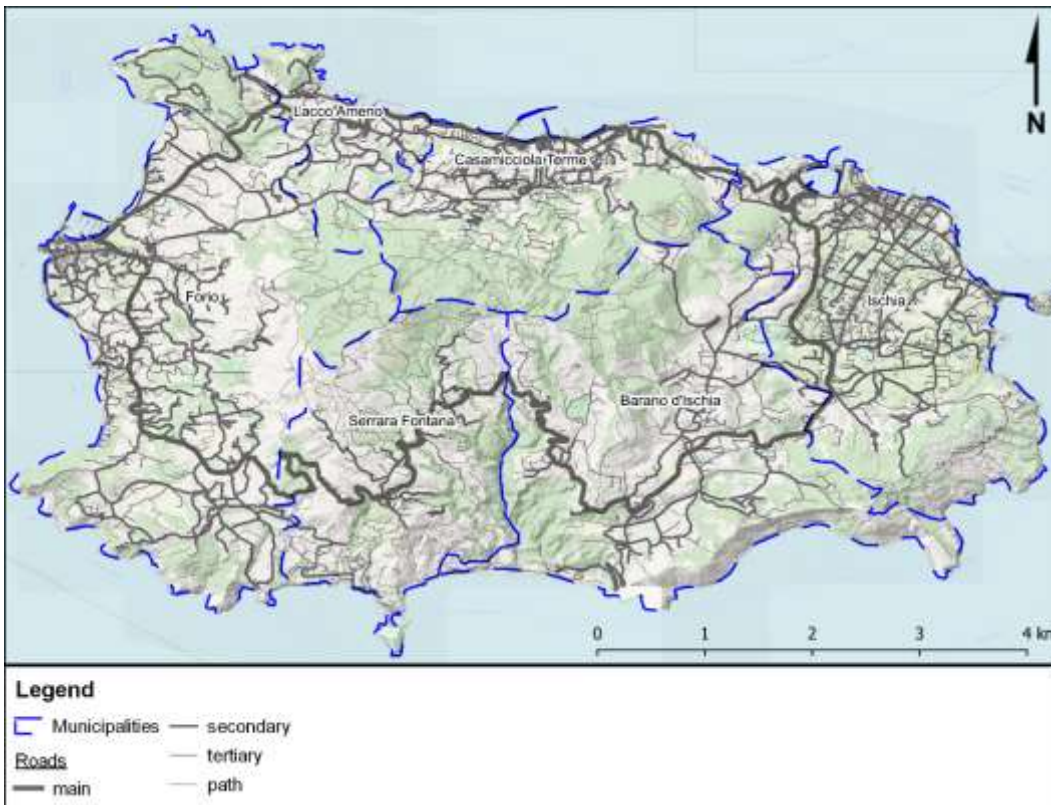


Figura 3-1 Rete stradale di Ischia.

3.1.2 Sensibilità al clima e potenziali impatti climatici sulle infrastrutture stradali a Ischia

Il cambiamento del clima nel breve, medio e lungo periodo comporterà un aumento dei rischi per le infrastrutture di trasporto stradale. In sintesi, i principali cambiamenti climatici previsti sono:

- Aumento della temperatura massima giornaliera
- Diminuzione e/o aumento delle precipitazioni
- Aumento della frequenza di eventi meteorologici estremi
- Periodi di siccità più lunghi
- Aumento del livello del mare

Ognuno di questi rischi climatici e gli impatti associati hanno effetti distinti sulle infrastrutture di trasporto stradale, come descritto nei capitoli seguenti.

Oltre a una progettazione inadeguata, molti dei problemi legati alla mancanza di resilienza climatica delle infrastrutture stradali derivano da una manutenzione carente o di scarsa qualità. L'acqua che rimane sul manto stradale, i cedimenti delle strade, fenomeni di tracimazione, gli incendi, i drenaggi inefficaci, ecc. sono tutti causati da una manutenzione insufficiente. Si tratta di un problema internazionale, poiché nessun Paese al mondo dispone di un budget per la manutenzione adeguato a tutti i compiti necessari. Tuttavia, le aree di maggiore importanza strategica e più colpite dovrebbero avere la priorità e la manutenzione dovrebbe essere effettuata il più regolarmente possibile, ma sicuramente prima dell'inizio della stagione umida. La manutenzione dovrebbe essere preventiva e gli interventi dovrebbero essere effettuati non appena appaiono i primi segni visibili di difetti sulla superficie stradale.

Certe tipologie di difetti della pavimentazione possono indicare problemi diversi nelle strutture stradali e nel sottosuolo. Ampie fessure longitudinali possono rivelare luoghi in cui la massa del terreno si è spostata sotto la strada e ha lacerato la pavimentazione. Le fessurazioni ramificate indicano luoghi in cui il drenaggio è scarso o dove forse i canali di scolo e i drenaggi laterali sono bloccati.

La manutenzione preventiva contro i difetti iniziali della pavimentazione riduce il rischio che una strada ceda e diventi inaccessibile.

Tabella 3-2 Esempio di difetti della pavimentazione stradale a Ischia



Fessurazione ramificata dovuta a una capacità portante inadeguata ed eventualmente a un drenaggio insufficiente	Una grave fessurazione porta ad un deterioramento accelerato
---	--

3.1.3 Frane generali (smottamenti, caduta di detriti e rocce)

Il rischio di FMG potrebbe aumentare quando gli eventi di precipitazioni estreme diventeranno più frequenti in futuro. Nelle mappe seguenti (Figura 3-2 e Figura 3-3), sono presentate le strade a rischio di movimento di massa basate sulla valutazione GIS. Questa analisi è una selezione molto generale dei possibili tratti a rischio e non illustra ancora il rischio effettivo sul campo, poiché alcune attività di adattamento potrebbero essere già in corso. Dopo l'identificazione dei tratti stradali a rischio, si può procedere a una mappatura più dettagliata del rischio e alla definizione di un punteggio e di una priorità, combinando lo studio a tavolino e le indagini sul campo, separatamente per le frane e le cadute di massi (che non fanno parte di questo studio).

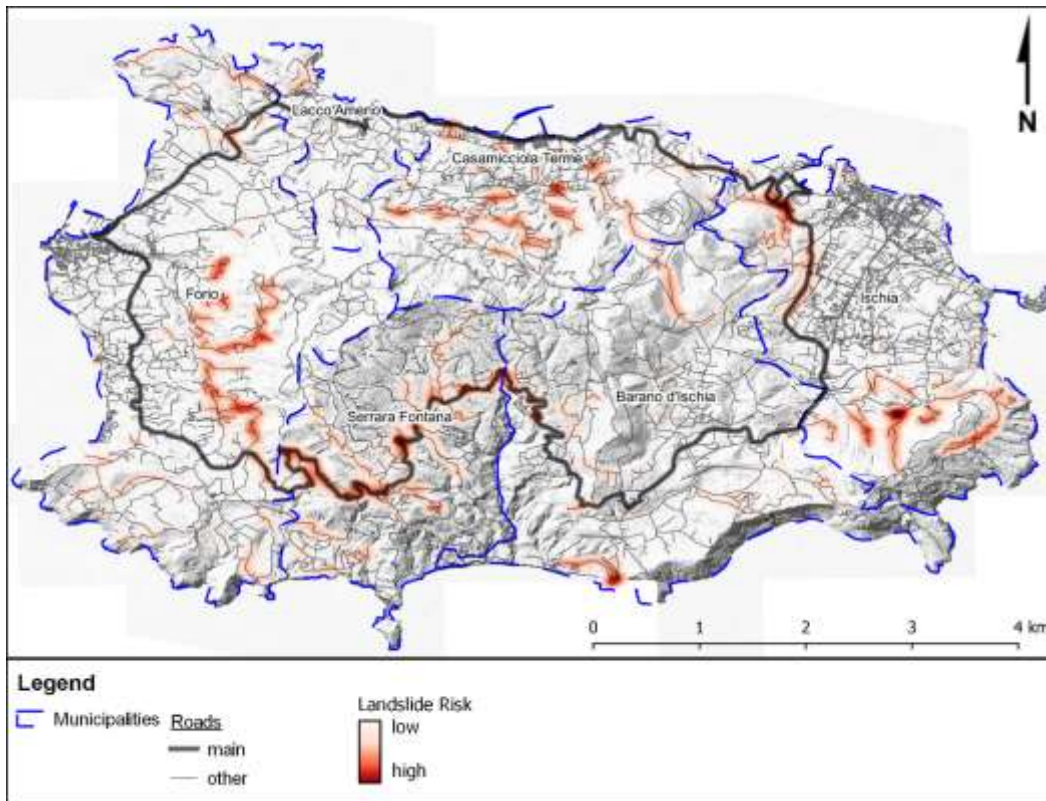


Figura 3-2 Studio GIS della probabilità di rischio di frana per le strade

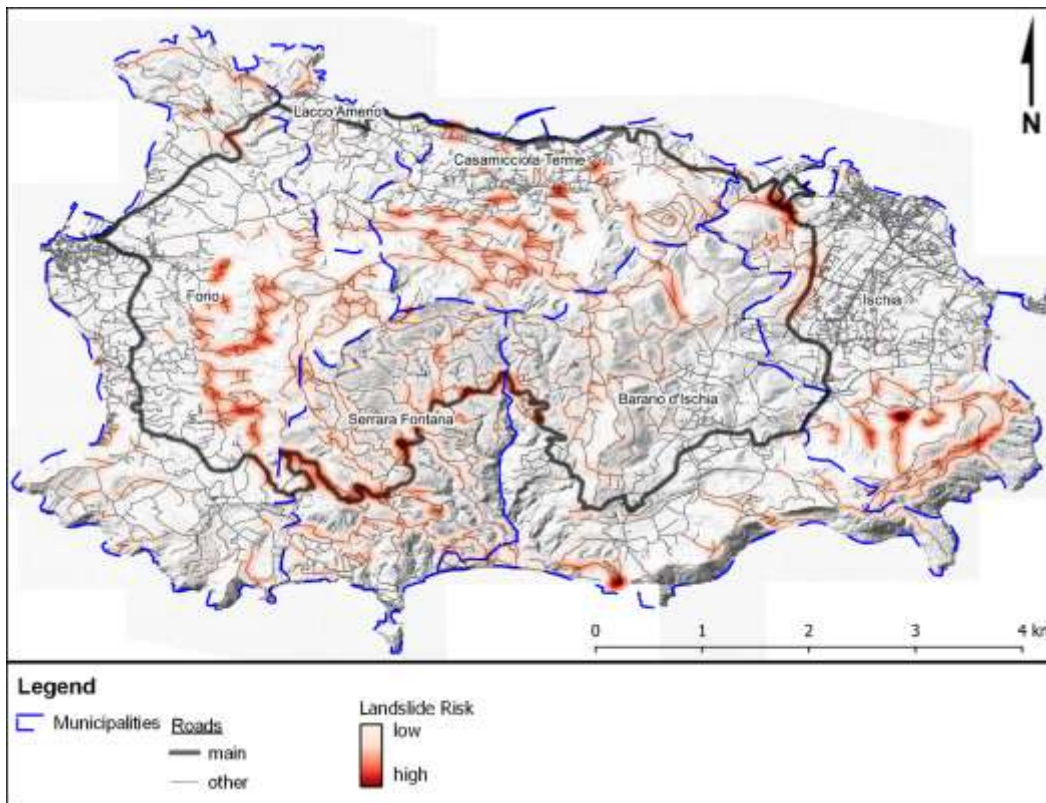


Figura 3-3 Studio GIS della probabilità di rischio di frana per strade e sentieri

La tabella 3.3 mostra i km di strada a rischio di movimenti di massa.

Tabella 3-3 Rete stradale esposta a frane (compresa la caduta di massi) sulla base dei dati GIS

Categoria stradale	Lunghezza totale (km)	In condizioni di elevata esposizione (%)	Sotto esposizione moderata (%)	In condizioni di bassa esposizione (%)	Nessuna esposizione (%)
Maggiore	30.5	15%	8%	11%	66%
Secondario	163.7	8%	10%	8%	73%
Terziario	148.6	8%	12%	9%	71%
Sentieri	217	23%	20%	15%	42%
Totale	559.8	14%	14%	11%	60%

3.1.4 Inondazioni

Le inondazioni sono un evento incontrollabile legato alla topografia e alle precipitazioni e si verificano sia nelle valli (torrenti e fiumi) sia nelle aree pianeggianti (pianure alluvionali ed estuari). Pertanto, ponti, canalizzazioni, argini e le stesse strade possono essere soggetti a inondazioni periodiche che spesso causano danni o addirittura la distruzione delle stesse

Nelle mappe seguenti (Figura 3-4 e Figura 3-5), sono presentate le strade a rischio di inondazione basate sull'analisi GIS. Questa analisi è una selezione generale dei possibili tratti a rischio e non indica il rischio effettivo sul campo, dal momento che alcune attività di adattamento potrebbero essere già in corso. Dopo l'identificazione dei tratti stradali a rischio, si dovrebbe procedere a una mappatura più dettagliata del rischio e a un'assegnazione di punteggi, combinando lo studio a tavolino e le indagini sul campo. La Tabella 3.4 mostra i km di strade nelle aree a rischio di alluvione.

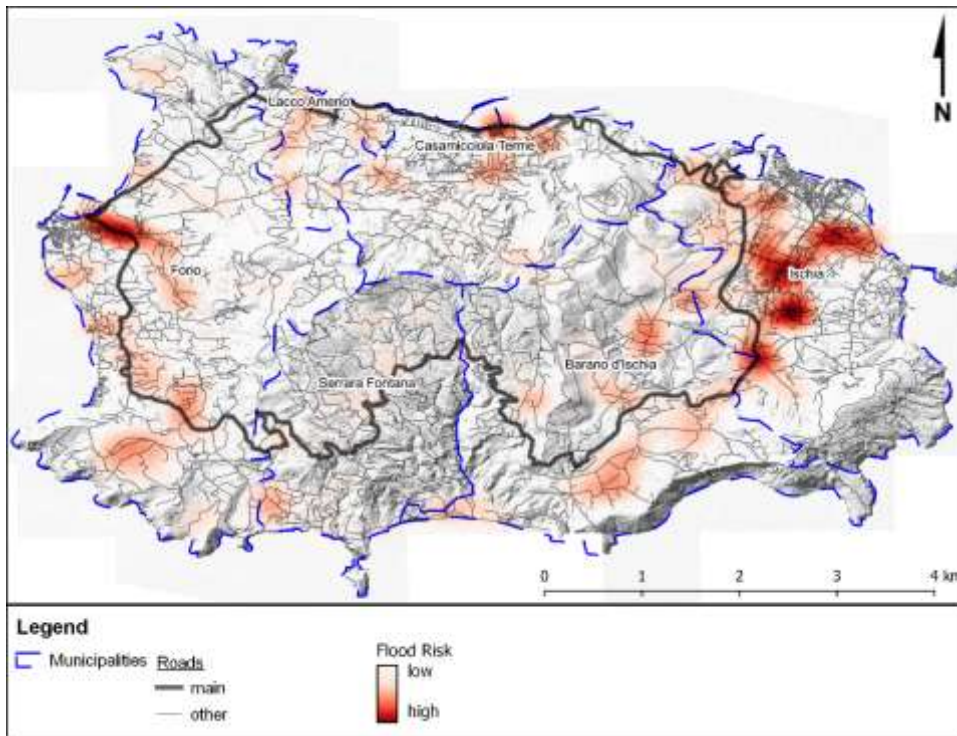


Figura 3-4. Analisi GIS (mappa di densità) del rischio di alluvione per le strade.

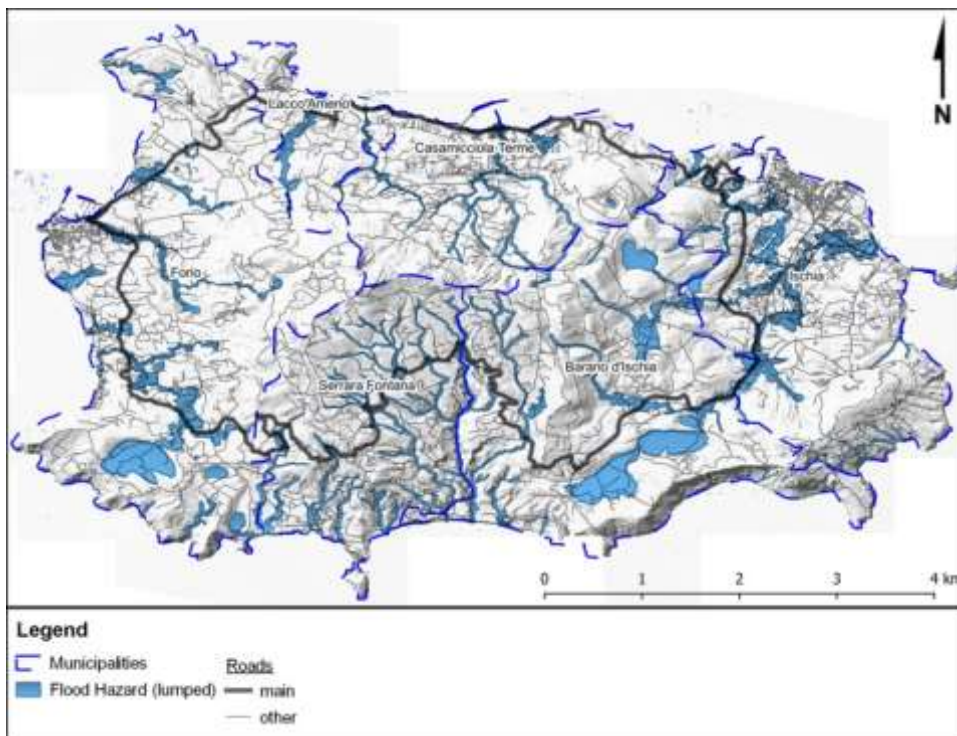


Figura 3-5 Mappa delle alluvioni e rete stradale dell'Isola di Ischia

Tabella 3-4 Rete stradale nelle aree a rischio di alluvione.

Categoria stradale	Lunghezza totale (km)	Totale sotto rischio (%)
--------------------	-----------------------	--------------------------

Maggiore	30.5	16%
Secondario	163.7	16%
Terziario	148.6	14%
Sentiero	217	10%
Totale	559.3	13%

3.1.5 Aumento del livello del mare

Si prevede che il livello del mare intorno a Ischia aumenterà di 0,26 m, secondo le previsioni RCP8.5, entro il 2050. L'innalzamento del livello del mare può aumentare l'impatto dell'azione delle onde sulle strade costiere o sulle strutture costiere sottostanti. È molto difficile riallineare alcune strade di Ischia verso l'entroterra, poiché il terreno disponibile è molto limitato. È possibile costruire argini per isolare le strade dall'effetto dell'innalzamento del livello del mare. Mentre l'impatto sarà probabilmente marginale (la maggior parte delle strade si trova attualmente a 4 o 5 m sopra il livello del mare), in alcune località sarà necessario installare misure di protezione sui pendii laterali e sui terrapieni contro l'azione delle onde. L'innalzamento del livello del mare sta probabilmente interessando solo 1 o 2 tratti stradali dell'isola (le strade per Spiaggia Sant'Angelo e Castello Aragonese), quindi l'impatto non è così significativo, ma può impedire l'accesso ai siti durante gli eventi di acqua alta. Una mappa altimetrica digitale più dettagliata, abbinata a un modello costiero, può fornire informazioni precise sull'eventuale necessità di adattamento dei siti citati.

3.1.6 Incendi boschivi

Ischia ha una vegetazione nella stagione umida, che si secca nella stagione secca. Si prevede che i tempi di questo fenomeno (e forse anche i tipi di vegetazione) cambieranno con il cambiamento climatico³². La combustione della vegetazione ha un effetto deleterio sulla stabilità dei suoli e aumenta la possibilità di frane e colate detritiche³³. La combustione ha anche un impatto sui materiali bituminosi (in particolare negli incendi fuori controllo) e sui componenti in legno dell'infrastruttura stradale, soprattutto gli arredi stradali (parapetti). Sarà importante ridurre al minimo l'impatto degli incendi boschivi.

Le strade che attraversano le aree boschive sono direttamente a rischio di incendi. Durante gli incendi, le strade sono impraticabili a causa del fumo e del fuoco.



Figura 3-6 Tratto di strada che attraversa la foresta

³² <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034666715000433>

³³ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825205001467>

In Figura 3-7 una mappa della copertura del suolo mostra le strade a potenziale rischio di incendi. La mappa mostra gli eventi storici di incendi boschivi del set di dati EFFIS e la copertura del suolo CORINE, che mostra le categorie di copertura del suolo dell'isola, comprese le aree soggette a incendi, cioè i diversi tipi di foresta.

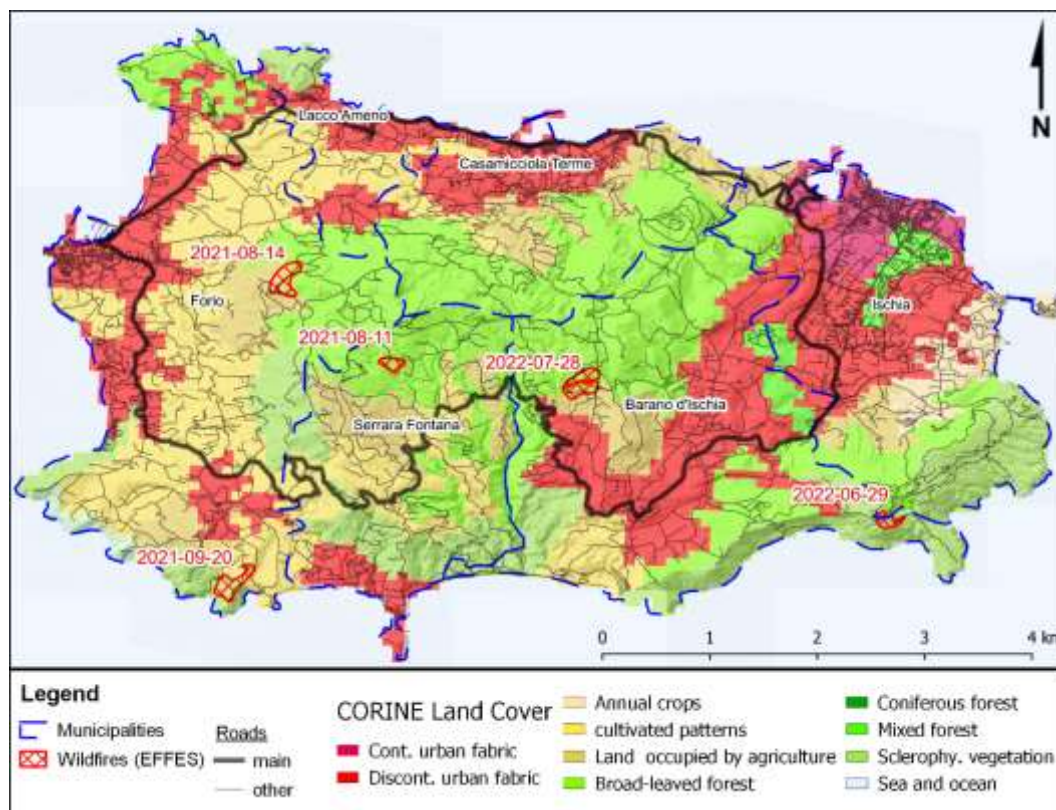


Figura 3-7 Mappa della copertura del suolo che tiene conto degli incendi storici dal set di dati EFFIS e della copertura del suolo CORINE e che mostra le categorie di copertura del suolo dell'isola (compresa l'area soggetta a incendi).³⁴

3.1.7 Aumento della temperatura

L'aumento prolungato delle temperature avrà un impatto diretto su strutture come ponti in cemento e pavimentazioni in asfalto e porterà a cambiamenti ecologici nella vegetazione. Inoltre, influenzeranno l'erosione e l'interramento delle strutture di drenaggio e aumenteranno la ventosità (quantità e velocità).

Una delle proiezioni individuate nella maggior parte dei paesi è l'aumento del numero di giorni consecutivi molto caldi (> 35°X). Questo avrà un effetto sulle strade asfaltate, che rimarranno in condizioni di morbidezza (più inclini a formare solchi), sulle strutture spesse in cemento che non si raffredderanno di notte se non nelle zone d'ombra e che probabilmente svilupperanno forti gradienti di temperatura, e sull'inacidimento dei suoli intorno all'ambiente stradale.

L'aumento delle temperature, in combinazione con la maggiore ventosità descritta di seguito, porterà a un aumento significativo degli incendi boschivi incontrollabili, come si è visto in Italia negli ultimi anni. Anche questo aumenterà il potenziale di erosione e di instabilità della superficie dei pendii, poiché gli effetti di legatura del suolo esercitati dalle radici delle piante andranno in molti casi persi dopo una combustione estrema.

³⁴ <https://effis.jrc.ec.europa.eu/about-effis/technical-background/european-fire-database>

3.1.8 Cambiamenti nei modelli di precipitazione

In molti casi, la riduzione delle precipitazioni potrebbe rivelarsi vantaggiosa per l'infrastruttura stradale, ad esempio diminuendo l'umidità del suolo e aumentando così la resistenza al taglio dei terreni *in situ*. Tuttavia, la riduzione delle precipitazioni creerà anche una serie di problemi. L'eccessiva essiccazione di alcuni terreni porterà alla loro contrazione e alla formazione di fessure. Queste fessure possono essere trasferite alle strutture di pavimentazione sovrastanti, che, se non sono sigillate, permetteranno un rapido ingresso di acqua nel terreno alla prima pioggia.

L'aumento delle precipitazioni potrebbe superare la capacità del sistema di drenaggio, causando allagamenti. Un drenaggio scarso o inadeguato indebolisce anche le strutture stradali, causando una minore capacità portante e gravi difetti della pavimentazione. L'aumento delle precipitazioni potrebbe compromettere la stabilità dei pendii e causare frane.

3.1.9 Aumento della frequenza degli eventi estremi

Nella maggior parte dei paesi, compresa l'Italia, si verificano già eventi estremi periodici e quindi si utilizzano periodi di ritorno delle tempeste nella progettazione di ponti e opere di drenaggio. Si prevede che tali eventi estremi aumenteranno di frequenza e intensità, come descritto nel capitolo 2.2.

Questi eventi in futuro potrebbero causare inondazioni periodiche, aumento dei movimenti massivi (la maggior parte dei quali è indotta dall'acqua), aumento dei cedimenti stradali laddove il drenaggio delle strade è inadeguato, possibili cedimenti di ponti (per lo più legati a blocchi causati da detriti, di solito alberi) nei fiumi in piena, oltre ad altri impatti.

I luoghi in cui le strade e le strutture sono state installate per molti decenni e sono sopravvissute a numerose tempeste in passato, stanno cedendo in caso di eventi estremi attuali. Ciò è in parte dovuto al deterioramento delle strutture con l'età, ma è più comunemente associato alla maggiore intensità del deflusso dell'acqua.

3.1.10 Periodi di siccità più lunghi

L'aumento del numero di eventi estremi, insieme alla possibile diminuzione delle precipitazioni prevista, porterà a periodi più lunghi di assenza di precipitazioni. Questo porterà all'estinzione della vegetazione e a una maggiore suscettibilità all'erosione.

Problemi come la scarsità d'acqua avranno un impatto anche sui processi di costruzione, dove sarà più difficile ottenere acqua sufficiente per la compattazione, la stagionatura degli strati stabilizzati, ecc. Inoltre, l'utilizzo di acque sotterranee, da siti poveri e di qualità ridotta, andrà ad influire sulle costruzioni future.

3.1.11 Altri problemi

Vari altri problemi, come la nebbia, lo smog, l'umidità elevata o bassa e l'aumento delle radiazioni ultraviolette, potrebbero avere effetti diretti o indiretti sulle prestazioni e sul funzionamento dell'infrastruttura di trasporto, ma in genere questi effetti sono minimi e possono essere contrastati man mano che vengono osservati.

3.1.12 Sintesi dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici

Una sintesi dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici e dei rischi relativi sulle infrastrutture stradali è riportata di seguito in Tabella 3.5.

Tabella 3-5 Rischi climatici e impatti sulle infrastrutture stradali

Rischi climatici		Impatti sull'infrastruttura stradale e dei ponti
Cambiamenti nelle precipitazioni:	nelle Eventi	<ul style="list-style-type: none">• Aumento dei rischi di frana

<p>pluviometrici estremi / Aumento/diminuzione delle precipitazioni stagionali e annuali</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rischio di aumento della caduta massi • Allagamento di strade e canali di scolo • Perdita di resistenza dei materiali dello strato, in particolare negli strati di supporto superiori della strada • Danneggiamento di superfici bituminose sottili • Danni ai bordi della pavimentazione • Ammorbidimento del materiale di pavimentazione delle strade non asfaltate • Perdita di forma delle strade non asfaltate • Erosione e indebolimento delle corsie di emergenza non asfaltate • Erosione delle vie di drenaggio (fossi) • Aumento della pressione idrodinamica delle strade • Erosione, frane e smottamenti che chiudono o danneggiano le strade e causano l'interramento delle strutture di drenaggio. • Sovraccarico e intasamento dei sistemi di drenaggio, con conseguente erosione e inondazioni. • Impatto sui livelli di umidità del suolo, con conseguenze sull'integrità strutturale di strade, ponti e gallerie. • Impatto negativo dell'acqua stagnante sul fondo stradale • Rischio di inondazioni da ruscellamento, frane, cedimenti di pendii e danni alle strade in caso di cambiamenti nell'andamento delle precipitazioni. • Intralcio al traffico e sicurezza • Eccessiva umidità nei materiali - ritardi nella costruzione • Riduzione dei periodi di lavoro e aumento dei ritardi nella costruzione • Danni dovuti all'acqua in opere parzialmente completate • Necessità di argini più grandi o misure di controllo delle inondazioni durante la costruzione di drenaggi e ponti. • Costi di manutenzione aggiuntivi
--	--

	<ul style="list-style-type: none"> • Disboscamento e controllo della vegetazione più frequenti. • Ulteriori riparazioni agli scarichi • Necessità di mantenere in buono stato le superfici stradali non asfaltate - manutenzione più frequente • Aumento e miglioramento della manutenzione delle corsie di emergenza non asfaltate • Aumento dei riempimenti delle buche e della sigillatura delle crepe sulle strade asfaltate • Le buche esistenti si approfondiranno rapidamente • Cambiamenti nel tasso di crescita della vegetazione
<p>Diminuzione delle precipitazioni</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Essiccazione e ritiro dei suoli • Più contravvenzioni a causa di strade non asfaltate • Meno acqua per la costruzione e la manutenzione • Cambiamento dei tipi di vegetazione e delle caratteristiche di deflusso
<p>Aumento del livello del mare</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inondazione di strade nelle zone costiere • Erosione del substrato stradale • Esigenze supplementari per l'infrastruttura quando viene utilizzata come strada di emergenza/evacuazione. • Effetti dell'acqua a salinità incrementata sulle componenti delle infrastrutture • Erosione delle falesie adiacenti alle strade
<p>Variazioni di temperatura: Temperatura massima più elevata e numero più elevato di giorni caldi consecutivi (ondate di calore).</p>	<p>Dubbi relativi all'integrità della pavimentazione, come l'ammorbidimento del bitume, deformazioni dovute al traffico, fessurazioni dovute all'ossidazione precoce, migrazione dell'asfalto liquido.</p> <p>Impatto sul paesaggio</p> <p>Gradienti termici differenti nelle diverse sezioni di grandi ponti</p> <p>Eccessiva essiccazione delle superfici stradali non sigillate - maggiore perdita di ghiaia, corrugazione e polvere</p> <p>Maggiori perdite di acqua di costruzione per evaporazione</p> <p>deterioramento più rapido degli aggregati e reazioni di cementazione più rapide</p>

Siccità (giorni consecutivi di siccità)	<p>Suscettibilità agli incendi boschivi che minacciano direttamente l'infrastruttura di trasporto</p> <p>Suscettibilità a smottamenti/flussi di detriti nelle aree disboscate dagli incendi boschivi in caso di piogge</p> <p>Consolidamento/contrazione della sottostruttura con conseguente assestamento (disuguale)</p> <p>Maggiore generazione di smog</p> <p>Mancanza di acqua per i lavori di compattazione</p> <p>Aumento della mortalità delle piante sensibili lungo i tracciati stradali</p> <p>incendi boschivi più frequenti ed intensi</p>
Aumento della velocità del vento	<ul style="list-style-type: none"> • Minaccia alla stabilità degli impalcati dei ponti • Danni alla segnaletica, ai dispositivi di illuminazione, agli arredi e ai supporti stradali • La maggiore velocità del vento provoca una maggiore forza dinamica dell'acqua generata dalle onde sui terrapieni stradali • Alberi trasportati dal vento che bloccano la carreggiata • Maggiore movimento di sabbia nelle aree asciutte (sulla strada e sui canali di scolo)
Giorni di nebbia	<ul style="list-style-type: none"> • Intralcio al traffico e riduzione della sicurezza

3.1.13 Matrice di vulnerabilità

In sintesi, una matrice di vulnerabilità è presentata nella Tabella 3.6 che riassume l'esposizione ai pericoli climatici in un clima mutevole, la sensibilità del settore e la conseguente vulnerabilità climatica. Chiaramente, i principali rischi climatici rilevanti per il settore stradale sono le inondazioni e le frane.

Tabella 3-6 Matrice di vulnerabilità per le strade

Pericolo climatico	Esposizione (da 1 piccolo a 3 grandi cambiamenti)	
Calore	Alto	3
Siccità	Medio	2
incendi boschivi	Medio	2
Precipitazioni temporalesche	Medio	2
Inondazioni fluviali	Medio	2
Frane	Medio	2

Vento	Basso		1		
Inondazioni costiere	Alto		3		
Sensibilità					
Pericolo climatico	Strada principale	Altre strade	Sentieri	Ponti	Media del settore
Calore	1	1	1	1	1
Siccità	1	1	1	1	1
Incendi boschivi	1	1	1	1	1
Precipitazioni temporalesche	1	1	1	1	1
Inondazioni fluviali	3	3	2	1	2
Frane	3	3	2	2	3
Vento	1	1	1	1	1
Inondazioni costiere	1	1	1	1	1
Vulnerabilità					
Pericolo climatico	Strada principale	Altre strade	Sentieri	Ponti	Media del settore
Calore	2	2	2	2	2
Siccità	1	1	1	1	1
Incendi boschivi	1	1	1	1	1
Precipitazioni temporalesche	1	1	1	1	1
Inondazioni fluviali	3	3	2	1	2
Frane	3	3	2	2	3
Vento	1	1	1	1	1
Inondazioni costiere	2	2	2	2	2

3.1.14 Potenziali attività di adattamento

L'adattamento delle infrastrutture di trasporto, atte a renderle resilienti al clima, richiede generalmente considerazioni ingegneristiche convenzionali o soluzioni naturalistiche insieme al giudizio che viene applicato abitualmente da ingegneri stradali esperti.

L'input principale per fornire attività di adattamento appropriate ed economicamente vantaggiose è quello di determinare le aree vulnerabili e quindi identificare e comprendere le cause dei problemi in queste aree. Nessuna tecnica di adattamento può essere implementata in modo efficace e/o economico se non si identifica correttamente il problema fondamentale della resilienza e non se ne comprende a pieno la causa.

Le valutazioni del rischio migliorano la pianificazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici e informano l'attuazione e il monitoraggio delle attività di adeguamento. L'adattamento è solitamente più efficace quando viene avviato in una fase iniziale dello sviluppo del progetto e quando viene intrapreso come processo pianificato piuttosto che in risposta agli impatti subiti. Una migliore conoscenza dei rischi legati ai cambiamenti climatici renderà più facile e meno costosa la risposta ad essi.

La tecnica di adattamento è specifica ed unica per ogni problema e luogo, ma deve basarsi su una comprensione approfondita del problema e delle sue cause. È inoltre necessario identificare e comprendere chiaramente il comportamento della risorsa quando è soggetta a vari problemi, identificando le conseguenze di qualsiasi intervento di adattamento (compreso lo scenario "non fare nulla").

Nella maggior parte dei casi, sarà presente più di una soluzione e dovrà essere scelta quella più appropriata, basata sulla fattibilità tecnica, sulla minimizzazione delle conseguenze, sulla capacità degli investitori locali di realizzarla, sui costi e sull'estetica. Ischia ha standard elevati dal punto di vista estetico per qualsiasi opera di costruzione, essendo una destinazione turistica molto popolare.

Il processo di identificazione delle aree vulnerabili viene normalmente effettuato durante la valutazione del rischio, che può essere eseguita in diversi modi.

Una volta identificate le aree vulnerabili, è necessario valutare ciascuna di esse e identificare i problemi e le cause prima di poter progettare attività di adattamento dettagliate. In alcuni casi, ciò può richiedere il contributo di specialisti in determinati settori, ad esempio geotecnica, idrologia, ingegneria strutturale, rivegetazione, ecc.

Non si sottolineerà mai abbastanza che le soluzioni progettuali finali di adattamento per ogni area vulnerabile richiederanno indagini e ispezioni dettagliate e saranno uniche per il sito e le sue relative condizioni; tuttavia, una stima preliminare delle implicazioni (tempo e costi) può essere ottenuta preventivamente, sulla base dei costi unitari tipici delle varie operazioni e delle risorse prevalenti al momento della valutazione.

È importante anche guardare ai precedenti tentativi di affrontare i pericoli. Come hanno resistito al pericolo le strutture costruite in precedenza, quali soluzioni hanno fallito e quali hanno avuto successo?

Non c'è dubbio che Ischia sarà colpita dai cambiamenti climatici in futuro e sarà necessario introdurre adattamenti per aumentare la resilienza delle infrastrutture di trasporto a questi cambiamenti, al fine di gestire alcune delle conseguenze particolarmente gravi.

Va inoltre notato che ad Ischia è strettamente regolamentato il tipo di strutture adatte al paesaggio e allo scenario unico dell'isola, soprattutto a causa dell'industria del turismo.

Nella seguente Tabella 3.7 è riportata una sintesi dei pericoli climatici tipici e delle opzioni di adattamento ingegneristico. Altre attività di adattamento specifiche per Ischia sono presentate nel capitolo 3.1.16.

Un modo per raccogliere dati al fine di pianificare gli interventi di manutenzione è quello di utilizzare un modello di intelligenza artificiale (AI) per il rilevamento automatico dei difetti della pavimentazione, un modo rapido e affidabile per individuare i punti critici della rete stradale.



Figura 3-8 Analisi con intelligenza artificiale dei difetti della pavimentazione

Tabella 3-7 Rischi climatici e relative possibili attività di adattamento.

Pericolo climatico	Possibili attività di adattamento correlate
<p>Cambiamenti nelle precipitazioni: Eventi pluviometrici estremi / Aumento delle precipitazioni stagionali e annuali che causano inondazioni</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Stabilizzazione dello strato di base ● Pavimentazione di superfici non asfaltate (doppia bitumatura per le strade a basso volume) ● Innalzamento della quota stradale (almeno 0,5 m sopra il livello massimo di inondazione) ● Aumento della capacità di compattazione per percentuali di umidità inferiori ● Costruzione di protezioni antierosione ● Costruzione di reti in acciaio contro la caduta di massi ● Costruzione di gabbioni ● Costruzione di strade permeabili ● Costruzione di deflettori di detriti ● Realizzazione di protezioni per le scogliere ● Realizzazione di sottodreni nelle aree di accumulo ● Costruzione di controlli di scorrimento ● Costruzione di scarichi intercettatori ● Piantumazione di erba in zolla ● Miglioramento del drenaggio laterale (fossi) ● Regolazione (spianamento e sagomatura) dei pendii dei terrapieni ● Costruzione di muri di contenimento nei tratti soggetti a smottamenti del terreno ● Aumento delle dimensioni e del numero di strutture di drenaggio ● Innalzamento dell'altezza dell'argine per evitare l'inondazione ● Riallineamento dei corsi d'acqua naturali (non sempre riuscito)

	<ul style="list-style-type: none"> • Aggiornamento della progettazione dei sistemi di drenaggio • Studi sulla stabilità dei pendii nel tentativo di ridurre al minimo i movimenti di massa e le colate di fango in seguito all'aumento delle precipitazioni. • Misure per migliorare la stabilità dei pendii e prevenire movimenti di massa e caduta massi
Aumento del livello del mare	<ul style="list-style-type: none"> • Costruzione di muri di protezione • Innalzamento del livello a stradale (almeno 0,5 m sopra il livello massimo di inondazione) • Costruzione di protezioni antierosione • Stabilizzazione dello strato di base • Trasferimento della strada
Aumento temperatura massima e numero maggiore di giorni caldi consecutivi (ondate di calore)	<ul style="list-style-type: none"> • Uso di materiali di pavimentazione resistenti al calore (utilizzo di bitume rigido) • Miglioramento delle specifiche dei materiali della pavimentazione • Valutare l'uso del bitume modificato con polimeri • Tecnologie di costruzione avanzate
incendi boschivi	<ul style="list-style-type: none"> • Controllo della vegetazione
Siccità (Giorni secchi consecutivi)	<ul style="list-style-type: none"> • La polvere può essere evitata in modo permanente attraverso la pavimentazione del manto stradale (doppia bitumatura per le strade a basso volume).
Nebbia	<ul style="list-style-type: none"> • Installazione di pali riflettenti sul bordo della strada

3.1.15 Risultati della missione sul campo

I consulenti hanno effettuato un'escursione sul campo nell'ottobre 2023 per stabilire la situazione attuale delle strade. L'obiettivo era quello di chiarire, insieme alle parti interessate, che tipo di adattamenti ingegneristici sono stati fatti, se sono stati funzionali e duraturi, quali siano i problemi e le possibili soluzioni. Nelle figure seguenti vengono presentati alcuni dei risultati.



Reti in acciaio contro le frane con sotto un biotessuto (cocco o canapa) che permette la crescita di vegetazione.



Alto muro di contenimento in cemento con ancoraggi contro le frane.



Reti in acciaio contro le frane. La struttura è al limite della sua capacità e deve essere ricostruita o eventualmente sostituita da un muro.



La struttura più tipica di Ischia contro i movimenti di massa sono i muri in pietra. Sia con materiale legante che non.



Grave cedimento di un muro di cemento su un argine contro l'erosione.



Reti d'acciaio costruite per proteggere dalle cadute di roccia



Riduzione della capacità (larghezza) della strada principale a causa di una frana	L'alluvione del 2022, dovuta a un drenaggio inadeguato, ha bloccato le strade e danneggiato altre strutture.
---	--

Come spiegato in precedenza, dal lungo elenco di opzioni di adattamento ingegneristico di cui sopra, è meglio utilizzare solo quelle adatte all'isola di Ischia, in termini di funzionalità, impatto ambientale e sociale previsto, durata, estetica e risorse e capacità di progettazione e costruzione.

3.1.16 Attività di adattamento consigliate

Non è stato possibile effettuare una valutazione dettagliata del rischio, con un sistema di punteggio, a causa dei limiti delle risorse. Tuttavia, alcuni degli obiettivi di adattamento identificati dal cliente sono presentati nelle tabelle seguenti. L'elenco si basa sull'esperienza degli stakeholder e sulla conoscenza degli eventi storici e delle loro cause. Questo può essere considerato un punto di partenza per il lavoro finale di identificazione e prioritizzazione dei progetti a livello di network.

Tabella 3-8 Schema di progetto 1: strada SP270 contro le frane



Posizione: Via Dottore Tommaso Morgera (SP270, 40.75069102092889, 13.898638733077789)		Foto	
			
Adattamento	Le reti in acciaio devono essere sostituite; è possibile sostituirle parzialmente con muri di contenimento. Lunghezza 150 m, altezza 15 m. In caso di scelta del muro, saranno necessarie strutture idrauliche (sistema di drenaggio).	Criticità	Molto elevato - strada principale ad alto traffico, accesso all'ospedale e all'eliporto. Non ci sono percorsi alternativi.
Eventi storici	Frane e cadute di massi nel 2020	Stima dei costi	Rete / parete in acciaio 1,0M€

Tabella 3-9 Schema di progetto stradale 2: Strada SP270 contro le frane





Posizione: Via Litoranea (SP270, 40.75167852987871, 13.896214016129749)		Foto	
			
Adattamento	Le reti in acciaio devono essere sostituite; è possibile sostituirle parzialmente con muri di contenimento. Lunghezza 250 m, altezza 10-15 m. Se si sceglie il muro, saranno necessarie strutture idrauliche (sistema di drenaggio).	Criticità	Alta - strada principale ad alto traffico, accesso all'ospedale e all'eliporto. Esiste un percorso alternativo.
Eventi storici	Sconosciuto	Stima dei costi	Rete / parete in acciaio 1,5M€

Tabella 3-10 Schema di progetto 3: Strada "Via cava" contro le inondazioni

Posizione: Via Cava (40.75062520283365, 13.894145471712399)		Foto	
			
Adattamento	Potenziamento del drenaggio,	Criticità	Alto - accesso secondario all'ospedale

	trasformando le fognature miste in fognature separate. Aumento della capacità di drenaggio delle acque meteoriche. Lunghezza di almeno 200 m.		e alla scuola. Esiste un percorso alternativo.
Eventi storici	Alluvione 2022	Stima dei costi	1.0 M€

Tabella 3-11 Schema di progetto 4: Strada "via Corbaro" contro le frane

Posizione: Via Corbaro/No name (40.72663771679728, 13.877876859886504)		Foto	
			
Adattamento	Stabilità dei pendii. Utilizzo di biotessuti e reti d'acciaio in vari punti.	Criticità	Moderato - Strada a basso volume, ma senza percorsi alternativi e accesso alle proprietà.
Eventi storici	Frane, cadute di massi	Stima dei costi	0.5 M€

Oltre agli schemi di progetti stradali identificati durante la missione sul campo e le discussioni con gli stakeholder locali, i Comuni hanno fornito un elenco più completo di progetti stradali candidati. L'elenco contiene vari progetti di adattamento contro le frane e le inondazioni, con un budget complessivo stimato in 23 milioni di euro. Il team incaricato non ha potuto valutare tutte queste località e la loro criticità; pertanto, si raccomanda di studiare ulteriormente gli schemi forniti.

3.2 Edifici

3.2.1 Patrimonio edilizio di Ischia

Sull'isola vivono circa 67.000-68.000 persone (fonti diverse forniscono numeri diversi) tutto l'anno. In estate il numero si quadruplica con l'inizio della stagione turistica.

L'aumento della popolazione ha fatto crescere il numero degli edifici. Secondo diverse fonti³⁵, molti edifici sono stati costruiti in deroga ai regolamenti edilizi locali e senza permessi di costruzione. Questi tipi di edifici sono spesso costruiti con materiali scadenti e/o su terreni fragili e, pertanto, sono particolarmente vulnerabili ai rischi geofisici. In considerazione di ciò, gli edifici vulnerabili possono anche rappresentare un rischio di detriti edili in caso di possibili eventi alluvionali. I detriti sparsi possono danneggiare altri edifici nelle vicinanze dell'alluvione.

I dati del gruppo ambientalista di Legambiente mostrano che dal 1985 sull'isola densamente popolata sono state presentate circa 28.000 domande di partecipazione a sanatorie per case costruite illegalmente, che rappresentano circa la metà di tutti gli edifici di Ischia. (Reuters /CTV news). Si è parlato del fatto che l'eccessiva edificazione ha indebolito anche il territorio.

Come risultato dell'abusivismo edilizio, è probabile che sia presente una grande variabilità nei metodi di costruzione e nella qualità delle costruzioni (scarsa qualità delle costruzioni), il che comporta delle sfide per la definizione e l'attuazione delle attività di adattamento ai cambiamenti climatici.

La maggior parte del patrimonio edilizio dell'isola è costituito da edifici in pietra tipici della regione mediterranea. L'isola di Ischia ha un'alta percentuale di edifici in muratura, in 5 dei 6 comuni gli edifici in muratura rappresentano più del 50% delle strutture. Il comune di Ischia ha la più alta percentuale di edifici in cemento armato tra i comuni.

Il baraccato è uno stile di costruzione unico dell'isola (una parte del vecchio patrimonio edilizio). Consiste in una parete in muratura rinforzata da un'intelaiatura in legno. Le attività di adattamento e gli investimenti devono essere considerati anche in funzione della conservazione del patrimonio culturale degli edifici protetti.

L'età del patrimonio edilizio varia in modo significativo tra le diverse aree, ma può essere considerata relativamente nuova. Solo una piccola percentuale del patrimonio edilizio ha più di 100 anni. Ad esempio, nei comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno, il 35-47% degli edifici è stato costruito tra la prima e la Seconda guerra mondiale (1919-1945). Il comune di Barano d'Ischia ha il 51% e Serrara Fontana il 61% del patrimonio edilizio costruito dopo il 1982.

Le infrastrutture critiche dell'isola sono costituite da un ospedale, porti, sedi dei vigili del fuoco e un porto per elicotteri. L'ubicazione di queste infrastrutture critiche è riportata nella figura 3-9.

³⁵ <https://www.euronews.com/green/2022/11/28/deadly-ischia-landslide-was-caused-by-climate-change-and-illegal-construction-experts-say>

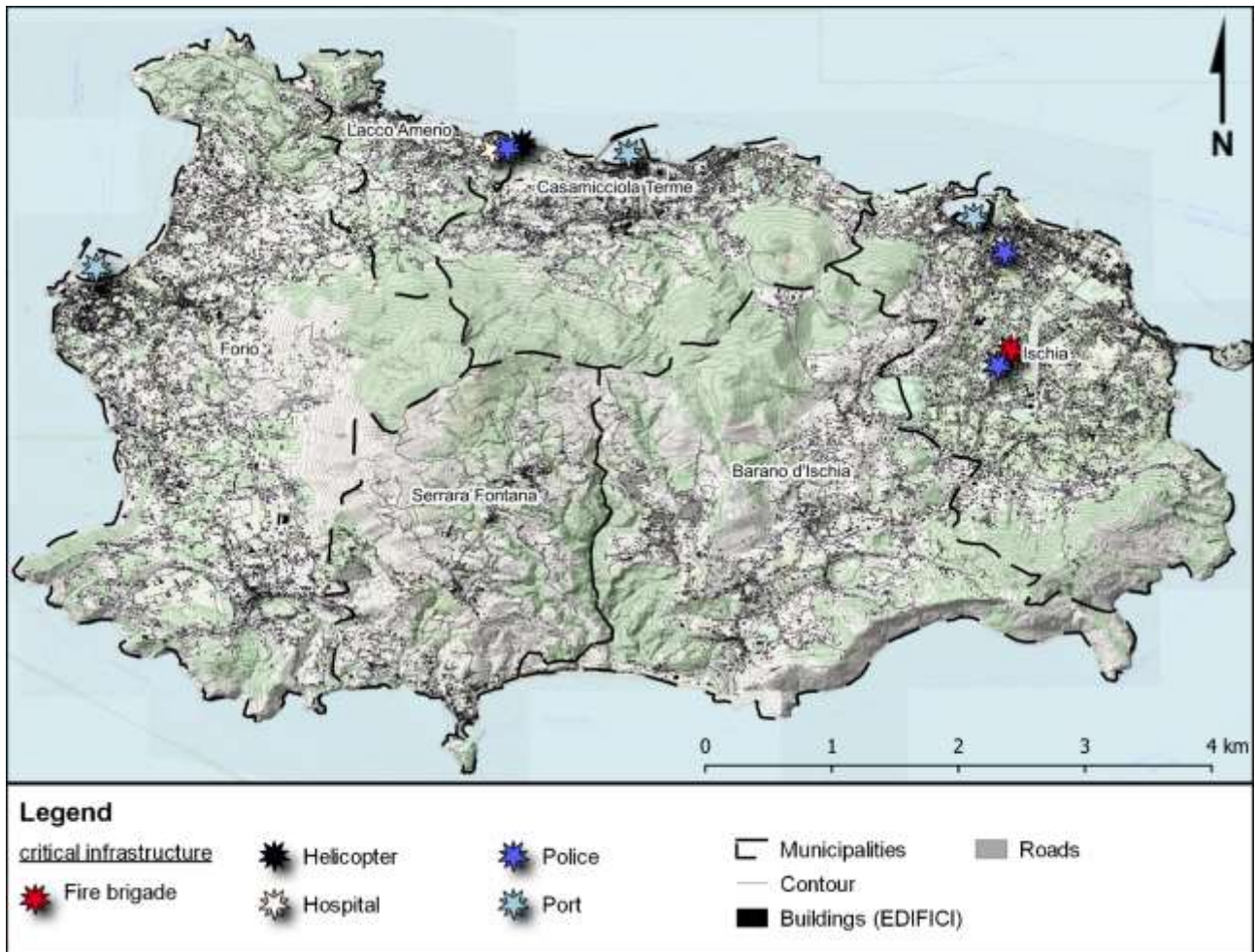


Figura 3-9: La mappa di Ischia. Il patrimonio edilizio dell'isola è rappresentato da punti neri sulla mappa. Anche le infrastrutture critiche sono indicate sulla mappa come simboli.

3.2.2 Aumento delle temperature

L'aumento delle temperature ha diverse conseguenze sugli edifici e sugli occupanti. Le ondate di calore e l'aumento delle temperature in generale porteranno a temperature interne più elevate, che possono avere un impatto sulla salute umana e sulle prestazioni lavorative. Inoltre, i materiali delle facciate possono essere danneggiati dall'espansione termica, con conseguente deterioramento prematuro dei materiali. A Ischia, si prevede che il numero di giorni estivi, i gradi giorno di raffreddamento e i periodi di caldo aumenteranno significativamente con l'aumento della temperatura media in tutti gli scenari RCP.

Si prevede un aumento significativo del numero di notti tropicali. Ciò porterà a una situazione in cui il raffreddamento tramite ventilazione naturale sarà inefficace, poiché la temperatura non scenderà sotto i 20°C durante i tre mesi estivi. L'aumento prolungato delle temperature potrebbe richiedere l'installazione di sistemi di raffreddamento aggiuntivi. Le attività di adattamento passivo, come i frangisole, possono essere utilizzate per fornire protezione dall'abbagliamento e ombra al fine di ridurre il carico di riscaldamento interno, ma è molto probabile che siano necessari anche sistemi di raffreddamento e ventilazione attivi (aria condizionata) per fornire un raffreddamento immediato nei periodi di caldo estremo e nelle notti tropicali per mantenere condizioni interne tollerabili.

Nella progettazione di nuovi edifici, si raccomanda di considerare la prevenzione del carico termico interno e l'efficienza energetica delle strutture per ridurre al minimo il consumo di energia necessaria per il raffreddamento, ad esempio attraverso l'isolamento termico degli edifici e i metodi di raffreddamento passivo. I sistemi di raffrescamento attivo dovrebbero essere considerati anche nella progettazione delle prestazioni igrotermiche delle strutture di copertura (nuovi edifici e procedure di ammodernamento). Il raffreddamento può indurre la condensazione dell'umidità nelle strutture, con conseguenti danni legati all'umidità.

3.2.3 Cambiamenti nei modelli di precipitazione

Il numero di giorni consecutivi in cui le precipitazioni giornaliere sono inferiori a 1 mm all'anno dovrebbe aumentare sia con RCP4.5 che con RCP8.5, mentre con RCP2.6 non dovrebbe cambiare rispetto al valore di riferimento. La somma delle precipitazioni giornaliere medie annue nei giorni di pioggia è prevista in aumento con RCP2.6 e in diminuzione sia con RCP4.5 che con RCP8.5. Nel complesso, le precipitazioni medie diminuiranno leggermente, ma non si ritiene che i cambiamenti previsti abbiano effetti significativi per il settore edilizio.

In molti casi, la riduzione delle precipitazioni si rivelerà probabilmente benefica per gli edifici e le loro fondamenta, in quanto verrà a diminuire lo stress da umidità per le strutture di copertura. Tuttavia, la riduzione delle precipitazioni creerà anche diversi problemi. L'eccessiva essiccazione induce la contrazione e la fessurazione del terreno che può portare a movimenti verticali del substrato e a cedimenti che danneggiano le fondazioni.

D'altra parte, l'aumento delle precipitazioni insieme alla pioggia battente porterà a un più rapido deterioramento dei materiali e a danni da umidità alla copertura dell'edificio. Lo stress dovuto all'aumento delle precipitazioni e delle piogge ventose sulle strutture esterne degli edifici nuovi o ristrutturati deve essere preso in considerazione al momento della progettazione, considerando le prestazioni igrotermiche delle strutture stesse (tenuta all'acqua della parte esterna dell'edificio e capacità delle strutture di asciugarsi se bagnate). Soprattutto negli edifici più vecchi, nelle strutture esterne possono essere stati utilizzati materiali vulnerabili ai danni dell'umidità.

3.2.4 Aumento della frequenza degli eventi estremi

A Ischia, sia i giorni di precipitazioni molto intense che le precipitazioni massime di 1 giorno dovrebbero aumentare in una certa misura in tutti gli scenari valutati.

Le precipitazioni improvvise e abbondanti possono superare la capacità dei sistemi di drenaggio (sia quelli comuni che quelli sotterranei delle abitazioni) causando allagamenti locali e compromettendo la stabilità dei pendii con conseguenti frane, che possono essere dannose per gli edifici. Le inondazioni possono anche danneggiare le strutture del seminterrato e del livello inferiore, causando crolli e danni dovuti all'umidità. Le forti piogge possono anche causare danni alle strutture di copertura quando il drenaggio del tetto non è in grado di gestire le precipitazioni eccessive, causando perdite.

Le attività di adattamento raccomandate dipendono per lo più da procedure su scala più ampia per prevenire inondazioni e frane (ad esempio, argini e strutture di drenaggio più grandi che interessano intere aree). Per gli edifici separati, le attività principali da considerare sono il rafforzamento delle fondamenta e delle strutture portanti nelle aree ad alto rischio e la protezione delle strutture contro i danni da umidità dovuti alle inondazioni (materiali resistenti all'umidità, sistemi di drenaggio/barriera specifici per il sito o impermeabilizzazione per impedire all'acqua di entrare negli edifici).

Si raccomanda che le nuove attività di adattamento, ad esempio i sistemi di drenaggio specifici per gli edifici (drenaggio delle strutture del tetto e drenaggio del sito), siano progettati in base al modello di precipitazione massima a 1 giorno della curva IDF (RCP2.6), tenendo conto anche delle aree soggette a inondazioni. Le raccomandazioni specifiche per il sito devono essere distintamente separatamente per ogni edificio o sito.

3.2.5 Periodi di siccità più lunghi

L'aumento del numero di eventi estremi, insieme alla possibile diminuzione prevista delle precipitazioni medie, porterà a periodi più lunghi di assenza di precipitazioni. Questo porterà all'estinzione della vegetazione e a una maggiore suscettibilità all'erosione.

I periodi di siccità hanno effetti sul suolo e possono provocare incendi e inondazioni o frane se la capacità del suolo o della vegetazione di trattenere l'acqua viene ridotta. Le attività di adattamento per prevenire questi fenomeni sono descritte più avanti nella parte del rapporto dedicata al settore edilizio.

Il rischio di siccità nell'edilizia è legato ai possibili restringimenti del suolo, ai movimenti verticali del suolo e ai cedimenti indotti dalla siccità che influenzano le condizioni delle fondamenta e di altre strutture portanti nelle parti inferiori degli edifici. La prevenzione dei danni prevede fondamenta profonde o semi-profonde per gli edifici di nuova generazione, insieme ad indagini e rafforzamento strutturale del patrimonio edilizio attuale. Poiché circa il 50% del patrimonio edilizio di Ischia è costruito senza un'adeguata concessione edilizia, è probabile che le fondamenta degli edifici presentino variazioni significative nella qualità e nei metodi di costruzione. Pertanto, si raccomanda di prendere in considerazione azioni normative da parte delle autorità per controllare e riparare le fondamenta, se necessario, dando priorità alle aree a rischio di inondazioni e frane.

3.2.6 Aumento del vento

I rischi per gli edifici legati al vento sono considerati bassi a Ischia, poiché non ci sono edifici particolarmente alti. Le raccomandazioni per le attività di adattamento includono la perizia degli edifici o delle strutture più alte rispetto ai carichi del vento e l'eventuale rafforzamento delle strutture.

3.2.7 Innalzamento del livello del mare

Si prevede che il livello del mare intorno a Ischia aumenterà di 0,26 m, secondo le previsioni RCP8.5, entro il 2050. Sull'isola di Ischia ci sono alcuni edifici costruiti vicino alla riva del mare. L'innalzamento del livello del mare potrebbe aumentare l'impatto dell'azione delle onde su questi edifici. Le raccomandazioni per le attività di adattamento costiero per Ischia sono presentate nella sezione 3.4.

Per quanto riguarda gli edifici, in alcuni casi può essere importante valutare la riparabilità o l'agibilità di alcuni edifici. Nelle aree a rischio si raccomanda di prendere in considerazione azioni di regolamentazione da parte delle autorità per indagare e riparare/rafforzare le fondamenta, se necessario, dando priorità alle aree a rischio in riva al mare in base al modello RCP8.5. Anche i piani seminterrati sono soggetti all'innalzamento del livello dell'acqua. Negli edifici interessati dall'innalzamento del livello delle acque sotterranee è necessario considerare l'impermeabilizzazione degli scantinati e l'impiego di materiali resistenti all'umidità.

3.2.8 Qualità delle acque sotterranee e variazioni di profondità

Le acque sotterranee hanno un impatto sulla resistenza dei materiali edili, sia nelle fondamenta e nei seminterrati sia nei lavori di sterro circostanti (scavi e riempimenti). Si prevede un abbassamento dei livelli delle acque sotterranee, che si tradurrà in un miglioramento generale delle condizioni geotecniche. Inoltre, con l'innalzamento del livello del mare, i livelli delle acque sotterranee nelle aree costiere aumenteranno, riducendo la resistenza dei materiali di fondazione e causando danni da umidità alle strutture del piano terra o del seminterrato.

Con l'innalzamento del livello del mare, anche la salinità delle acque sotterranee nelle zone costiere aumenterà, portando con sé problemi sia in termini di corrosione delle armature in calcestruzzo sia di alcuni aggregati. Inoltre, le sorgenti idrotermali e i grandi dislivelli dell'isola influenzano il livello delle acque sotterranee.

I possibili effetti di questi cambiamenti e le riparazioni necessarie devono essere valutati per ogni singolo edificio. Le attività di adattamento e le esigenze di valutazione sono descritte nei paragrafi 3.3.5 e 3.3.7.

3.2.9 Frane (smottamenti, caduta di detriti e rocce)

Il rischio di movimenti del suolo aumenta con l'aumentare della frequenza di eventi estremi di pioggia e siccità. Di seguito, nella Tabella 3.12 viene riportato un calcolo del volume di edifici esposti a frane. Questa analisi è uno screening molto generale delle possibili sezioni di rischio e non indica ancora il rischio effettivo sul campo, poiché alcune opzioni di adattamento potrebbero essere già in vigore. Dopo l'identificazione di singoli edifici/aree di edifici a rischio, si può procedere a una mappatura più dettagliata del rischio definendo

dei punteggi e delle priorità, combinando lo studio a tavolino e le indagini sul campo, sia per le frane sia le cadute di massi.

Le raccomandazioni per le attività di adattamento degli edifici coincidono con quelle del settore stradale. Strutture protettive, ad esempio muri di contenimento in cemento e reti in acciaio, sono state installate in alcune località, ma le condizioni delle strutture attuali non sono del tutto note e si raccomanda di valutarne la copertura in relazione alle mappe di rischio, dando priorità alle aree urbane più dense. I rischi di frana sono presenti in tutti i comuni di Ischia. Tenendo conto dei dati storici sulle frane, il comune di Casamicciola Terme dovrebbe essere prioritario nelle attività.

Tabella 3-12 Percentuale di edifici esposti a frane (compresa la caduta di massi) in base ai dati GIS

esposizione alla frana			
Sotto alta esposizione	Sotto media esposizione	Sotto bassa esposizione	no esposizione
7%	12%	12%	69%

Un modello delle aree a rischio di frana è presentato nella *Figura 3-10*. In figura sono indicate anche le posizioni degli edifici. Gli edifici danneggiati dall'ultimo terremoto e dalla frana sono visibili nella *Figura 3-11*.

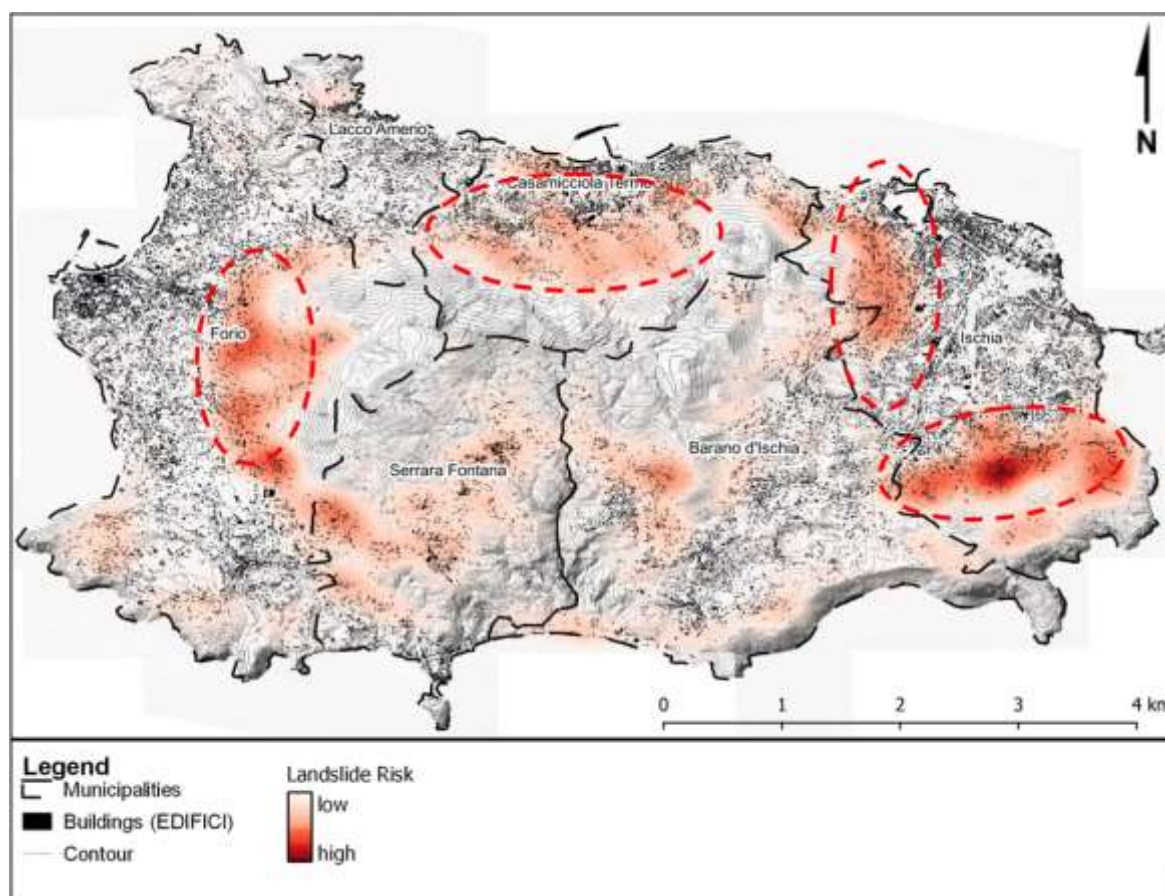


Figura 3-10: In questa mappa sono rappresentate quattro aree a maggior rischio che dovrebbero essere prioritarie. I dati storici e la densità degli edifici sono stati presi in considerazione nella valutazione del rischio.

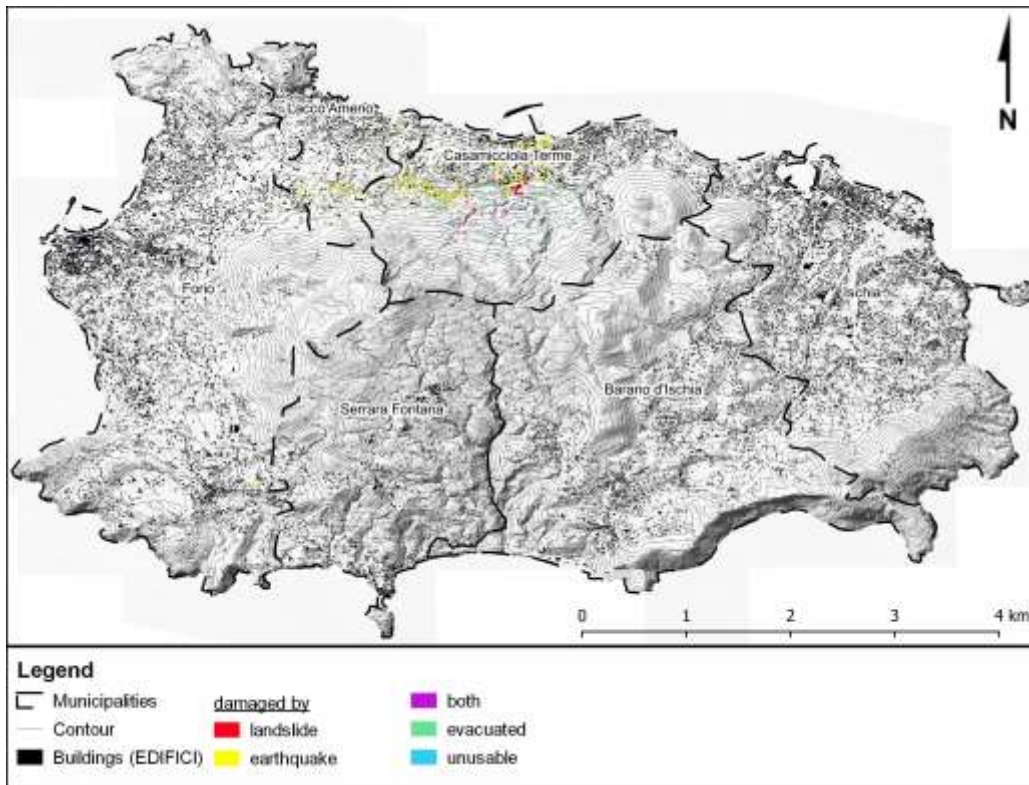


Figura 3-11: Edifici danneggiati dall'ultimo terremoto e dalla frana.

3.2.10 Inondazioni

L'11% degli edifici di Ischia è esposto alle inondazioni (3276 su 30320). Nella mappa seguente (Figura 3.14), sono presentati gli edifici a rischio di alluvione basati sull'analisi GIS. Questi rischi sono presenti soprattutto nelle aree urbane dei comuni di Ischia e Barano d'Ischia.

Le raccomandazioni per le attività di adattamento coincidono con quelle del settore stradale. Le strutture protettive, ad esempio gli argini, sono state installate in alcune località, ma le condizioni delle strutture attuali non sono del tutto note e, quindi, si raccomanda di valutarne la copertura in relazione alle mappe di rischio che danno priorità alle aree urbane più densamente popolate. Questo aspetto deve essere valutato in un'analisi del rischio più specifica, ma secondo una valutazione preliminare, solo il comune di Serrara Fontana sembra essere un'area a basso rischio dal punto di vista del settore edilizio.

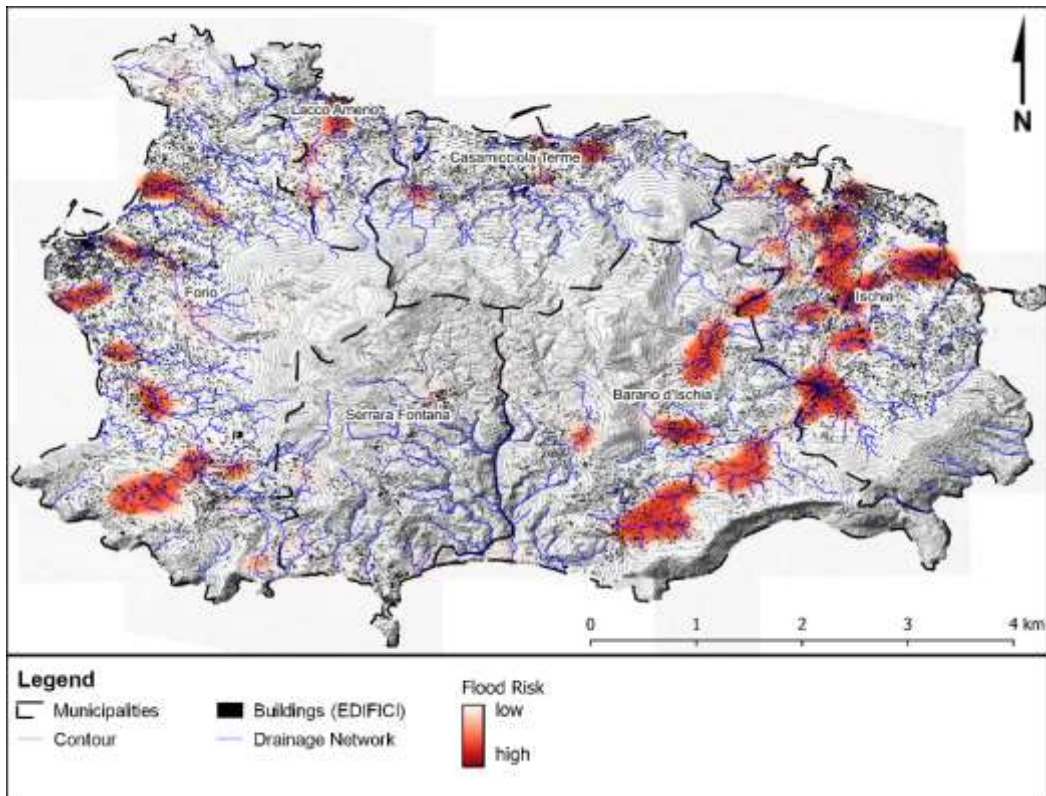


Figura 3-12: Studio GIS del rischio di alluvione e dell'ubicazione degli edifici.

3.2.11 Incendi boschivi

Sarà importante ridurre al minimo gli incendi boschivi poiché si ha il rischio che si propaghino vicino alle aree popolate, causando anche incendi di edifici anche se le aree densamente popolate non hanno molte foreste o altra vegetazione infiammabile. Alcune aree edificate potrebbero essere impraticabili a causa del fumo e del fuoco durante un evento di incendio boschivo.

L'aumento delle temperature, in combinazione con la maggiore ventosità descritta di seguito, può portare a un aumento significativo degli incendi boschivi incontrollabili, come si è visto in Italia negli ultimi anni. Anche questo aumenterà il potenziale di erosione e di instabilità della superficie dei pendii, poiché gli effetti di coesione del suolo, dovuti alle radici delle piante, in molti casi andranno perduti dopo una combustione estrema.

Il controllo della vegetazione potrebbe essere un modo efficace per proteggere le aree urbane in zone particolarmente pericolose. Questo aspetto deve essere valutato in un'analisi del rischio più specifica, ma secondo una valutazione preliminare si raccomanda di prendere in considerazione i comuni di Ischia, Barano d'Ischia e Forio.

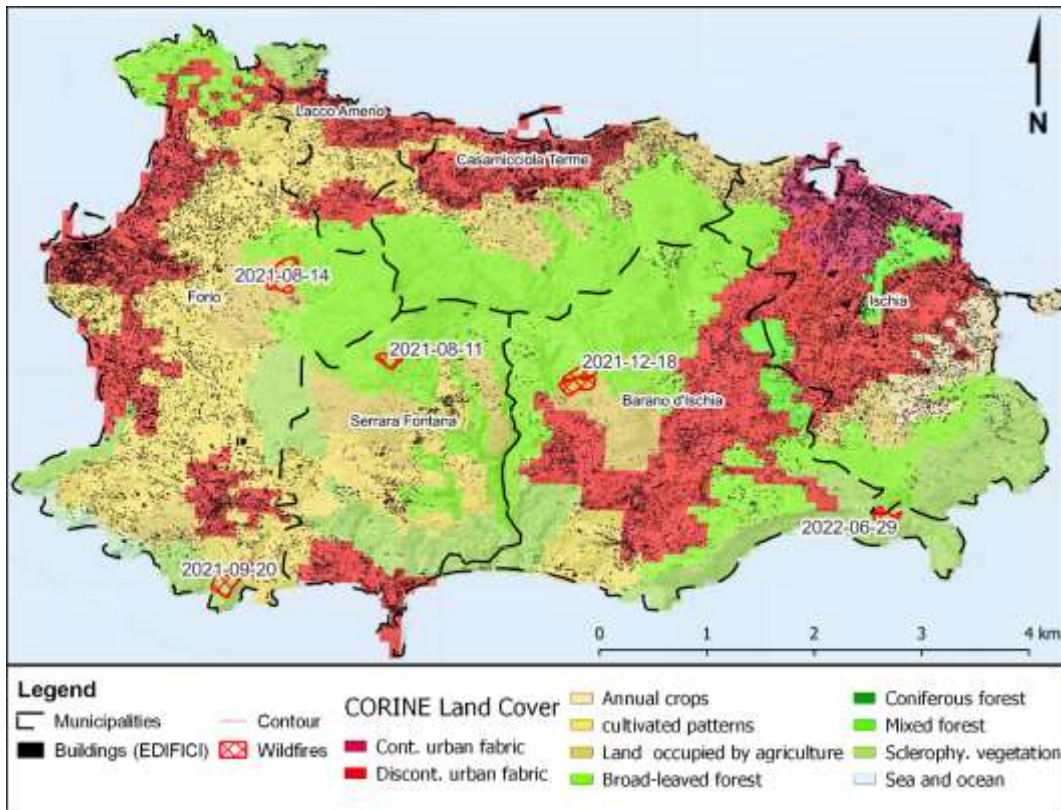


Figura 3-13: Studio GIS dei recenti incendi ad Ischia.

3.2.12 Infrastrutture critiche - l'ospedale dell'isola

Sull'isola è presente un ospedale, costruito negli anni '60., caratterizzato da strutture in cemento. Attualmente è in corso un progetto di ampliamento.

Secondo le informazioni ricevute, l'acqua ha allagato l'ospedale durante la precedente frana/terremoto (l'ospedale si trova in una zona in cui si sono verificate delle frane). Inoltre, di recente l'edificio ha avuto problemi con l'innalzamento del livello delle acque sotterranee al piano interrato, che ha danneggiando diverse strutture. Inoltre, accanto all'edifici, o è presente un vecchio muro di contenimento che potrebbe essere danneggiato, con il rischio conseguente di un crollo.

Sono stati osservati danni anche alle strutture che proteggono l'edificio. Nei pressi dell'ospedale si sono verificate frane che avrebbero potuto danneggiare anche l'edificio. Per questo motivo, si raccomanda di esaminare le condizioni delle strutture protettive intorno all'edificio dell'ospedale e di definire le esigenze di riparazione in base ai risultati.

Secondo le informazioni ricevute dai lavori di ampliamento e dai rapporti di indagine, le condizioni geotecniche sono state studiate con precisione. Tuttavia, non ci sono informazioni sullo stress legato ai cambiamenti climatici che colpiscono l'edificio ospedaliero (parte vecchia o nuova). I principali rischi che colpiscono l'edificio sono l'aumento del calore e le forti precipitazioni. Si prevede anche un aumento delle piogge battenti. Bisogna quindi prendere in considerazione le esigenze di raffreddamento dell'edificio durante la fase di progettazione e attuare una pianificazione dettagliata delle strutture esterne dell'edificio per resistere meglio alle piogge intense di breve durata. Inoltre, si raccomanda di valutare le prestazioni igrotermiche della copertura o dell'edificio per quanto riguarda l'implementazione di sistemi di raffreddamento e l'eventuale necessità di riparazione dell'attuale struttura esterna.

Un nuovo muro di contenimento in pali di cemento sarà costruito sul sito, tra la parte di ampliamento e il pendio superiore, che proteggerà sia la parte di ampliamento sia l'ospedale originale dalla pressione delle masse di terra dall'alto. Inoltre, il muro ridurrà probabilmente lo stress da umidità dell'edificio (abbassamento del livello delle acque sotterranee e incanalamento dei deflussi lungo il muro di contenimento su entrambi i lati dell'edificio).

Per proteggere l'edificio ospedaliero, potrebbe essere necessario costruire nuove strutture di protezione sul pendio sovrastante l'edificio e riparare/ampliare le strutture di protezione esistenti (legatura del terreno con reti di protezione, terrapieni di protezione per guidare le masse d'acqua/le eventuali frane, strutture a serbatoio/tunnel per deviare l'acqua piovana, ecc.)

Si raccomanda che i nuovi sistemi di raffreddamento, almeno nelle infrastrutture critiche, siano progettati in base al modello di temperatura RCP 8,5.

3.2.13 Altre questioni rilevanti per il settore edilizio

Altri problemi, quali nebbia, smog, umidità elevata o bassa, l'aumento delle radiazioni ultraviolette potrebbero avere effetti diretti o indiretti sulle prestazioni e sul funzionamento del patrimonio edilizio, ma in genere sono minimi e possono essere contrastati man mano che vengono osservati.

3.2.14 Sintesi dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici

Di seguito è riportata una sintesi dei potenziali pericoli legati ai vari rischi legati ai cambiamenti climatici (Tabella 3.13).

Tabella 3-13 Variabili climatiche e relativi pericoli e impatti sugli edifici.

Variabile climatica	Pericoli e impatti sull'infrastruttura dell'edificio
Cambiamenti nelle precipitazioni: Eventi pluviometrici estremi / Aumento/diminuzione delle precipitazioni stagionali e annuali	<ul style="list-style-type: none"> • I rischi di frana aumenteranno • Rischio di aumento della caduta massi • Inondazioni che causano danni agli edifici • Perdita di resistenza e/o stabilità del sottosuolo al di sotto delle fondazioni degli edifici • Aumento della pressione idrodinamica alle fondazioni • Erosione del drenaggio (fossi) • Sovraccarico e intasamento dei sistemi di drenaggio, con conseguente erosione e fenomeni di inondazioni. • L'erosione del suolo, le frane e gli smottamenti causano l'interramento delle strutture di drenaggio (compreso il drenaggio degli edifici). • Impatto sui livelli di umidità del suolo, con conseguenze sull'integrità strutturale degli edifici • L'umidità eccessiva a lungo termine o le forti piogge improvvise causano danni alle strutture esterne (perdita di capacità portante, formazione di muffa, ecc.). • Necessità di più argini o misure di controllo delle inondazioni durante i lavori di costruzione • Costi di manutenzione aggiuntivi • Disboscamento e controllo della vegetazione più frequenti. • Sono necessarie ulteriori riparazioni degli scarichi • Variazione del tasso di crescita della vegetazione

Diminuzione delle precipitazioni	<ul style="list-style-type: none"> • Essiccazione e contrazione dei sottofondi con conseguenti effetti sulle fondamenta degli edifici (cedimenti dell'edificio, danni alle strutture) • Meno acqua per la costruzione e la manutenzione • Cambiamento dei tipi di vegetazione e delle caratteristiche di deflusso
Aumento del livello del mare	<ul style="list-style-type: none"> • Inondazione di scantinati e fondamenta nelle zone costiere • L'aumento della salinità dell'acqua influisce sui componenti delle infrastrutture (ad esempio il cemento armato, il rapido arrugginimento delle armature). • Erosione della scogliera adiacente agli edifici
Variazioni di temperatura: Temperatura massima più elevata e numero più elevato di giorni caldi consecutivi (ondate di calore).	<p>Impatto sul paesaggio</p> <p>Surriscaldamento degli edifici e crescente necessità di raffreddamento</p> <p>Il raffreddamento attivo influisce sulle prestazioni igrotermiche delle strutture esterne, inducendo la formazione di muffe.</p> <p>Maggiori perdite di acqua di costruzione per evaporazione</p> <p>Deterioramento più rapido degli aggregati e reazioni di cementazione</p>
Siccità (giorni consecutivi di siccità)	<p>incendi boschivi più frequenti e intensi</p> <p>Suscettibilità agli incendi boschivi che minacciano direttamente le infrastrutture costruite (nelle aree densamente popolate c'è tuttavia meno vegetazione infiammabile)</p> <p>Suscettibilità a frane e colate detritiche indotte dalle precipitazioni in aree disboscate da incendi boschivi.</p> <p>Maggiore generazione di smog</p>
Aumento della velocità del vento	<ul style="list-style-type: none"> • Minaccia alla stabilità degli edifici • La maggiore velocità del vento provoca una maggiore forza dinamica dell'acqua generata dalle onde sugli edifici situati in riva al mare. • Maggiore movimento di sabbia nelle aree asciutte (sulla strada e sui canali di scolo)

In sintesi, una matrice di vulnerabilità è presentata nella Tabella 3.14.

Tabella 3-14 Matrice di vulnerabilità

Pericolo climatico	Cambiamento del pericolo	Esposizione	Sensibilità	Vulnerabilità
Calore	3	3	2	3
Siccità	2	3	2	3
Incendi boschivi	2	2	3	3

Precipitazioni temporalesche	2	2	3	3
Inondazioni fluviali	2	2	2	2
Frane	2	2	3	3
Vento	1	1	2	1
Inondazioni costiere	3	3	2	3

3.2.15 Potenziali attività di adattamento

Le attività di adattamento per rendere le infrastrutture edilizie resilienti al clima richiedono, in generale, considerazioni e giudizi ingegneristici convenzionali che vengono applicati abitualmente da ingegneri civili esperti. L'abusivismo edilizio a Ischia è piuttosto comune e, in futuro, si dovrebbe aumentare la guida e la supervisione delle costruzioni in modo che gli edifici siano progettati e costruiti in conformità con le normative, così da poter resistere meglio alle crescenti sollecitazioni meteorologiche.

Non esistono attività di adattamento o raccomandazioni specifiche e generali che possano essere applicate direttamente a tutti gli edifici dell'isola. Piuttosto, le raccomandazioni per le attività di adattamento dovrebbero essere valutate separatamente per ogni edificio, considerando anche la durata di vita residua di ogni edificio e l'età prevista per le strutture ammodernate. Questo è rilevante, ad esempio, per i parametri di progettazione relativi alle precipitazioni (sistemi di drenaggio specifici per il sito e l'edificio) e alle temperature (sistemi di raffreddamento attivi), raccomandati ai proprietari degli edifici o dalle azioni normative delle autorità. In generale, i principali pericoli da considerare sono lo stress da calore (strutture interne e esterne), le precipitazioni intense, gli effetti legati alla siccità come il movimento del suolo, l'azione delle acque sotterranee sulle fondamenta degli edifici e gli effetti di possibili inondazioni.

Le attività di adattamento del settore edilizio contro le inondazioni, gli incendi e le frane sono generalmente le stesse delle raccomandazioni per il settore stradale ed energetico per proteggere aree più ampie dai pericoli. Le differenze derivano dalla valutazione del rischio delle aree pericolose. Le aree densamente urbanizzate/popolate dovrebbero avere la priorità nell'esecuzione di tali attività.

Per quanto riguarda le attività di adattamento del settore edilizio contro i rischi maggiori che coinvolgono aree più estese (come inondazioni, incendi e frane), la valutazione del rischio dovrebbe includere la valutazione dell'efficacia delle attività e delle potenziali incertezze. Se non è possibile eliminare tutti i fattori di rischio in modo tale da evitare pericoli per i residenti o improvvisi cedimenti strutturali, si dovrebbe prendere in considerazione anche il trasferimento come possibile attività di adattamento. Poiché la superficie disponibile per nuovi progetti di costruzione è limitata sull'isola, questo potrebbe anche significare il trasferimento di alcune strutture e beni sulla terraferma.

Inoltre, a Ischia è strettamente regolamentato il tipo di strutture che possono essere costruite nel paesaggio e nello scenario unico dell'isola. Le opzioni di adattamento devono essere approvate anche dal punto di vista estetico.

Nella seguente Tabella 3.15 è riportata una sintesi degli eventi tipici del cambiamento climatico e delle opzioni di adattamento ingegneristico per gli edifici.

Tabella 3-15. Impatti climatici e relative possibili attività di adattamento

Pericolo climatico	Possibili attività di adattamento correlate
--------------------	---

<p>Aumento delle temperature</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Maggiore utilizzo della protezione termica passiva (parasole, ecc.) • Sistemi di raffreddamento attivo per fornire un raffreddamento immediato nei periodi di caldo estremo. • Isolamento termico di nuovi edifici e adeguamento dell'attuale patrimonio edilizio (è necessario valutare le prestazioni igrotermiche delle strutture)
<p>Cambiamenti nelle precipitazioni: Eventi pluviometrici estremi / Aumento delle precipitazioni stagionali e annuali che causano inondazioni e frane</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilizzazione dello strato di base • Aumento della capacità di compattazione per percentuali di umidità inferiori • Costruzione di protezioni antierosione • Costruzione di reti in acciaio contro la caduta di massi • Costruzione di gabbioni • Costruzione di deflettori di detriti • Realizzazione di protezioni per le scogliere • Realizzazione di sottodreni nelle aree di accumulo • Costruzione di controlli di scorrimento • Costruzione di scarichi intercettatori • Piantumazione di erba in zolla • Costruzione di muri di contenimento nei tratti soggetti a smottamenti del terreno • Aumento delle dimensioni e del numero di strutture di drenaggio • Innalzamento dell'altezza dell'argine per evitare l'inondazione • Riallineamento dei corsi d'acqua naturali (non sempre riuscito) • Aggiornamento della progettazione dei sistemi di drenaggio • Studi sulla stabilità dei pendii nel tentativo di ridurre al minimo i movimenti di massa e le colate di fango in seguito all'aumento delle precipitazioni. • Misure per migliorare la stabilità dei pendii e prevenire movimenti di massa e caduta di massi • La progettazione di nuovi edifici e l'adeguamento del patrimonio edilizio attuale contro le precipitazioni intense e la pioggia battente. • Progettazione di nuovi edifici e valutazione/riadattamento del patrimonio edilizio attuale contro i danni da alluvione (stress da

	<p>umidità alle strutture e stabilità delle fondamenta e delle strutture portanti)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Allontanare i progetti di nuova costruzione dalle aree a rischio di inondazioni e smottamenti del terreno.
<p>Siccità (Giorni consecutivi) secchi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Riciclaggio delle acque grigie • Impianti e rubinetterie efficienti dal punto di vista idrico • Raccolta dell'acqua piovana • Fonti d'acqua locali, come torri idriche o pozzi in loco • Fondamenta profonde o semi-profonde su edifici nuovi • Rafforzamento strutturale dell'attuale patrimonio edilizio (rinforzi orizzontali e verticali)
<p>Incendi boschivi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Controllo della vegetazione - zone di protezione nelle aree urbane in zone pericolose
<p>Aumento del livello del mare</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Costruzione di muri di protezione • Costruzione di protezioni antierosione • Stabilizzazione dello strato di base • Allontanare i progetti di nuova costruzione dalla linea di costa • Ammodernamento di strutture seminterrate esistenti contro i danni dell'umidità (uso di materiali impermeabilizzanti e resistenti all'umidità) • Valutazione e rinnovamento delle strutture per la corrosione indotta dall'acqua di mare
<p>Aumento della velocità del vento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Valutazione della stabilità e rafforzamento di edifici alti, soprattutto in aree aperte.



3.2.16 Attività di adattamento consigliate

A causa dei risorse limitate, non è stato possibile effettuare una valutazione dettagliata del rischio per l'intera isola.. Tuttavia, le opportunità di adattamento identificate sono presentate nelle tabelle seguenti. Si noti come le attività di adattamento raccomandate in altri settori di questo studio proteggono anche gli edifici di Ischia.

Le attività di adattamento raccomandate per l'edificio ospedaliero sono:

Tabella 3-16 Schema di progetto 6: Ospedale Anna Rizzoli - Adattamento contro i rischi identificati.


Sede: Ospedale di Ischia	Foto (Google Earth)
--------------------------	---------------------

			
1. Adattamento	Ristrutturazione delle strutture esterne- facciata, tetto (parte vecchia) sulla base di una valutazione delle necessità di riparazione	Criticità	Medio - Data l'età dell'edificio, alla fine del suo ciclo di vita.
2. Adattamento	Sistemi di raffrescamento attivo e ombreggiamento passivo per garantire condizioni interne tollerabili sulla base dell'RCP 8,5	Criticità	Alto - Per garantire condizioni interne tollerabili
3. Adattamento	Riparazione delle strutture del seminterrato (umidità)	Criticità	Medio - influisce sull'usabilità del seminterrato
4. Adattamento	Il drenaggio specifico del sito deve essere valutato in base alla curva IDF per le precipitazioni massime di 1 giorno.	Criticità	Medio - dovrebbe essere valutato a breve
5. Adattamento	Strutture di protezione intorno all'ospedale	Criticità	Alto - rischio elevato di frane nell'area
Eventi storici	L'area è soggetta a frane	Stima dei costi	1. 1 500 000 - 2 000 000 € 2. 500 000 - 700 000 € 3. 700 000 - 1 000 000 € 4. 200 000 - 300 000 € 5. 2 500 000 € (specifico per il sito)

Inoltre:

- Le condizioni delle strutture protettive intorno all'ospedale devono essere analizzate per determinarne le esigenze di riparazione.
- La curva IDF (RCP2.6) (presentata nella figura 2.7) dovrebbe essere utilizzata per valutare lo stress da umidità derivante dalle precipitazioni massime di 1 giorno.
- Indagini e riparazioni delle strutture del seminterrato della parte vecchia dell'edificio per determinare le necessità di riparazione/alterazione (utilizzo di materiali resistenti all'umidità e impermeabilizzazione esterna o interna delle strutture, delle pareti e dei pavimenti del seminterrato)

Tabella 3-17 Schema di progetto 7: Ischia - Adattamento contro gli incendi boschivi

Località: Ischia e Barano d'Ischia			
			
1. Adattamento	Controllo della vegetazione per creare una zona cuscinetto accanto alle aree popolate	Criticità	Alto - Per evitare che gli incendi boschivi si propaghino alle aree popolate.
2. Adattamento	Maggiore supervisione delle aree a rischio da parte dei vigili del fuoco durante la stagione degli incendi.	Criticità	Alto - Per evitare che gli incendi boschivi si propaghino fuori controllo
Eventi storici	Negli ultimi anni sono stati osservati diversi incendi a Ischia.	Stima dei costi	1. 500 000 - 1 000 000 € 2. 100 000 - 200 000 €

3.3 Porti e infrastrutture costiere

L'inondazione e l'erosione costiera sono due dei maggiori rischi che corrono i litorali, non solo dell'isola di Ischia, ma della maggior parte delle coste del mondo, e che si aggraveranno in conseguenza ai cambiamenti climatici. L'isola di Ischia è già ampiamente soggetta ad entrambi i fenomeni, come dimostrano le mappe di pericolosità prodotte dall'amministrazione italiana (rispettivamente in *Figura 3-14* per la sommersione e in *Figura 3-19* per l'erosione).

3.3.1 Inondazione costiera

È interessante confrontare la trasgressione del mare per diversi scenari:

- Inondazione costiera effettiva osservata nelle aree a bassa quota lungo l'isola (principalmente durante gli eventi di Aqua Alta e le tempeste);
- Proiezione della sommersione delle aree basse lungo l'isola con l'innalzamento del livello del mare dovuto solo ai cambiamenti climatici;
- Rischio di inondazione a causa dell'innalzamento del livello del mare combinato con le mareggiate e la configurazione delle onde.

Inondazione costiera **effettiva su aree a bassa quota**

La carta dell'effettivo rischio di inondazione costiera delle aree a bassa quota è stata prodotta dall'Autorità del Bacino Nord Occidentale della Campania "carta della pericolosità da inondazione della costa bassa" ed è riportata in Figura 3-14.

Le mappe descrivono le aree più sensibili al rischio di inondazione costiera lungo l'intero tratto costiero dell'isola di Ischia, con ingrandimenti sulle aree di interesse.

Le zone a rischio evidenziate riguardano principalmente le spiagge dell'isola.

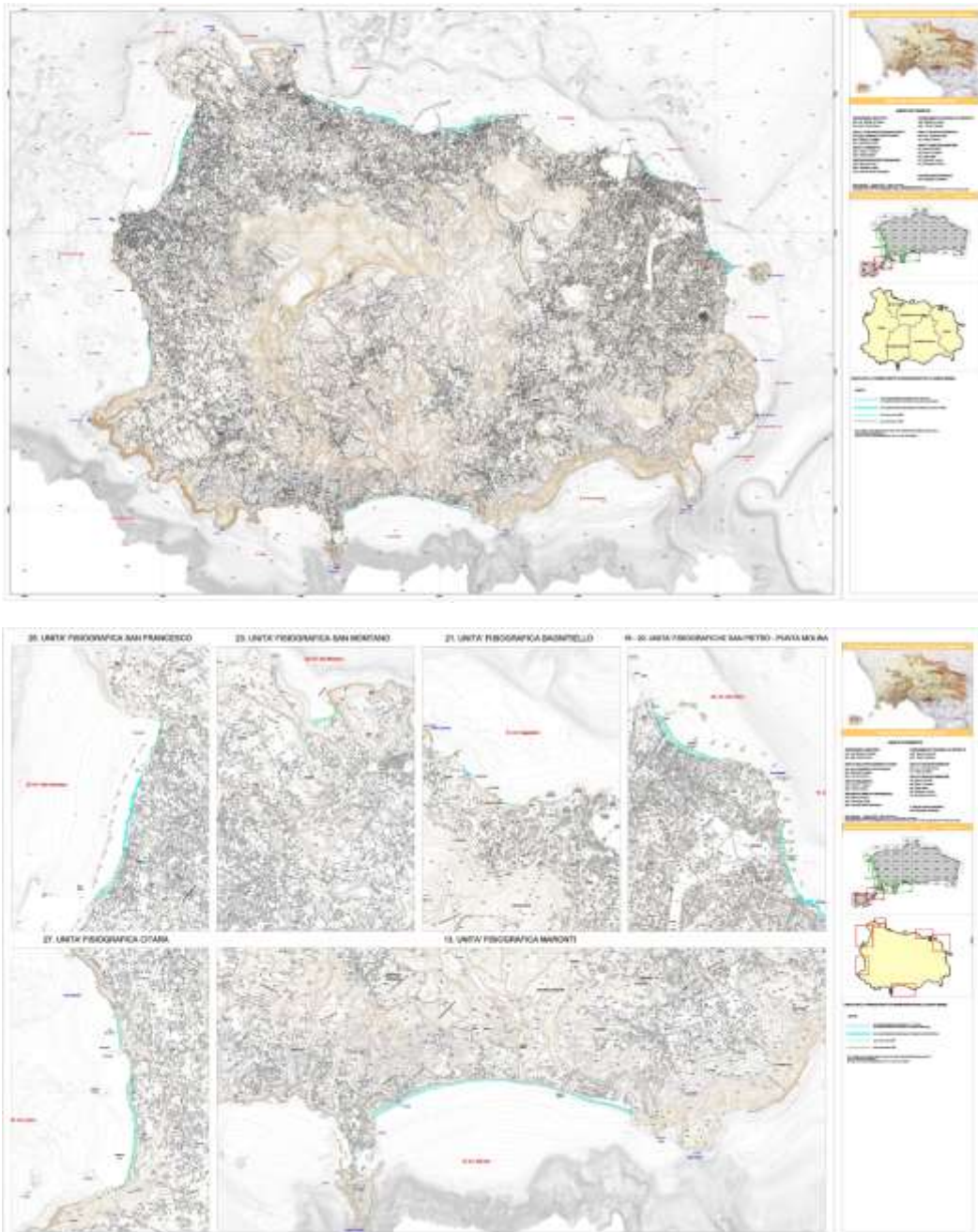


Figura 3-14: Mappa del rischio effettivo di inondazione costiera delle aree a bassa quota

Rischio di inondazione costiera dovuta all'innalzamento del livello del mare nelle aree a bassa quota

Il cambiamento climatico causerà un irrimediabile innalzamento del livello del mare, la cui prima conseguenza sarà l'inondazione delle aree basse che si troveranno sotto il futuro livello dell'acqua,

soprattutto per un'isola circondata dal mare. Questo processo può essere studiato per un modello statico nella mappatura delle aree dell'isola, situate sotto il futuro livello del mare, considerando l'innalzamento del livello del mare dovuto ai cambiamenti climatici, attraverso lo strumento climate central (<https://coastal.climatecentral.org/>).

Le mappe di Climate Central sull'innalzamento del livello del mare e sulle inondazioni costiere si basano su dati scientifici sottoposti a peer-review in riviste autorevoli. Poiché queste mappe incorporano grandi insiemi di dati, che includono sempre qualche errore, esse dovrebbero essere considerate come strumenti di screening per identificare luoghi che potrebbero richiedere un'indagine più approfondita sul rischio.

Le mappe si basano su dati a scala globale per l'elevazione marina e le maree, oltre che sulle proiezioni dell'innalzamento del livello del mare.

Le aree inferiori al livello dell'acqua selezionato, con un percorso senza ostacoli verso l'oceano, sono oscurate. Per impostazione predefinita, le aree al di sotto del livello dell'acqua, che sembrano essere protette da creste, non sono oscurate.

Questo approccio facilita la mappatura di qualsiasi scenario in modo rapido e riflette bene le minacce derivanti dall'innalzamento futuro e permanente del livello del mare. Tuttavia, l'accuratezza di queste mappe diminuisce quando si valutano i rischi derivanti da eventi alluvionali estremi (trattandosi di un approccio statistico e non dinamico). Le mappe create non si basano su simulazioni fisiche di tempeste e inondazioni e non tengono conto di fattori quali l'erosione, i futuri cambiamenti nella frequenza o nell'intensità delle tempeste, le inondazioni interne o i contributi delle precipitazioni o dei fiumi (che sono descritti in dettaglio in questo rapporto).

Le aree della mappa sono identificate come vulnerabili in base alla loro elevazione rispetto al livello dell'acqua della linea di costa selezionata. Queste aree vengono ulteriormente perfezionate utilizzando criteri di connettività. Questo approccio efficiente produce mappe accurate per le aree minacciate dal solo innalzamento permanente del livello del mare. È adatto anche per alluvioni minori che possono aumentare e diminuire gradualmente. Quando la gravità dell'alluvione aumenta, o la durata del picco di alluvione diminuisce, diventano più importanti fattori come la direzione del vento e l'attenuazione dell'altezza della piena nell'entroterra dovuta all'attrito del flusso d'acqua con la superficie del terreno. In questi casi, i modelli a "vasca" diventano meno accurati e sovrastimano di molto l'estensione totale della piena. La modellazione fisica di molte migliaia di possibili combinazioni di tempeste e maree è un approccio alternativo per sviluppare mappe più affidabili sul rischio di alluvione, ma comporta un grande costo computazionale.

Questa mappa generalmente non oscura le aree isolate al di sotto del livello dell'acqua selezionato laddove le creste o altre caratteristiche le proteggano dall'inondazione. Lungo il confine tra acqua e terraferma possono essere visibili piccole discontinuità dovute alle limitazioni dei metodi utilizzati per generare queste mappe in modo dinamico e interattivo in tempo reale. Le potenziali difese costiere, come gli argini, sono prese in considerazione quando i dati sono disponibili. Tuttavia, i dati relativi agli argini e alle difese costiere sono incompleti.

La mappa utilizza i dati di elevazione del CoastalDEM® di Climate Central, che è stato sottoposto a revisione paritaria e pubblicato in *Kulp e Strauss 2018* e ulteriormente migliorato in *Kulp e Strauss 2021*. CoastalDEM è stato realizzato utilizzando l'intelligenza artificiale per migliorare i dati di elevazione sviluppati dalla NASA. La risoluzione orizzontale dei dati altimetrici di CoastalDEM è di un arcosecondo, o circa di 30 metri (100 piedi).

L'inondazione costiera dovuta all'innalzamento del livello del mare nelle aree basse è un fenomeno statico che può essere previsto in quanto costante e progressivo nel tempo.



Figura 3-15: Mappa dell'Isola di Ischia con le aree sotto il livello del mare identificate considerando un innalzamento del livello del mare di 0,26 m.

È stato scelto Climate Central, in quanto non è stato possibile utilizzare i dati topografici utilizzati per elaborare la mappa dell'effettivo rischio di inondazione costiera su aree a bassa quota prodotta dall'Autorità del Bacino Nord Occidentale della Campania.

Non è stato inoltre possibile utilizzare la carta altimetrica dettagliata (DEM) utilizzata per le mappe di integrazione del livello del mare, poiché i dati DEM non sono precisi tra la linea di costa e +1 m in elevazione.

Rischio di inondazione costiera a causa dell'innalzamento del livello del mare combinato con le mareggiate e la configurazione delle onde

Un altro punto da analizzare è l'effetto combinato del livello del mare previsto con le mareggiate e le configurazioni delle onde. Come si può vedere nella Figura 3-16, entrambi i parametri sono stati considerati e combinati tra loro per valutare le possibili aree inondate durante un evento di tempesta.

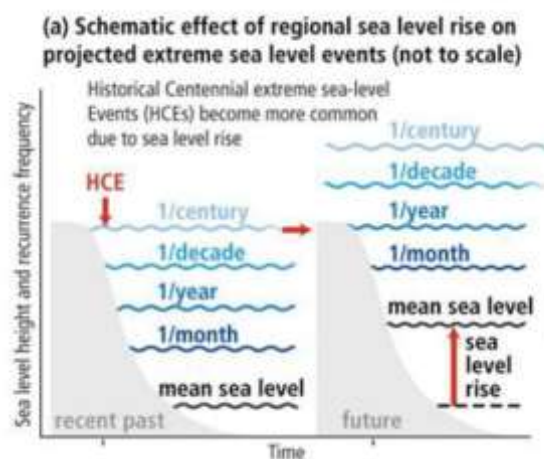


Figura 3-16: Aggiunta di azioni per l'innalzamento del livello del mare e per il *periodo di ritorno delle mareggiate*

La Detailed Elevation Map (DEM) è stata utilizzata come dato topografico per produrre la mappa di inondazione costiera per due scenari:

Innalzamento del livello del mare previsto + mareggiata con periodo di ritorno di 100 anni = +1,26 m

Innalzamento del livello del mare previsto + mareggiata con periodo di ritorno di 100 anni + aumento del moto ondoso = +2,26 m

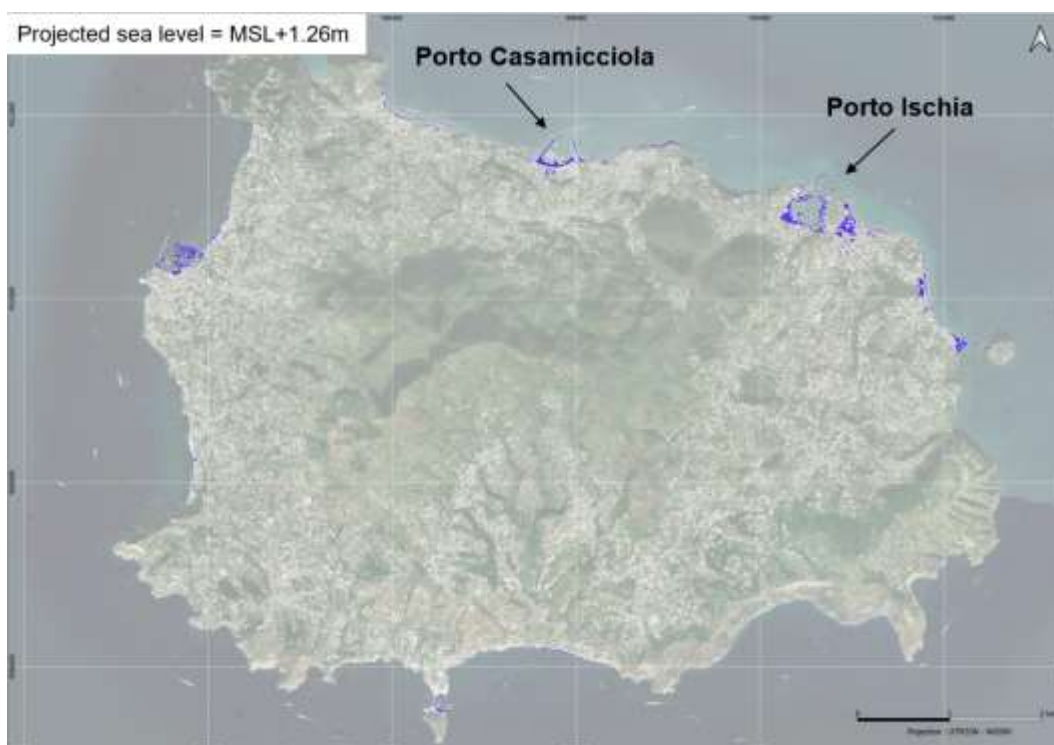


Figura 3-17: Mappa dell'inondazione costiera di aree basse per un livello del mare previsto di MSL+1,26m.



Figura 3-18: Mappa dell'inondazione costiera dell'area bassa per un livello del mare previsto di MSL+1,26m + wave run-up = 2,26m.

Entrambe le mappe evidenziano le aree a bassa quota dove si verificheranno problemi di intrusione marina e di inondazione. Tra i siti impattati, si possono citare ad esempio Ischia Porto e Casamicciola Terme Porto

(più soggetti a eventi di acqua alta), ma anche la Spiaggia di San Francesco, la Spiaggia della Chiaia, Marina di Forio, la Spiaggia di Citara, la Spiaggia, il porto di Sant'Angelo e la Spiaggia dei Maronti (più esposti all'impatto delle onde durante le tempeste).

Nell'ottobre 2023 è stata effettuata una visita in loco per confermare i dati numerici.

Questo ha mostrato che mentre le banchine di Porto Ischia sono estremamente basse, quelle dei porti di Casamicciola Terme e Forio sono relativamente alte. Considerando gli impatti socio-economici della sommersione su un porto, appare inevitabile e urgente trattare i livelli delle banchine di Ischia Porto.

3.3.2 Erosione costiera

Le coste dell'isola di Ischia subiscono un'intensa erosione sia nelle porzioni consolidate (scogliere) sia in quelle incoerenti (spiagge). L'erosione di un'isola vulcanica molto ripida, per l'effetto combinato delle piogge e del mare, è un fenomeno naturale che ne plasma la geomorfologia costiera al passare del tempo. L'erosione può essere amplificata dagli effetti del cambiamento climatico, in particolare dall'innalzamento del livello del mare e dall'intensificazione dei fenomeni estremi (tempeste e piogge intense).

Nel Mar Mediterraneo, la fluttuazione della linea di costa può variare secondo diverse scale temporali, a seconda del contesto idro-sedimentario locale, delle condizioni climatiche e delle variazioni del livello del mare, nonché dell'influenza antropica attraverso l'impatto delle strutture costiere installate artificialmente.

La posizione di una linea di costa fluttua nel corso dei giorni, delle stagioni e degli anni: in particolare, se la media delle posizioni tende verso il mare aperto, si parla di accrescimento, se la media delle posizioni tende verso l'arretramento, si parla di erosione. Tuttavia, le fluttuazioni stagionali possono portare all'erosione o all'accrezione senza essere legate a tendenze generali.

Per questo motivo è molto difficile basarsi su un'istantanea in un momento specifico per dedurre la posizione della linea di costa per l'anno corrispondente.

Nel Mar Mediterraneo, se le maree sono basse, le fluttuazioni nella posizione della costa variano notevolmente, in particolare tra l'estate, quando le acque sono basse a causa dell'anticiclone, e l'inverno, quando le acque sono più alte per effetto delle basse pressioni. Una tempesta invernale può anche causare un significativo arretramento della costa mentre le condizioni estive tendono a riportare la sabbia sulle spiagge.

L'erosione può essere causata dalla presenza di infrastrutture costiere antropiche (costruite troppo vicine alla riva): infatti, quando le onde raggiungono queste strutture e si riflettono su di esse, trasportano i sedimenti troppo al largo, ad una profondità eccessiva per il loro ritorno in condizioni più calme, fattore aggravato anche dalle forti pendenze dell'isola.

Secondo Figura 3-19, le falesie rocciose in forte erosione si concentrano soprattutto nel sud dell'isola, dove i pendii sono più ripidi e dove gli insediamenti sono meno numerosi, mentre secondo la Figura 3-14, le falesie sono in forte erosione. *Figura 3-14* il rischio di inondazione si trova principalmente verso le spiagge e i porti.

Per quanto riguarda l'erosione costiera, entrambe le immagini mostrano la posizione della linea di riva nel 2004 rispetto al 1998. Le due singole date non possono portare a conclusioni esaustive sul comportamento dei litorali (non portano nessuna indicazione sulle maree, sul livello del mare nel periodo in cui sono state scattate le immagini per disegnare la linea di riva, sulle condizioni climatiche, sulle ultime mareggiate precedenti alla data, sui riferimenti presi). Tuttavia sembra che la spiaggia di Maronti a sud e la spiaggia di Montano siano entrambe in fase di accrescimento.

Nell'ottobre 2023 è stata effettuata una visita in loco per confermare i dati numerici.

La perizia ha evidenziato che la costa occidentale lungo Forio è soggetta a un'intensa erosione che minaccia direttamente la strada marittima e le abitazioni retrostanti. Sono stati effettuati alcuni lavori di protezione e manutenzione della scogliera, ma non hanno retto e sono crollati. Anche a Barano e Sant'Angelo si può osservare una forte erosione delle scogliere. Le illustrazioni sono riportate in Figura 3-20.

Appare più che urgente e necessario trattare il litorale di Forio per evitare che la strada venga inghiottita dal mare e che le infrastrutture e gli edifici siano messi in pericolo.

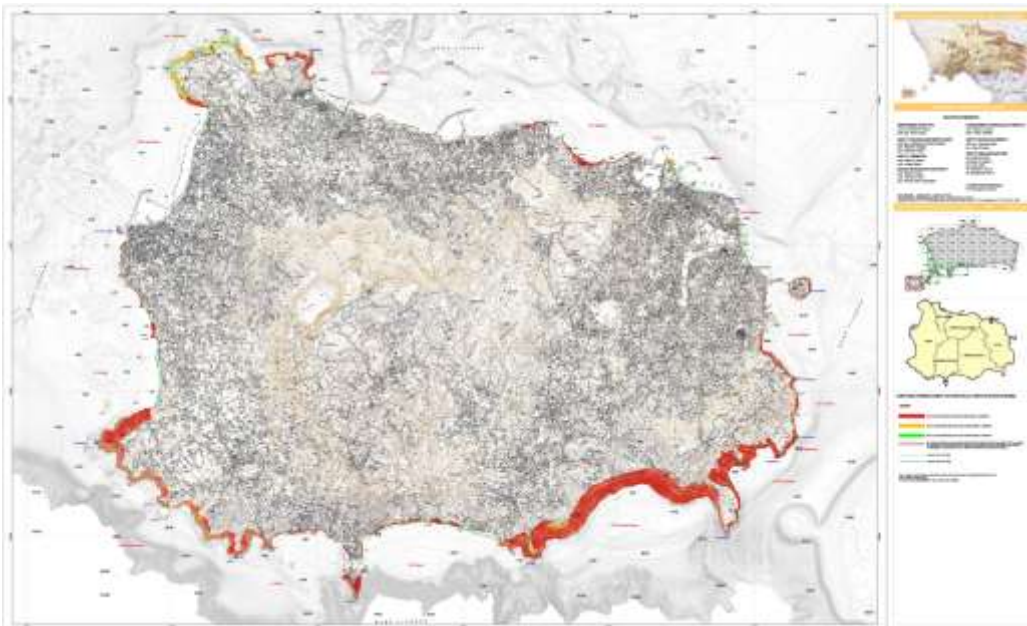


Figura 3-19: Mappa

dell'erosione costiera a Ischia



Figura 3-20: Immagini dei problemi di erosione costiera intorno all'isola di Ischia

Rischio di danni alle infrastrutture costiere

A causa dei ripidi pendii, sia sulla terraferma sia in mare, l'isola vulcanica di Ischia presenta un rilievo costiero e caratteristiche tipiche dei litorali differenti da quelli di una piattaforma continentale, con scogliere che cadono a strapiombo sul mare e piccole spiagge strette.

A lungo termine, l'erosione naturale dovuta alle mareggiate, in particolare alle onde durante le tempeste, è compensata dagli apporti terrigeni, in particolare durante gli episodi vulcanici.

Dall'insediamento dell'uomo sull'isola e dalla sua urbanizzazione, insieme alla mancanza di eruzioni laviche, l'erosione costiera dell'isola non è stata compensata dall'accrescimento. Questo ha portato a sforzi da parte dell'uomo per stabilizzare o frenare il fenomeno.

Molte strutture artificiali sono state erette intorno all'isola, come illustrato nella figura seguente.

Si possono osservare dighe artificiali, groyne, frangiflutti emergenti e sommersi, solitamente realizzati in roccia. I dettagli di ciascuna struttura sono riportati in appendice.



Figura 3-21: *Inventario di tutte le difese artificiali costiere intorno all'isola di Ischia*

Questo tipo di strutture sono state realizzate in tutto il mondo principalmente negli anni '70 per prevenire gli impatti legati al moto ondoso, ma da allora hanno dimostrato la loro inefficacia a lungo termine. Spesso comportano più inconvenienti che vantaggi: ad esempio, se proteggono una parte della costa, spesso generano erosione su un'altra.

Con l'innalzamento del livello del mare e la probabile intensificazione delle tempeste nel Mediterraneo, queste strutture saranno inefficienti e dovranno essere riprogettate oppure dovranno essere riparate o ridimensionate con rocce più grandi per poter funzionare correttamente.

Tuttavia, per quanto riguarda le strutture artificiali messe in atto per contrastare l'erosione costiera, è possibile che vengano trovate nuove soluzioni naturalistiche e che alcune delle strutture attuali debbano essere rimosse.

Infatti, le strutture cosiddette "dure" sono sempre più vietate dai progetti di sviluppo costiero, in particolare per quanto riguarda la lotta all'erosione legata agli effetti del cambiamento climatico.

Anche se queste soluzioni sono state a lungo ritenute incoraggianti, il loro rapporto benefici-svantaggi è ampiamente negativo. Oltre al prezzo proibitivo, causano erosione, effetti negativi sulla qualità dell'acqua, richiedono manutenzione, hanno una grande impronta carbonica e non sono più adatti alle sfide attuali.

Se l'impiego di strutture rigide dovesse essere essenziale per la protezione di alcuni siti, l'adattamento e la protezione con soluzioni naturalistiche devono essere la priorità, soprattutto per le spiagge intorno all'isola, per i sentieri e per le strade.

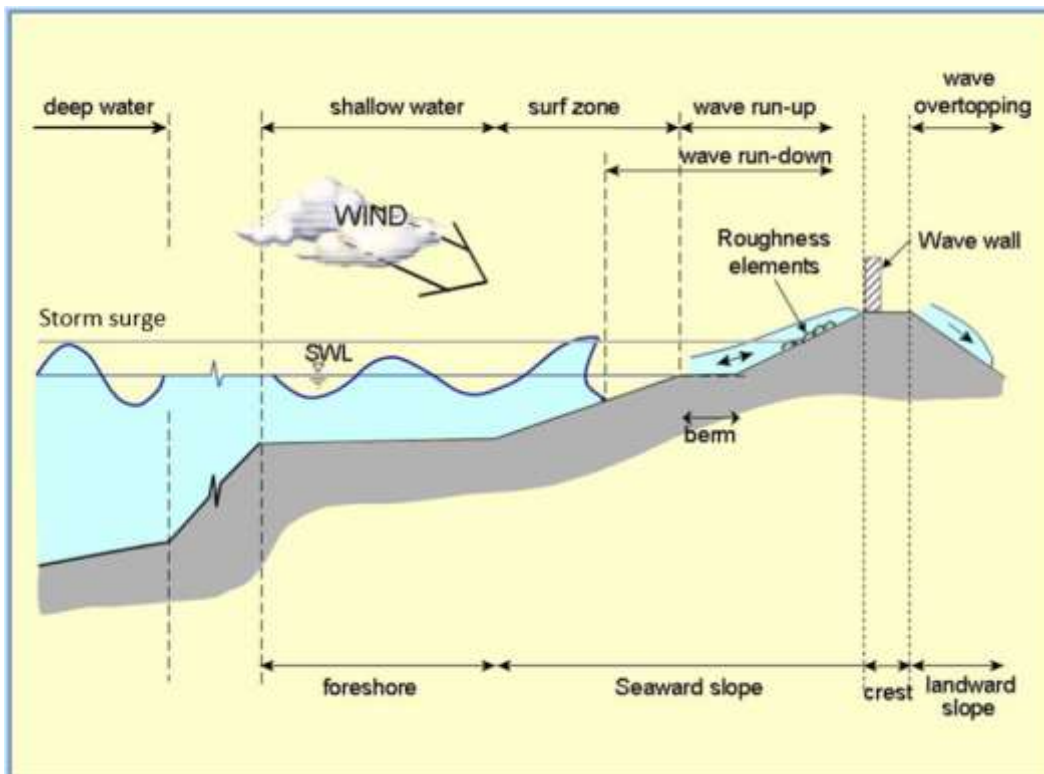


Figura 3-22: Effetti delle onde causate dal vento sulle strutture costiere

I frangiflutti portuali, che formano aree riparate per l'ormeggio delle imbarcazioni, dovranno probabilmente essere rialzati, e riparati poiché soggetti a danni dovuti all'azione del mare nel tempo. Nuovi studi dovranno considerare modelli sul moto ondoso aggiornati per la progettazione delle armature dei blocchi.

Infatti, l'innalzamento del livello del mare, combinato con l'intensificazione di eventi estremi, porterà al superamento delle strutture portuali (frangiflutti) da parte delle onde, ma potrebbe anche provocare un aumento del moto ondoso all'interno dei porti e la sommersione delle banchine.

È ormai comune osservare che molti porti del Mediterraneo vengono allagati durante importanti eventi di tempesta a causa degli effetti combinati delle mareggiate del moto ondoso.

Tutti i porti devono essere riprogettati con l'adattamento dei livelli dei frangiflutti e delle banchine di protezione alle caratteristiche del livello del mare e dei periodi di ritorno delle onde previsti.





Figura 3-23: *Trasbordo ondoso del muro di protezione del porto durante una tempesta nel Mediterraneo.*

3.3.3 Raccomandazioni generali per l'adattamento al cambiamento climatico delle coste

In base al contesto geomorfologico, all'attuale ubicazione delle risorse e alla loro vulnerabilità nei confronti dei rischi costieri, è necessario studiare diversi scenari di sviluppo della zona per soddisfare le esigenze in termini di difesa dal mare e in base ai problemi da risolvere.

Su una linea di costa, i tipi di strategia generale relativi al cambiamento climatico sono riassunti dai seguenti approcci, come illustrato in Figura 3-24: "mantenere la linea", "spostarsi verso il mare", "riallineamento gestito", intervento limitato", "adattamento" o "non fare nulla".

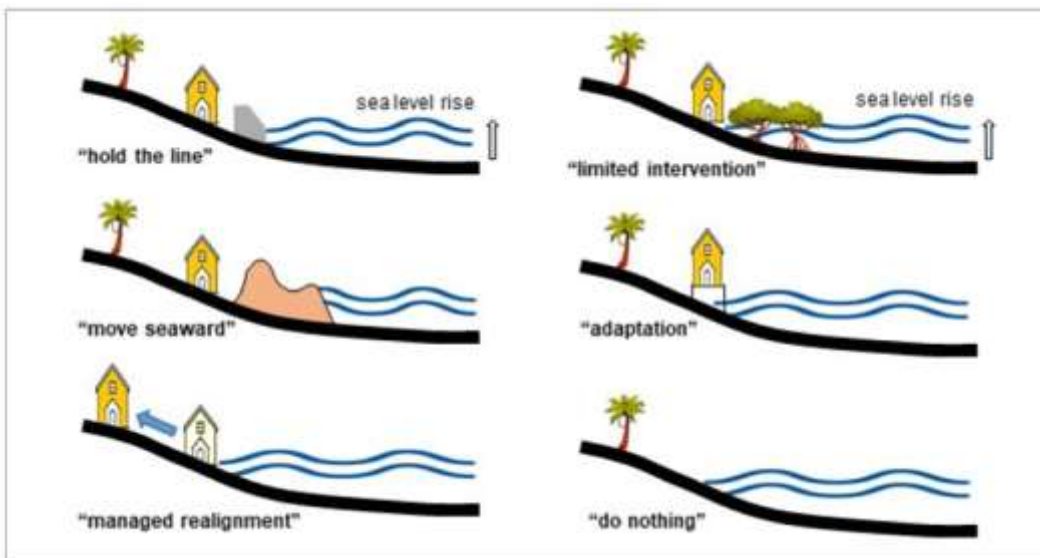


Figura 3-24. Strategie di adattamento all'erosione costiera (fonte: "Strutture costiere come controllo dell'erosione delle spiagge e adattamento all'innalzamento del livello del mare in Malesia: A Review")

È importante rispettare le raccomandazioni delle strategie internazionali in materia di erosione costiera, e, in particolare, quelle risultanti dagli ultimi rapporti dell'IPCC, ovvero la ricerca di soluzioni cosiddette "soft", che non facciano ricorso a tecniche che prevedono l'impiego di cemento pesante o di elementi di riempimento di roccia e, se possibile, di soluzioni naturalistiche (NBS).

È necessario sfruttare gli scenari raccomandati nel contesto della "de-artificializzazione" o dell'attuazione di soluzioni naturalistiche. È necessario proporre combinazioni di soluzioni (ad esempio, un toe stop associato a un rifornimento di materiali della spiaggia e recinzioni nella parte superiore della spiaggia o frangiflutti associati a un rifornimento, la creazione di dune e la loro stabilizzazione, ecc.)

Si raccomandano soluzioni soft per la protezione e il mantenimento della linea di costa. Queste soluzioni possono essere combinate per ottimizzare il loro effetto di protezione costiera.

In generale, le soluzioni soft e naturalistiche per la protezione delle spiagge consistono principalmente nel favorire il rifornimento con l'aggiunta di materiali (spesso più grossolani di quelli attuali) combinata con la rimozione di qualsiasi struttura antropica (hard), la ristrutturazione delle dune stabilizzate con recinzioni e sistemi di sostegno dalla spiaggia.

Nei siti urbani, la ricostruzione dovrà passare attraverso attività di adattamento con l'installazione, per quanto possibile, di strutture che possono essere sommerse o di infrastrutture che consentano inferiormente il deflusso dell'acqua (costruzioni su pali, ad esempio, per le strade o realizzate direttamente sulla zona cuscinetto).



D



Figura 3-25: Esempi di soluzioni soft e naturalistiche - A. Ripristino della spiaggia - B. Geotubi, C. Balle di scogliera e D. Ricreazione di dune. Geotubi, C. Reefballs, e D. ricreazione delle dune

Le strutture portuali, come i frangiflutti e le banchine, dovranno essere completamente riprogettate (o almeno rialzate alla luce del previsto innalzamento del livello del mare).

Per le scogliere in pericolo di erosione, sarà possibile rinforzare alcune parti della scogliera ad alto rischio e laddove non siano possibili altre opzioni oltre alla protezione del sito. In altre aree, sarà necessario evitare di intervenire e lasciare che l'erosione proceda, evacuando o vietando l'accesso alle aree più minacciate. Ogni sito deve essere trattato e studiato in modo indipendente.




Attività di adattamento consigliate

Per Ischia, le attività generali di adattamento all'erosione delle coste possono essere riassunte come segue:

- Riprogettazione delle infrastrutture portuali (banchine) e innalzamento dei frangiflutti in base a nuovi parametri di progettazione;
- Stabilizzare le scogliere dove è assolutamente necessario e lasciare che l'erosione prosegua altrove (non fare nulla);
- De-artificializzazione delle aree costiere (frangiflutti, groyne, dighe) e demolizione delle infrastrutture dure costruite troppo vicino alla riva;
- Rinaturalizzazione laddove possibile delle coste e arretramento urbano dove possibile.
- Adattamento delle infrastrutture laddove non è possibile arretrarle;
- Soluzioni soft e naturalistiche per la protezione delle spiagge, come la riabilitazione e la creazione di dune e il rinnovo dei sedimenti;
- Valutare l'altezza dei frangiflutti qualora il previsto innalzamento del livello del mare coinvolga la progettazione della struttura;
- Per migliorare l'accuratezza della valutazione del rischio costiero, è necessario un modello digitale di elevazione (DEM) migliore. L'attuale modello digitale di elevazione ricevuto dal team incaricato è impreciso, con livelli di altezza inferiori a 1 metro, che sono i livelli di altezza essenziali per le valutazioni costiere. Il costo stimato per un DEM ad alta precisione per l'isola di Ischia è di 50 k€; È inoltre necessario un modello costiero locale per ottenere informazioni precise sui livelli marini previsti in diverse zone dell'isola di Ischia. Il costo stimato per tale modello è di circa 50 k€ per ogni area di interesse.

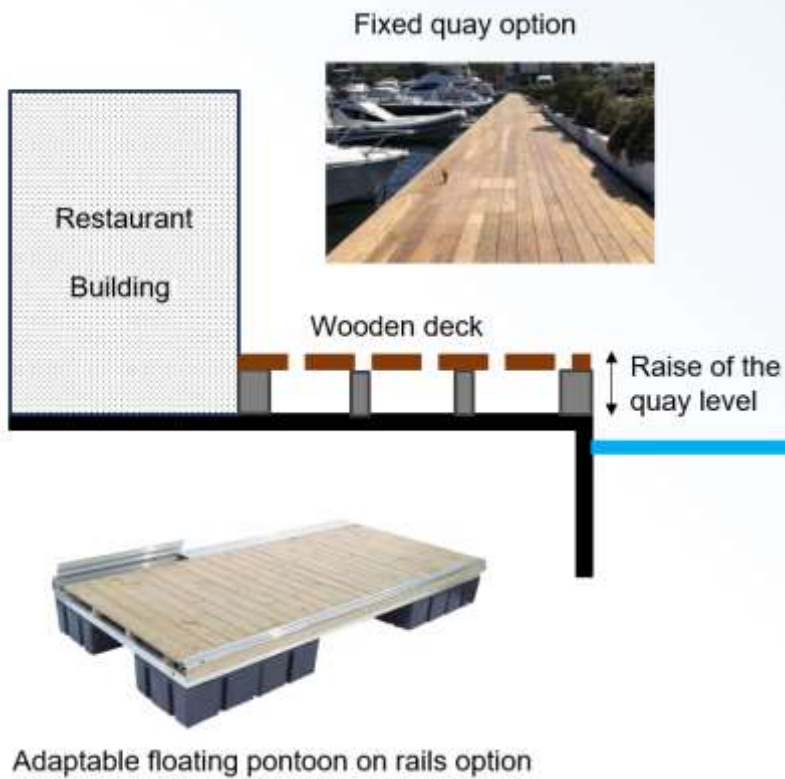
Secondo gli studi di vulnerabilità, considerando i potenziali impatti fisici dei cambiamenti climatici sulle aree costiere combinati con gli aspetti socioeconomici, risulta che devono essere intraprese almeno tre azioni urgenti:

- Riprogettazione e costruzione delle banchine basse di Ischia Porto
- Stabilizzazione dell'erosione delle falesie per la protezione della strada a Forio
- Stabilizzazione dell'erosione per l'eliporto dell'isola

Località: Ischia Porto (40.74428471694494, 13.942420259263367)		Foto	
		 	
Adattamento	<p>Innalzamento del livello della banchina con un muro di protezione in calcestruzzo lungo il bordo delle banchine attuali nel tratto dei ristoranti, con un ponte in legno sulla parte superiore.</p> <p>2 opzioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impalcato fisso in legno su pali fissi in calcestruzzo - Ponte galleggiante adattabile (pontone) su rotaie che variano con il livello del mare 	Criticità	Porto principale dell'isola per passeggeri e
Eventi storici	Aqua Alta	Stima dei costi	2 M€ (banchine fisse) - 3 M€ (pontone galleggiante adattabile su rotaie)
Note	Va notato che il modello costale mostrava l'inondazione anche in		

altre parti del porto di Ischia, ma a causa dell'imprecisione del modello digitale di elevazione vicino al livello del mare, non è stato possibile confermarlo completamente. È necessario un modello digitale di elevazione migliore per confermare la necessità di adattamento.

Layout di adattamento



Località: Forio (40.73112915085678, 13.855594217182011)

Foto



Adattamento	Stabilizzazione della scogliera contro l'erosione con un muro di contenimento e installazione di un frangiflutti naturale sulla parte sommitale del muro.	Criticità	La strada costiera rischia di essere inghiottita e gli edifici e le case sono in pericolo
Eventi storici	Crollo delle opere precedenti	Stima dei costi	10 - 15 M€
Layout di adattamento			

Posizione: Casamicciola Terme (40.75097601529328, 13.)		Foto	
Adattamento	Stabilizzazione dell'eliporto contro l'erosione costiera con un muro di contenimento e l'installazione di frangiflutti in roccia naturale sulla punta del muro.	Criticità	L'eliporto sul mare rischia di essere inondato.

Eventi storici	Movimenti strutturali dell'eliporto e fessurazione delle strutture superficiali.	Stima dei costi	5 milioni di euro (il costo può essere significativamente inferiore se può essere realizzato insieme, ad esempio, alle opere di protezione stradale di Forio, in quanto la parte più costosa del lavoro è la messa in opera di tutte le attrezzature necessarie).
Layout di adattamento	<p>Il diagramma illustra un layout di adattamento in un'area costiera. A sinistra, un'area è etichettata "heliport". Una linea grigia rappresenta una "wall" (parete) che si estende verso destra. Sotto questa parete, una serie di linee rosse orizzontali rappresentano "anchor rod" (ancore). A destra della parete, una "stepped retaining wall" (parete a gradini) si estende verso il mare. Sotto questa parete, una serie di linee rosse orizzontali rappresentano "anchor rod" (ancore). A destra della parete a gradini, un "breakwater" (breakwater) è rappresentato da una serie di blocchi grigi. Una linea blu orizzontale rappresenta il livello del mare.</p>		

3.4 Approvvigionamento idrico e acque reflue

3.4.1 Importanza socioeconomica dell'approvvigionamento idrico a Ischia

L'approvvigionamento idrico svolge un ruolo socioeconomico significativo sull'isola di Ischia. Un approvvigionamento idrico affidabile e sostenibile è fondamentale per sostenere l'industria turistica dell'isola, la produzione agricola, la conservazione dell'ambiente e la salute pubblica. Attualmente, Ischia è una destinazione turistica popolare, nota per i suoi splendidi paesaggi e le sue sorgenti termali naturali, con molti alberghi che contribuiscono direttamente o indirettamente all'economia dell'isola. Oltre alla popolazione, anche i turisti hanno bisogno di accedere all'acqua potabile per bere e per altre attività ricreative.

L'industria agricola, che attualmente copre il 9% della superficie dell'isola, necessita di un adeguato approvvigionamento idrico per l'irrigazione. Sebbene né il settore agricolo né quello industriale abbiano attualmente un consumo idrico molto elevato, secondo EVI (Energia Verde Idrica S.p.A.), la società responsabile dell'intera rete idrica dell'isola, questi numeri sono destinati ad aumentare. Infine, un approvvigionamento idrico sostenibile è fondamentale per mantenere gli ecosistemi locali e preservare gli habitat naturali, che sono cruciali per la protezione dell'ambiente, oltre che un'attrazione turistica.

3.4.2 Metodologia per la valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche e sull'approvvigionamento idrico

La metodologia applicata comprende le seguenti fasi:

1. Valutazione del potenziale impatto dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche

In primo luogo, sono stati valutati gli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche dell'isola di Ischia, analizzando le precipitazioni complessive, l'andamento delle precipitazioni, la qualità dell'acqua (compresa la qualità dell'acqua nel bacino della rete idrica) e identificando le risorse idriche locali dell'isola.

2. Valutazione del potenziale impatto dei cambiamenti climatici sulla domanda di acqua

Successivamente è stata condotta una valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sulla domanda di acqua esaminando come questa cambia in relazione all'aumento della temperatura, all'evapotraspirazione e alla domanda di acqua per settore.

- Valutazione del potenziale impatto dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture

Infine, sono stati valutati gli impatti dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture attraverso risposte qualitative su eventi passati e hotspot. Inoltre, le infrastrutture idriche nelle aree a rischio sono state identificate sovrapponendo le mappe dell'approvvigionamento idrico, delle condotte di irrigazione, delle stazioni di pompaggio, degli impianti di trattamento, delle acque reflue trattate e dei deflussi con le mappe delle frane e delle inondazioni costiere (GIS).

- Sviluppo di attività di adattamento ai cambiamenti climatici

Dopo aver valutato gli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche, sulla domanda e sulle infrastrutture idriche, sono state sviluppate le attività di adattamento ai cambiamenti climatici. Sulla base delle informazioni qualitative raccolte attraverso interviste, la diversificazione delle risorse idriche e la gestione di queste (ricarica delle acque sotterranee, stoccaggio, riutilizzo, ecc.) sono state identificate come attività vitali di adattamento ai cambiamenti climatici che necessitano di sviluppo. Sulla base delle infrastrutture idriche identificate come a rischio attraverso l'analisi GIS, ulteriori attività di adattamento ai cambiamenti climatici dovrebbero includere lo sviluppo di deviazioni delle condutture, stazioni di pompaggio e impianti di trattamento.

La valutazione si basa su una revisione della letteratura sui potenziali impatti climatici e sulle proiezioni dei cambiamenti climatici valutati dal consorzio. Lo stakeholder più importante è stato identificato in EVI S.p.A., responsabile dell'approvvigionamento idrico e della raccolta e trattamento delle acque reflue. La consultazione delle parti interessate con EVI è stata condotta per valutare le questioni di approvvigionamento idrico relative alle risorse idriche locali utilizzate a Ischia.

Durante la consultazione sono state discusse anche le risorse idriche che alimentano la rete idrica, le condizioni generali dell'approvvigionamento idrico e del trattamento delle acque reflue, nonché gli impatti osservati in passato sulla rete idrica. Inoltre, sono stati valutati gli impatti socioeconomici della situazione di vulnerabilità dell'approvvigionamento idrico a Ischia.

3.4.3 Risorse idriche

Ischia dispone di diverse risorse idriche locali, che in passato sono state utilizzate anche per l'approvvigionamento idrico. Una panoramica della rete fluviale è riportata nella Figura 3-26. Inoltre, l'isola possiede diverse sorgenti fredde e calde. Le sorgenti principali sono Buceto e Nitrodi.

In passato, fino al 1960, l'acqua veniva fornita tramite motrici che trasportavano l'acqua dalle sorgenti naturali di Buceto con vasche di sedimentazione. Quest'acqua è ancora disponibile e può essere raccolta presso le sorgenti, ma non è clorata e quindi non può essere fornita ufficialmente. Dal 1985, l'acqua viene interamente fornita all'isola da Napoli attraverso 3 condotte. Ci sono anche molti pozzi privati. Buceto si trova a un'altitudine di 400 m s.l.m. e ha un potenziale di 60 m³ al giorno, la Nitrodi si trova a 250 m s.l.m. e può fornire 30 m³ al giorno. La sorgente Iervaniello (vicino a Buceto) è una fonte non perenne, dipendente dalle condizioni meteorologiche, che fornisce 20 m³/giorno nel periodo piovoso dell'anno, da settembre a maggio.

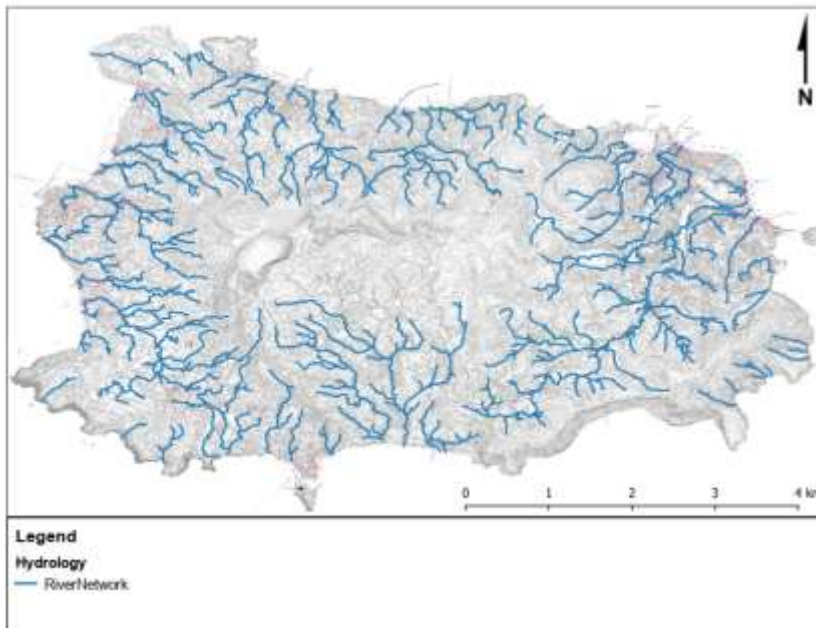


Figura 3-26 Rete fluviale di Ischia

Le tre condotte sottomarine che raggiungono Ischia forniscono acqua dall'Italia continentale. L'acqua fornita da queste condutture proviene da pozzi di acqua freatica che non sono influenzati da eventi meteorologici estremi, ma potrebbero essere influenzati da cambiamenti delle condizioni climatiche che influiscono sulla ricarica delle falde acquifere. Nel 2012 è stata segnalata una carenza di approvvigionamento idrico, della sarebbe necessario esaminare le condizioni dettagliate che l'hanno determinata. La desalinizzazione è considerata troppo costosa: i costi della RO sono stimati in 10 euro per m³.

3.4.4 Approvvigionamento e utilizzo dell'acqua a Ischia

L'intera dotazione idrica di Ischia da luglio a ottobre ammonta a 40.000 m³/giorno. In inverno, l'approvvigionamento idrico è di 28.000 m³/giorno. L'acqua termale di falda viene pompata da vari pozzi lungo la fascia costiera di Ischia per rifornire gli stabilimenti termali dell'isola. Sebbene sia economicamente vantaggioso per l'isola, il pompaggio delle acque sotterranee può avere effetti potenzialmente dannosi sulla qualità dell'acqua e sulla ricarica delle falde acquifere e deve essere gestito in modo sostenibile³⁶.

36

https://www.researchgate.net/publication/344979938_Relationship_Between_Aquifer_Pumping_Response_and_Quality_of_Water_Extracted_from_Wells_in_an_Active_Hydrothermal_System_The_Case_of_the_Island_of_Ischia_Southern_Italy. Piscopo et al. 2020, *Water* 12(9):2576, DOI: 10.3390/w12092576

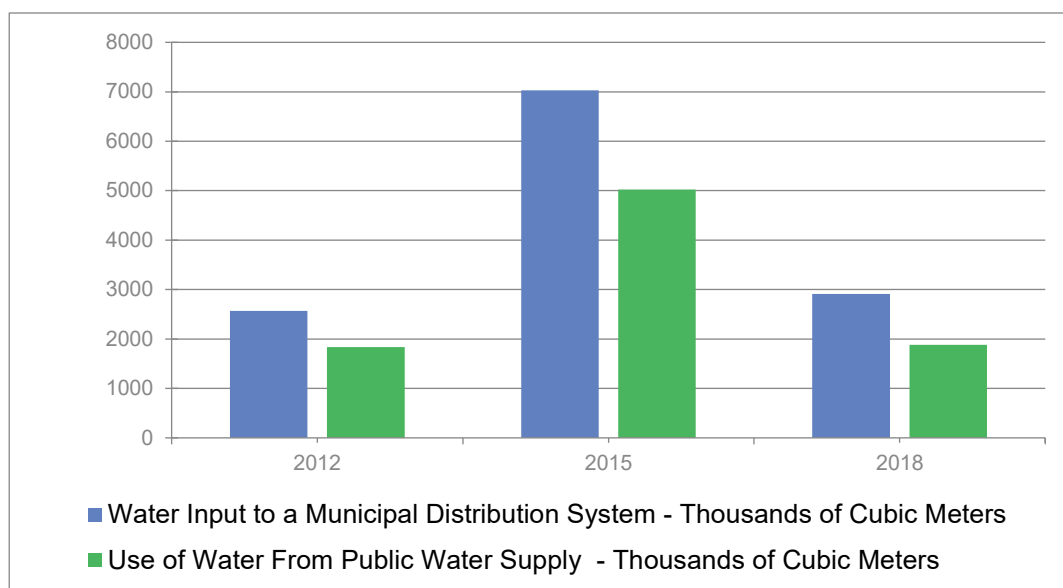


Figura 3-27 Apporto e utilizzo di acqua a Ischia nel passato (Fonte: Knoema Dataservice)³⁷

3.4.5 Stato attuale delle infrastrutture per le acque reflue

Ischia è divisa in sei comuni, ognuno dei quali ha un proprio sistema di acque reflue. Tuttavia, questi impianti di trattamento delle acque reflue sono considerati obsoleti e non funzionali. Secondo un rapporto di Technital³⁸, la rete fognaria esistente nel comune di Casamicciola Terme, che serve il 30% della popolazione, è costituita da una rete di tubi di plastica che raccolgono sia le acque reflue che quelle piovane di superficie. In caso di forti piogge, queste tubature spesso scoppiano e causano allagamenti nelle cantine e negli scantinati, perché la rete di tubature è sottodimensionata e non è in grado di gestire il carico in queste condizioni.

In un audit energetico condotto da Intelligent Energy Europe, è stato riportato che nel 2011 l'isola non disponeva di un sistema di trattamento delle acque reflue di base e che la maggior parte delle acque reflue veniva scaricata direttamente in mare. Sebbene sia in corso un progetto per la realizzazione di un impianto di trattamento, il riutilizzo per l'irrigazione delle piantagioni di pini e la protezione del mare dall'inquinamento, attualmente non è previsto il riutilizzo delle acque trattate.

3.4.6 Impatto dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche, sull'approvvigionamento idrico, sull'irrigazione e sul trattamento delle acque reflue

L'impatto dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche dell'isola non è stato valutato in modo approfondito, poiché la principale fornitura di acqua potabile proviene dalla terraferma. Secondo la percezione dello stakeholder EVI intervistato, le frane e le inondazioni non hanno avuto un impatto sulle principali risorse idriche dell'isola. Non sono state condotte valutazioni sulla terraferma in merito alla vulnerabilità delle fonti idriche a causa degli impatti dei cambiamenti climatici, ma in generale si possono ipotizzare i rischi principali, come ad esempio:

- Il cambiamento delle precipitazioni determina una minore ricarica delle falde acquifere e quindi una minore disponibilità di risorse idriche;
- L'aumento della temperatura porta a una maggiore richiesta di acqua, a una maggiore evapotraspirazione e a un aumento della domanda per l'irrigazione, riducendo la disponibilità di acqua superficiale necessaria per la ricarica delle falde acquifere ed esercitando un'ulteriore pressione sull'estrazione dalle fonti idriche sotterranee;

³⁷ https://knoema.com/IS_DCCV_CONSACQUA/public-water-supply-use-italy?territory=1035740-ischia

³⁸ [Ristrutturazione della rete fognaria del comune di Casamicciola sull'isola di Ischia \(Italia\) - Technital Spa](#)

- Estrazione di acque sotterranee (sfruttamento eccessivo a causa dell'aumento della domanda) che porta alla salinizzazione dei pozzi vicini alla costa.

Per quanto riguarda le infrastrutture di approvvigionamento idrico, molte condotte e reti fognarie si trovano in aree soggette a frane e alluvioni. Nell'ultimo evento franoso del novembre 2022, una parte di Casamicciola Terme, con 1.000 residenti, è rimasta senza acqua per 4 mesi. I lavori di riparazione per i danni infrastrutturali alle linee di approvvigionamento idrico sono stati di 250.000 €. Altri costi (6 milioni di euro) sono stati sostenuti per la riparazione e il dragaggio della rete fognaria, in quanto la sabbia e il fango provenienti dalle frane sono entrati nella rete fognaria mista e l'hanno intasata. Ciò ha portato all'inondazione e alla contaminazione degli edifici con acque reflue non trattate, con conseguenti costose misure di riparazione. Anche il pretrattamento delle acque reflue è stato compromesso e ha portato a un maggiore scarico di acque reflue non trattate in mare. Questo sembra essere il danno maggiore legato agli impatti dei cambiamenti climatici sull'azienda pubblica di approvvigionamento idrico, che richiede investimenti in infrastrutture a prova di eventi climatici. Questo aspetto viene analizzato in modo più dettagliato nei sottocapitoli seguenti.

Infrastrutture per l'approvvigionamento idrico e fognature in aree soggette a smottamenti

Molte parti delle reti fognarie miste e degli scarichi misti coperti (Alveo tombato misto-scatolare) sono situate in regioni o in prossimità di regioni soggette a frane (cfr. Figura 3-28) e sono quindi interessati dal deflusso superficiale di fango che può potenzialmente intasare le fognature miste e causare danni di allagamento da acque reflue menzionati dagli stakeholder.

I comuni principalmente interessati sono mostrati in Figura 3-28 ed elencati di seguito:

1. Barano d'Ischia (la più colpita, vedi ingrandimento in Figura 3-29),
2. Casamicciola Terme,
3. Lacco Ameno,
4. Serrara Fontana

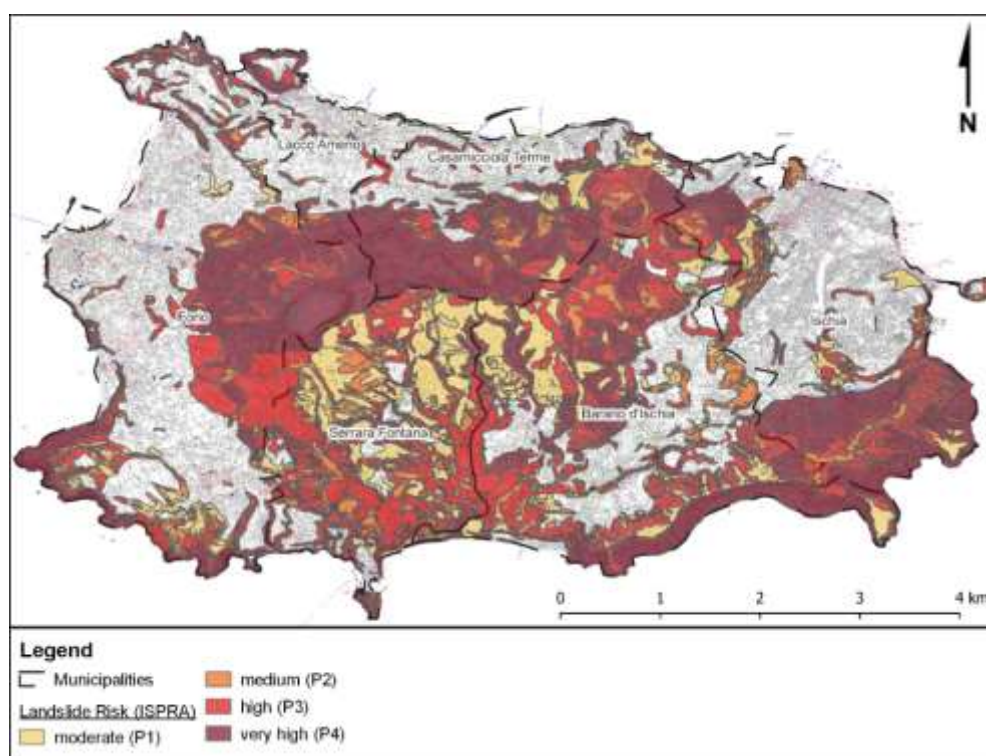


Figura 3-28 Sovrapposizione della rete di acque reflue con il rischio di frana.

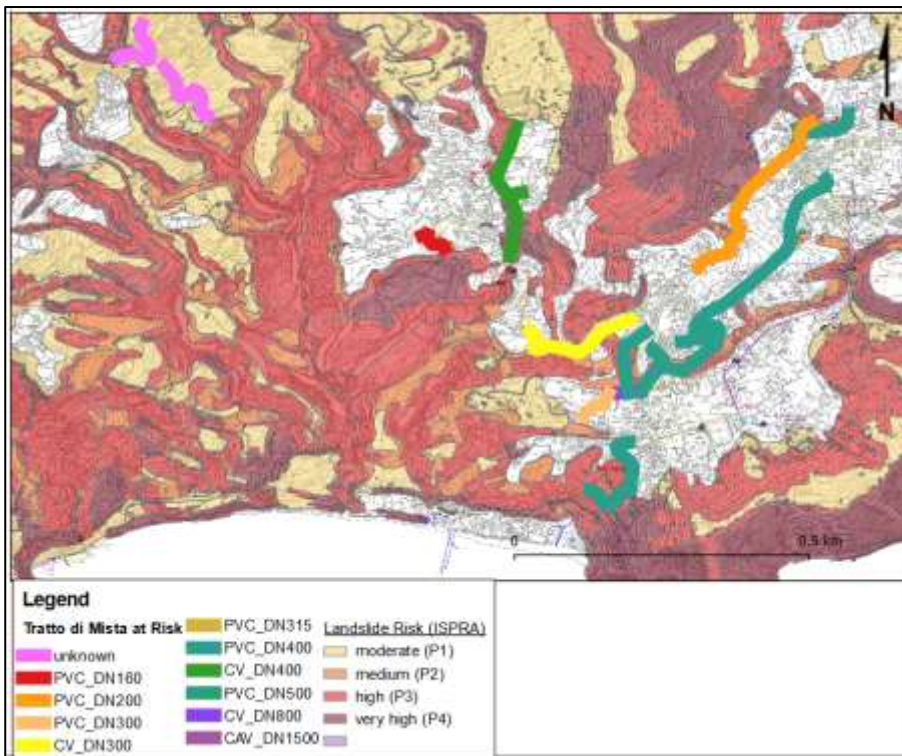


Figura 3-29 GIS Condotte miste di acque reflue a rischio: zoom su Barano d'Ischia (più colpito)

Complessivamente, sono a rischio circa 9.685 m di condotte di fognatura mista, di cui 5.603 m a rischio elevato e 4.082 m a rischio medio. Per queste valutazioni sono stati considerati a rischio elevato i tratti di condotta che si trovano all'interno dei confini del rischio di frana (ISPRA), mentre sono stati considerati a rischio medio i tratti direttamente adiacenti o collegati a parte di una condotta che si trovava all'interno dei confini del rischio di frana.

A titolo informativo, di seguito vengono riportate valutazioni "di alto livello" delle condotte che hanno il solo scopo di fornire stime approssimative ai fini del presente studio e che devono essere approfondite per un'analisi più precisa. Come si vede nella legenda, il diametro varia da 160 a 1.500 mm e i materiali sono PVC o vibrocemento (CV). In alcuni casi, il diametro non è stato incluso e quindi esiste una categoria denominata "sconosciuto". Nelle aree ad alto e medio rischio è stata misurata l'intera lunghezza della condotta, dalla sorgente allo scarico.

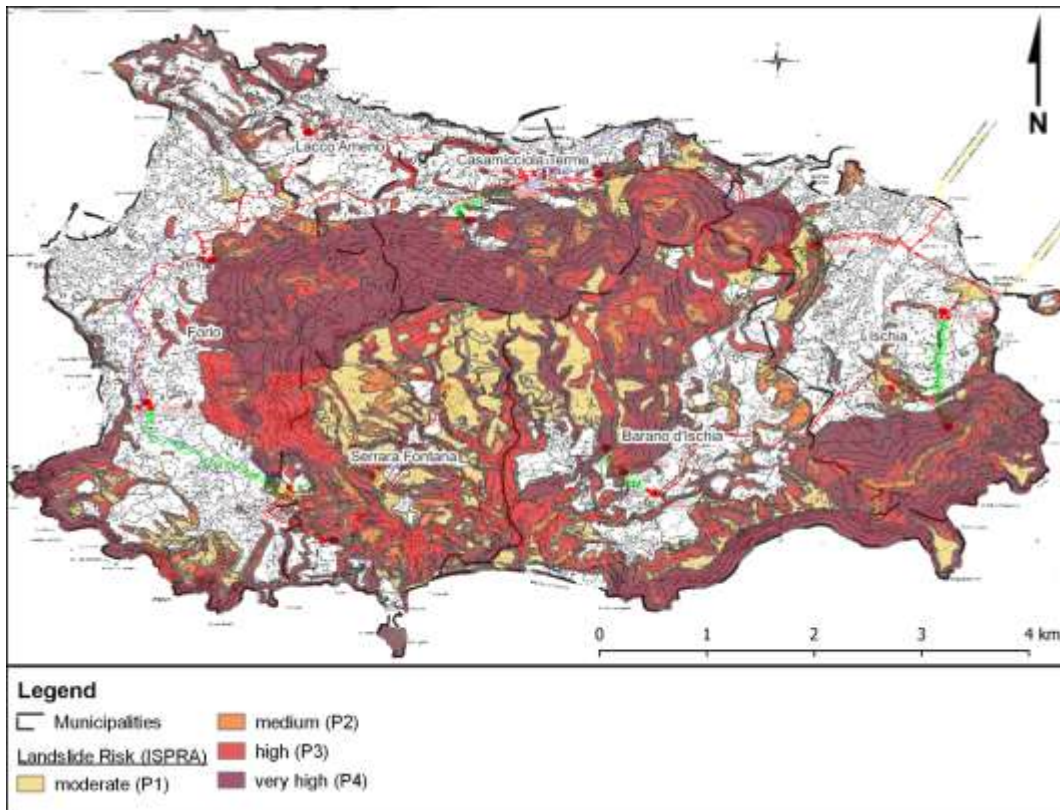


Figura 3-30 Sovrapposizione della rete di distribuzione dell'acqua potabile con il rischio di frana.

Sebbene i danni complessivi in termini monetari alla fornitura di acqua potabile menzionati dagli stakeholder non siano stati così elevati come per la rete fognaria, gli impatti sulla popolazione sono stati molto gravi, in quanto l'interruzione della fornitura di acqua è stata prolungata e si è resa necessaria l'evacuazione dalle abitazioni (1.000 persone per 4 mesi nel 2020).

L'interruzione della rete semicircolare dell'isola in un solo punto impatterebbe anche l'intero tratto successivo, rendendo l'approvvigionamento idrico dell'isola molto vulnerabile ai danni. Molte parti delle linee di alimentazione principali sono situate in aree soggette a frane e sono quindi a rischio di danneggiamento, con possibile interruzione della linea di alimentazione principale (cfr. Figura 3-30).

Complessivamente, sono a rischio 18.492 m di condotte per l'acqua potabile. Questo numero comprende l'intera lunghezza delle condutture da un serbatoio all'altro, anche se non tutte le aree sono a rischio frana. Se la maggior parte della condotta è sotto il limite del rischio di frana, è stata classificata come ad alto rischio. La condotta è stata classificata come a rischio medio se una parte della condotta era collegata a un confine di rischio di frana, ma più nelle aree a rischio moderato o con un'ampia porzione di condotta adiacente al confine. Per quanto riguarda i serbatoi tampone, secondo la definizione di cui sopra, ci sono 6 serbatoi in aree a rischio da elevato a molto elevato e 7 in aree da rischio moderato a elevato.

I comuni in cui la distribuzione dell'acqua potabile è maggiormente toccata sono mostrati in Figura 3-330 ed elencati di seguito:

- Serrara Fontana (più colpita)
- Casamicciola Terme
- Lacco Ameno
- Ischia
- Barano d'Ischia

A titolo informativo, di seguito vengono riportate valutazioni "di alto livello" delle condotte che hanno il solo scopo di fornire stime approssimative ai fini del presente studio e che devono essere approfondite per un'analisi più precisa. Come si vede nella legenda, lo spessore del diametro varia da 60 a 350 mm.

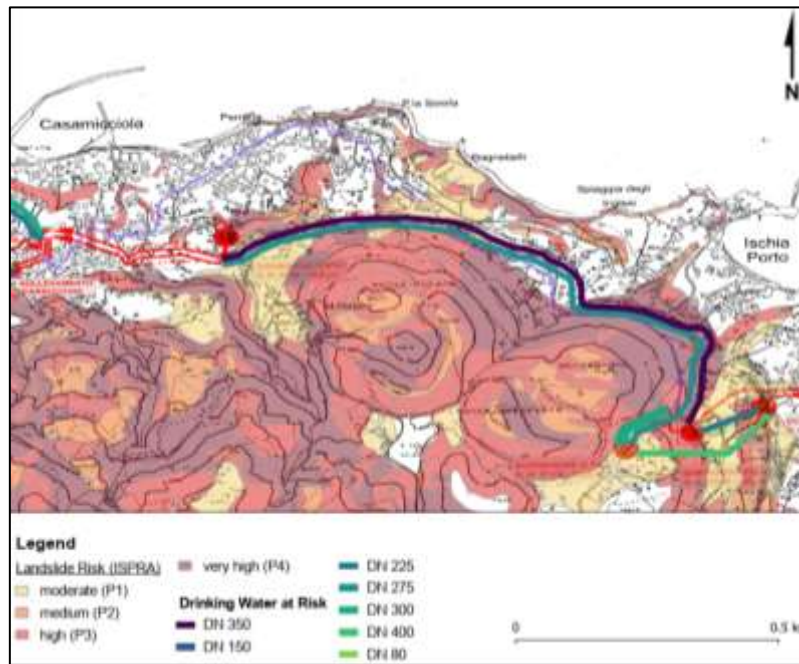


Figura 3-31 Condotte dell'acqua potabile a rischio: Zoom su Ischia e Casamicciola Terme. (DN = Diametro nominale, diametro della condotta [mm])

Infrastrutture di approvvigionamento idrico e fognario soggette a inondazioni

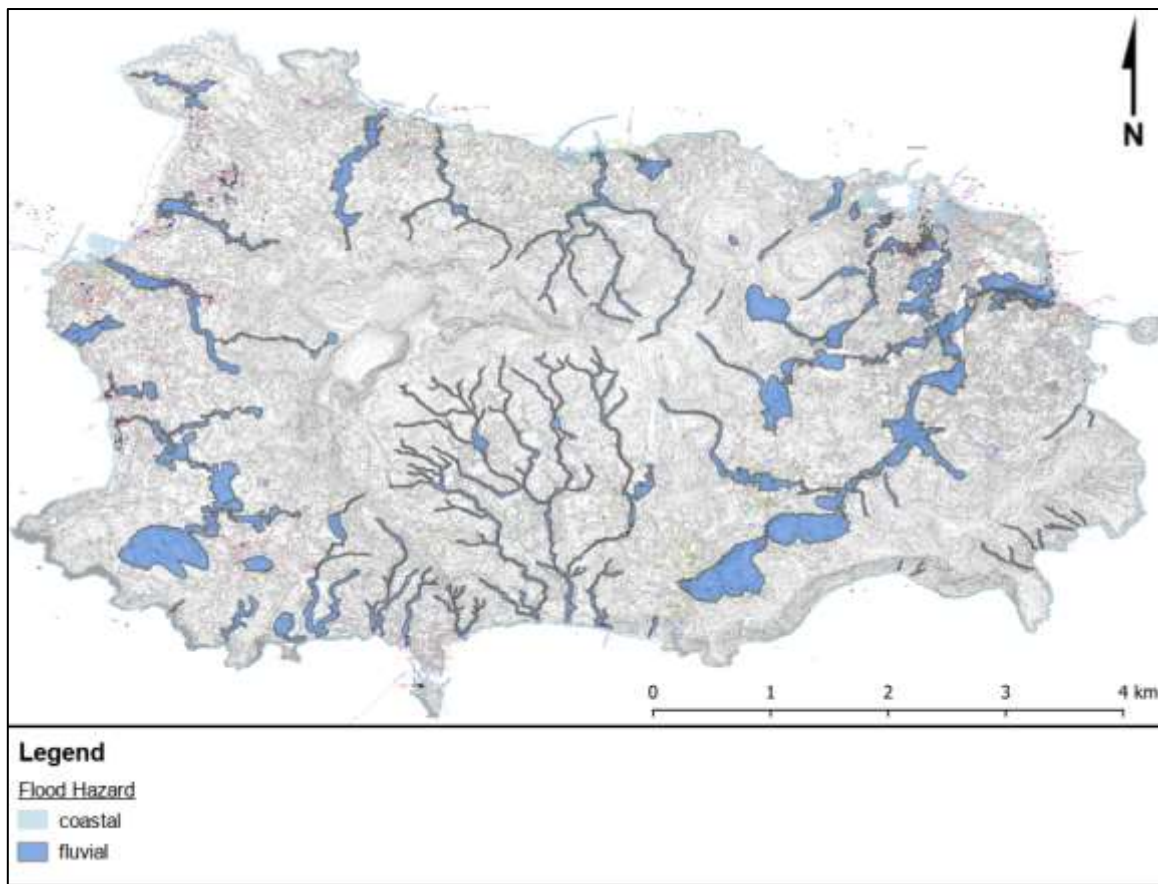


Figura 3-32 Sovrapposizione della rete delle acque reflue e della rete di drenaggio con la mappa del rischio di alluvione

Oltre il 30% del sistema di drenaggio, comprese le condotte per le acque meteoriche (Tratto di bianca) e la rete fognaria mista (Tratto di mista), attraversa regioni soggette a inondazioni (cfr. Figura 3-332). Sono quindi a rischio di esondazione e si presume che in passato non abbiano contribuito adeguatamente a proteggere gli insediamenti circostanti dalle inondazioni.

I comuni principalmente interessati (dal più colpito al meno colpito) sono elencati di seguito:

1. Ischia (la più colpita),
2. Forio,
3. Barano d'Ischia (vedi ingrandimento Figura 3-33),
4. Serrara Fontana,
5. Casamicciola Terme,
6. Lacco Ameno

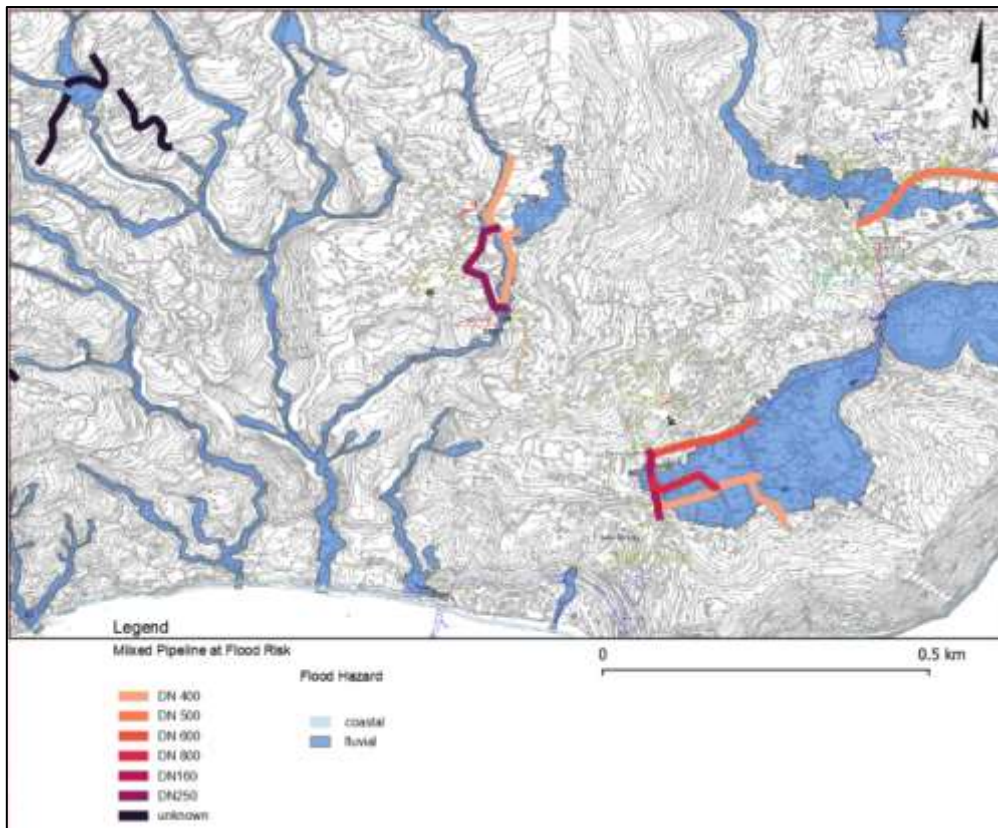


Figura 3-33 Sistema di drenaggio a rischio di alluvione: Zoom su Barano d'Ischia (terzo comune più colpito dalle alluvioni)

Complessivamente, circa 9.133 m di condotte fognarie miste (Tratto di mista) e 8.170 m di linee di drenaggio (Tratto di bianca) attraversano aree soggette a inondazioni. Ogni volta che una condotta fognaria attraversa un'area a rischio di alluvione, si è ipotizzato che l'intera linea di drenaggio comporti un rischio di allagamento per gli insediamenti circostanti. La Figura 3-33 illustra di conseguenza le condotte di drenaggio delle acque meteoriche a rischio per il comune di Barano d'Ischia. In questo comune non ci sono singole condotte di drenaggio delle acque piovane a rischio, per questo motivo non sono presenti nella Figura e quindi nella legenda della Figura; tuttavia, in altri comuni esistono singole condotte di drenaggio delle acque piovane a rischio.

Come nel caso delle mappe e delle stime fornite nel capitolo sulle frane, vengono riportate misurazioni "di alto livello" delle lunghezze delle condotte, che hanno il solo scopo di fornire stime approssimative ai fini di questo studio e che devono essere studiate più in dettaglio per un'analisi più precisa. Come si vede nella legenda, lo spessore del diametro varia da 160 a 600 mm. In alcuni casi, il diametro non è stato incluso e quindi esiste una categoria denominata "sconosciuto".

3.4.7 Valutazione della vulnerabilità

Riassumendo la vulnerabilità dei diversi settori idrici legata ai rischi climatici, considerando l'esposizione ai cambiamenti previsti per il 2050 e la sensibilità del settore, si può concludere che l'aumento della temperatura e il cambiamento delle precipitazioni comportano il rischio maggiore per la disponibilità di risorse idriche e la praticabilità dell'agricoltura, che sono altamente esposte e vulnerabili a questi rischi in assenza di ulteriori misure di adattamento. Le frane rappresentano il rischio maggiore per le acque reflue, soprattutto se raccolte insieme alle acque meteoriche. Anche l'approvvigionamento idrico è fortemente influenzato dalle frane, sebbene non sia esposto nella stessa misura dei sistemi fognari misti: le condutture sono minacciate direttamente dalle frane in misura minore.

Esposizione					
Pericolo climatico	Risorse idriche	Approvvigionamento idrico	Irrigazione	Acque reflue	Media del settore
Alte temperature	3	1	3	1	2
Siccità	3	1	3	1	2
Frane	1	2	2	3	2
Inondazioni costiere	1	1	1	2	1

Figura 3-34 Esposizione dei settori idrici ai rischi climatici rilevanti

Sensibilità					
Pericolo climatico	Risorse idriche	Approvvigionamento idrico	Irrigazione	Acque reflue	Media del settore
Alte temperature	2	1	2	1	2
Siccità	2	1	2	1	2
Frane	2	3	2	3	3
Inondazioni costiere	1	1	1	2	1

Figura 33-35 Sensibilità dei settori idrici ai rischi climatici rilevanti

Vulnerabilità					
Pericolo climatico	Risorse idriche	Approvvigionamento idrico	Irrigazione	Acque reflue	Media del settore
Alte temperature	3	1	3	1	2
Siccità	3	1	3	1	2
Frane	1	3	2	3	2
Inondazioni costiere	1	1	1	2	1

Figura 33-36 Vulnerabilità dei settori idrici ai principali rischi climatici

3.4.8 Attività di adattamento possibili e raccomandate

- i. Gestione delle risorse idriche
Diversificare le risorse idriche

Una prima attività di adattamento per la gestione delle risorse idriche si realizza attraverso la diversificazione delle fonti d'acqua. Ciò include l'identificazione e la valutazione di alternative ai collegamenti con le condotte dalla terraferma, tra cui le risorse locali. L'attenzione deve essere posta sulla vulnerabilità ai vari fattori di cambiamento climatico, come il cambiamento delle precipitazioni, i

modelli climatici, l'aumento dell'evapotraspirazione, l'interruzione della rete e l'intrusione di acqua salina.

- Proteggere le risorse idriche locali dell'isola

Poiché le acque sotterranee sono estratte in tutta Ischia, una gestione sostenibile delle acque sotterranee, proteggendo le risorse idriche locali attraverso zone di protezione per i corpi idrici superficiali e per le falde acquifere, sarebbe un'importante attività di adattamento. In questo modo si potrebbero mantenere le fonti di acqua sotterranea come fonte di emergenza sicura. Diversi pozzi utilizzati in passato potrebbero essere utilizzati a questo scopo.

Migliorare la raccolta dell'acqua piovana e la ricarica delle falde acquifere

Un'altra attività di adattamento potrebbe riguardare il miglioramento della raccolta dell'acqua piovana e della ricarica delle falde acquifere. Questo processo richiederebbe l'identificazione dei bacini di raccolta e delle aree di infiltrazione adatte e la conduzione di valutazioni di fattibilità su varie tecnologie di ricarica gestita delle falde acquifere (MAR), come bacini di infiltrazione e pozzi di infiltrazione. Anche il miglioramento dell'accumulo locale di acqua attraverso strutture di raccolta dell'acqua piovana per l'irrigazione potrebbe avere un impatto, dato che il 60% dell'acqua viene utilizzato per l'irrigazione dei giardini.

- Ampliamento del sistema di drenaggio delle acque piovane per affrontare gli allagamenti

Nelle aree a rischio di inondazioni si potrebbe aumentare il diametro delle condutture di drenaggio delle acque piovane. Questo non solo proteggerebbe gli insediamenti circostanti dai danni causati dall'acqua, ma favorirebbe anche un migliore drenaggio delle acque meteoriche per un ulteriore utilizzo, ad esempio l'infiltrazione in altri luoghi. Complessivamente, circa 9.133 m di condotte fognarie miste (Tratto di mista) e 8.170 m di linee di drenaggio (Tratto di bianca) attraversano aree soggette a inondazioni, per un totale di 17.303 m di condotte. I costi per questa attività di adeguamento sono stati stimati a 12,00 milioni di euro per l'incremento del diametro di 50 mm. Ulteriori informazioni sulla stima dei costi, sui calcoli effettuati e sui presupposti sono riportate nell'Allegato 6. Si tratta di una stima preliminare; è possibile che alcuni sistemi di drenaggio delle acque piovane richiedano una pianificazione diversa e che la gestione dei bacini idrografici e la ricarica delle falde acquifere nel bacino idrico rendano superflua questa misura.

- Migliorare la gestione delle risorse idriche

Sebbene la valutazione delle risorse idriche provenienti dalla terraferma per l'approvvigionamento idrico di Ischia non rientri nell'ambito di questo studio, il miglioramento della raccolta delle acque piovane sulla terraferma sarebbe un elemento importante in un'ottica di gestione più ampia delle risorse idriche.

ii. Approvvigionamento idrico

- Sistemi ridondanti per la rete di approvvigionamento in aree a rischio di frana

L'installazione di sistemi alternativi per le reti di approvvigionamento nelle aree a rischio di frana aumenterebbe la resilienza della rete di approvvigionamento. In queste aree a rischio, i collegamenti alternativi alla rete principale, con nuove condotte collocate in aree sicure, fornirebbero connessioni aggiuntive che assicurerebbero la fornitura in caso di interruzione della linea principale. In questo caso, sarebbe necessario aggiungere un totale di 9.427 m di condotte. La Figura 3-37 mostra come questo potrebbe svilupparsi a Ischia e Casamicciola Terme. La stima della lunghezza aggiuntiva delle condotte è stata determinata reindirizzando approssimativamente i tratti di rete situati in aree soggette a frane verso aree meno a rischio. Per facilitare l'installazione del nuovo sistema di approvvigionamento, durante la valutazione della sua lunghezza potenziale si è cercato di assicurare l'allineamento lungo le strade, quando possibile. In questo scenario, un totale di 5.623 metri di nuova rete potrebbero essere installati lungo le strade.

In relazione a questo trasferimento, sarebbe necessario spostare 12 serbatoi tampone. Queste stime non tengono conto di altri fattori come la topografia, le infrastrutture o altri criteri di distribuzione dell'acqua. Per una stima più precisa, queste aree dovrebbero essere studiate ulteriormente e la lunghezza delle nuove condotte dovrebbe essere progettata sulla base di uno studio più approfondito. Per quanto riguarda il layout complessivo, una condotta aggiuntiva che collega i rami morti della rete a sud garantirebbe una maggiore sicurezza, in modo da poter approvvigionare l'acqua da entrambi i lati in caso di interruzione del circolo chiuso della rete (si veda la linea color petrolio nella Figura 3-37). Il nuovo collegamento richiederebbe 2.177 m di nuova condotta (parte della cifra sopra riportata per la lunghezza totale della condotta da aggiungere). Questo nuovo collegamento, tuttavia, attraversa ancora aree a rischio di frana, poiché questa zona dell'isola è altamente soggetta a smottamenti. I dettagli su come sono state determinate le lunghezze delle condotte sono riportati nel Capitolo 3.4.6.

I costi stimati per questa attività di adattamento sono 4,09 milioni di euro. Ciò include 3,78 milioni di euro per la deviazione di sezioni della condotta dell'acqua potabile vulnerabili alle frane in aree più sicure e circa 0,31 milioni di euro per l'integrazione delle due linee primarie della rete dell'acqua potabile in un'unica rete circolare. Ulteriori informazioni sulle stime dei costi, i calcoli effettuati e i presupposti sono riportate nell'Appendice 6.

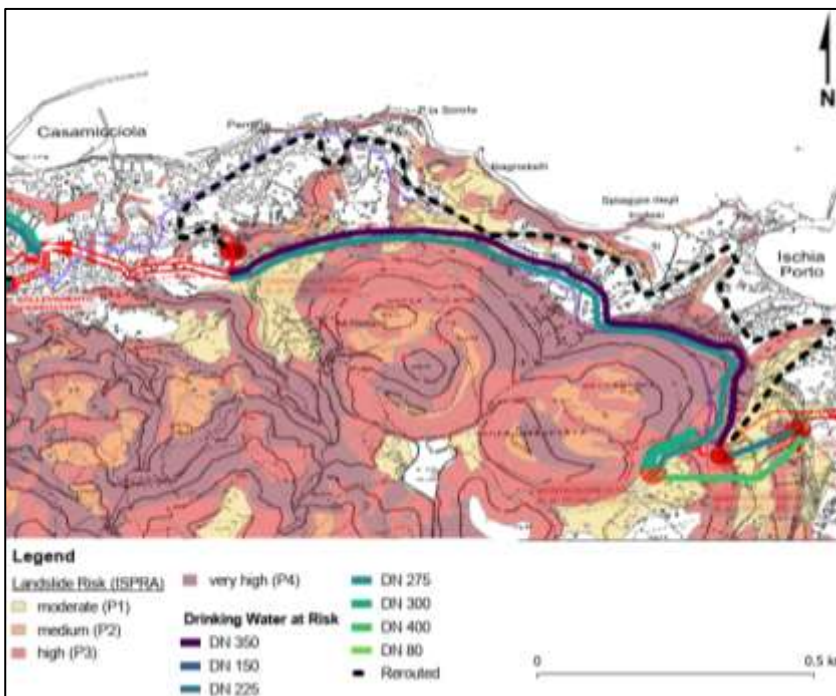


Figura 3-37 Possibile reindirizzamento della rete idrica per Ischia e Casamicciola Terme.

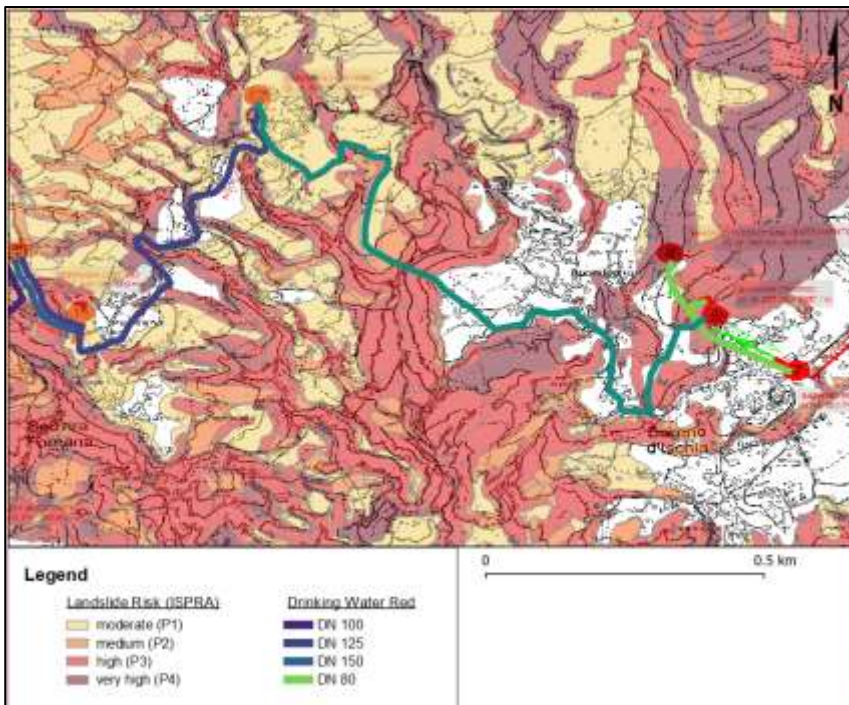


Figura 3-38 Possibile collegamento di entrambe le reti di acqua potabile in una rete circolare.

- Aumentare i sistemi di accumulo decentralizzati che possono essere utilizzati in caso di interruzione della rete centrale.

Individuare i luoghi adatti per la creazione di serbatoi tampone aggiuntivi, in grado di sopperire alle potenziali interruzioni della fornitura. L'attuale sistema di serbatoi tampone può essere ampliato o possono essere installati serbatoi aggiuntivi, aumentando l'indipendenza temporanea decentrata e garantendo inoltre una fornitura sufficiente in scenari di domanda fluttuante.

- Sistemi di trattamento di emergenza per interruzioni improvvise

I sistemi di trattamento di emergenza devono essere predisposti in caso di interruzione dell'approvvigionamento idrico. Piccoli sistemi di trattamento decentralizzati per la fornitura di acqua potabile essenziale da risorse idriche disponibili localmente possono ridurre la necessità di trasferire le famiglie in alberghi in situazioni di emergenza. Nei casi in cui non vi sia un accesso sicuro alle fonti di acqua dolce, l'osmosi inversa per la desalinizzazione dell'acqua potrebbe essere un'opzione.

- Migliorare il monitoraggio e la manutenzione della rete

Minimizzare le perdite complessive e installare valvole aggiuntive con la possibilità di interrompere piccole parti della rete in caso di danni alla rete (la rete esistente ha 60 anni e deve essere riparata). Attualmente si sta discutendo del miglioramento del sistema di monitoraggio per identificare più rapidamente le perdite e poterle quindi ridurre al minimo; questa idea può essere ulteriormente sviluppata con un solido studio di fattibilità.

iii. Acque reflue e irrigazione

- Installazione di una rete fognaria separata

Per risolvere l'intasamento della rete fognaria ed evitare i relativi danni, sarebbe necessario separare gli scarichi delle acque meteoriche dalla rete fognaria mista. Un progetto in corso (da 15 anni), che si è arenato per mancanza di fondi, è quello di creare tre diverse linee di scarico. Le acque meteoriche e le acque termali (bianche) andrebbero direttamente in mare, come avviene attualmente per la fognatura mista. Queste

sarebbero separate dalla linea di fognatura nera delle acque reflue, in modo da evitare l'ingresso di fango e l'intasamento. In totale, 9.685 m di rete fognaria mista si trovano in aree ad alto o medio rischio di frana, il che significa che sarebbe necessario realizzare un'ulteriore condotta di drenaggio delle acque meteoriche della stessa lunghezza per trasformare la rete fognaria mista a rischio in una rete fognaria separata più resiliente. I dettagli su come è stata determinata la lunghezza della condotta sono riportati nel Capitolo 3.4.6. 3.4.6.

Un esempio in cui è necessaria una riprogettazione della rete fognaria mista è il canale di scolo sotto via Monte della Misericordia:

Durante la missione sul campo a Ischia, è emerso che le 3 gole da cui la frana è entrata a Casamicciola Terme sono in fase di pulizia e vi si stanno installando misure di prevenzione idraulica. Il canale di scolo che passa sotto via Monte Della Misericordia non è stato riprogettato e non è stata valutata la sua capacità di contenere le acque provenienti dalle tre gole.

Si tratta inoltre di una fognatura mista che riceve le acque reflue dalle case lungo la strada. Pertanto, da un punto di vista turistico, lo sbocco della condotta non è in una posizione ottimale (accanto al porto di Casamicciola Terme, sulla spiaggia) e potrebbe essere trasferito ulteriormente verso il mare. La riprogettazione del condotto corrispondente costerebbe circa 0,43 M€.

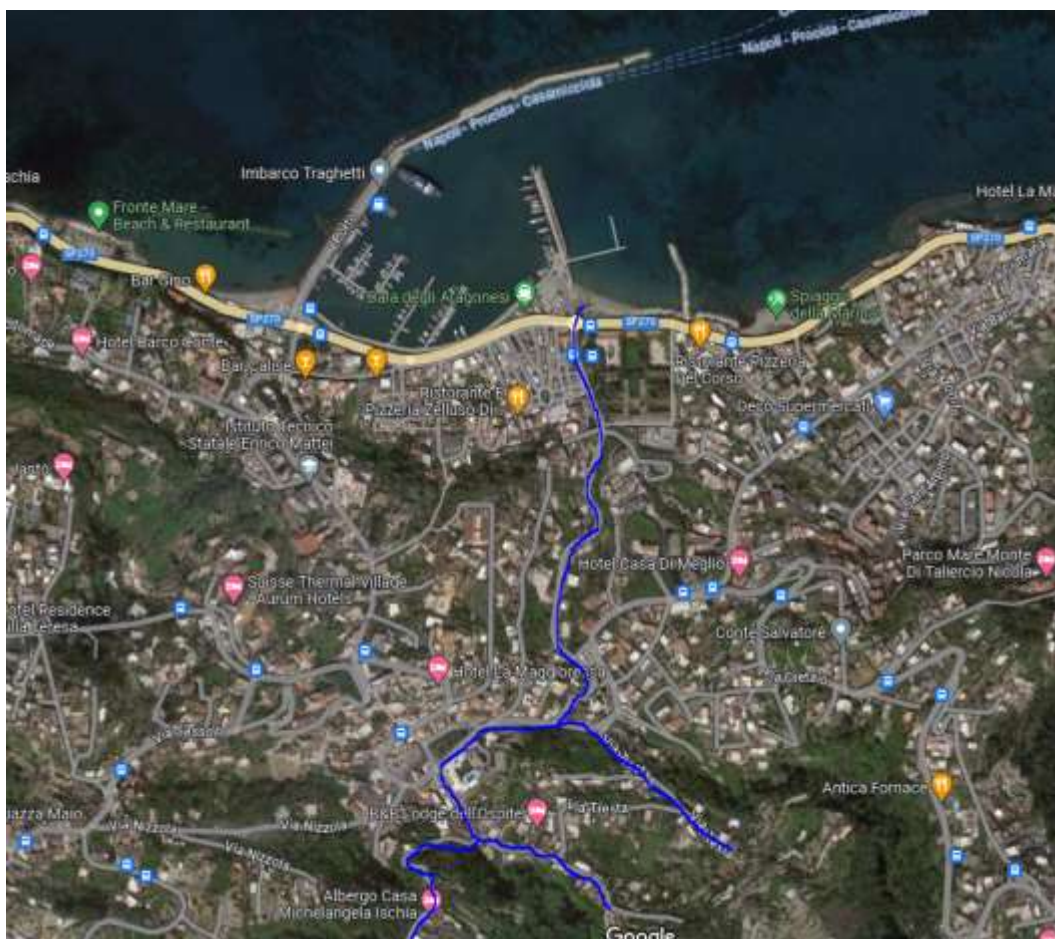


Figura 3-39. Canale delle acque reflue da riprogettare a Casamicciola Terme.

Come attività di adattamento a lungo termine, si raccomanda di riconvertire l'intero sistema fognario misto di Ischia in un sistema separato. In questo caso, sarebbe necessario installare altri 15.216 m di nuove condotte. Nota bene: questa stima è stata condotta sulla base di una determinazione semplificata e approssimativa. Una valutazione più dettagliata sul campo sarebbe necessaria per ottenere numeri più precisi, soprattutto per la stima dei costi.

I costi per la trasformazione della rete fognaria mista a rischio e per le aree a basso o nullo rischio di frana in una rete fognaria separata sono stati stimati rispettivamente a 4,22 M€ e 5,53 M€. Per ulteriori informazioni sulle stime dei costi, sui calcoli effettuati e sui presupposti, si rimanda all'Appendice 6.

- Aumentare la quota di acque reflue trattate

In generale, è necessario ampliare la copertura fognaria e creare impianti di trattamento delle acque reflue per aumentare la disponibilità di acqua da riutilizzare, dato che attualmente viene raccolto solo il 60% delle acque reflue. Il riutilizzo potrebbe sostituire l'uso dell'acqua potabile, riducendo così la pressione sulla sua estrazione.

- Considerare Nature Based Solutions (NBS) decentralizzate per il trattamento delle acque reflue.

Anche le NBS decentralizzate, come ad esempio le zone umide e a fitodepurazione, per il trattamento delle acque reflue dovrebbero essere seriamente valutate e prese in considerazione, poiché non richiedono sistemi fognari estesi e possono fornire co-benefici come la ricarica delle falde acquifere e il ripristino degli habitat. Un trattamento mirato, con la separazione delle acque nere e grigie, può creare maggiori opportunità di recupero e riutilizzo, ottimizzando l'uso delle fonti idriche disponibili.

- Pratiche agricole e di giardinaggio resistenti ai cambiamenti climatici

Si possono valutare opzioni per pratiche agricole e di giardinaggio resistenti al cambiamento climatico. Si possono implementare tecnologie di irrigazione più efficienti. La diversificazione delle colture, la selezione di colture resistenti alla siccità e le tecniche di agricoltura rigenerativa, come l'agricoltura biologica e le pratiche di permacultura, possono anche ridurre l'acqua necessaria per la produzione agricola e fare un uso più efficiente delle risorse idriche. In questo modo si può ridurre anche l'inquinamento da fonti non puntuali proveniente dall'agricoltura, proteggendo così la qualità delle risorse idriche locali.

Panoramica dei calcoli dei costi delle attività di adattamento selezionate:

Tabella 3-18 Panoramica delle attività di adattamento selezionate con stima dei costi

Attività di adattamento	Criticità	Stima dei costi
Reindirizzare le condutture dell'acqua potabile dalle aree soggette a frane a quelle a minor rischio.	Alto	3,78 M€
Collegamento delle due principali linee di rete dell'acqua potabile in un'unica rete circolare	Alto	0,31 M€
Trasformazione della rete fognaria mista ad alto rischio di frana in una rete fognaria separata	Alto	2,77 M€
Trasformazione della rete fognaria mista a medio rischio di frana in una rete fognaria separata	Medio	1,45 M€
Trasformare la rete fognaria mista nelle aree a basso o nullo rischio di frana in una rete fognaria separata.	Basso	5,53 M€

Ampliamento di 50 mm del sistema di drenaggio delle acque piovane che attraversa le aree soggette a inondazioni.	Alto	11,90 M€
--	------	----------

3.5 Fornitura di energia

3.5.1 Introduzione

Gli abitanti di Ischia utilizzano l'energia nell'industria manifatturiera, nell'agricoltura, nella silvicoltura, nella pesca, nel riscaldamento, nei trasporti e nelle infrastrutture comuni quali la rete idrica, le fognature e l'illuminazione stradale. Nel 1967, Ischia è stata collegata alla rete elettrica continentale attraverso quattro cavi sottomarini ad alta tensione che partono da Cuma, sulla costa campana, e arrivano fino a Lacco Ameno, a Ischia, acquisiti da ENEL S.p.A.

Per quanto riguarda il consumo di energia per il riscaldamento, viene utilizzato il gas naturale, in parte a livello di rete (che attualmente serve solo una parte delle famiglie in alcuni comuni dell'isola) e in parte attraverso serbatoi individuali a livello domestico.

Inoltre, il Comune di Serrara Fontana sta progettando la costruzione di un impianto geotermico pilota con un impianto di produzione di energia elettrica a biomassa, che sarà in grado di generare elettricità e calore senza produrre emissioni nell'ambiente. L'impianto pilota utilizzerà come fonte i fluidi geotermici. Esistono anche diverse iniziative pubbliche e private per l'installazione di pannelli fotovoltaici, con requisiti specifici atti a soddisfare le severe procedure di autorizzazione locali, per lo più legate alla conservazione dello status di patrimonio culturale dell'isola. Per questo motivo, non è possibile installare grandi campi fotovoltaici e gli impianti solari sono quindi limitati alle singole abitazioni.

L'analisi qui presentata si è basata sulle informazioni pubblicamente disponibili relative alla rete elettrica. Nonostante le richieste alle autorità locali e alla società di distribuzione dell'energia, non sono state fornite in tempo utile informazioni specifiche riguardanti la rete di distribuzione, le sue caratteristiche e l'ubicazione effettiva di trasformatori e cavi aerei. Questa mancanza di dati costituisce un ostacolo significativo per elaborare proposte di attività di adattamento dettagliate e specifiche per il sito, al fine di contrastare i rischi climatici identificati che sono stati valutati a livello generale.

3.5.2 Rete elettrica a Ischia

Come riportato precedentemente, Ischia è stata collegata alla rete elettrica continentale nel 1967 attraverso quattro cavi sottomarini ad alta tensione che partono da Cuma, sulla costa campana, e arrivano fino a Lacco Ameno, a Ischia, acquisiti da ENEL S.p.A.

Il sistema elettrico tradizionale comprende le centrali elettriche, il trasformatore step-up, le linee di trasmissione fino al trasformatore step-down della sottostazione e i cavi di distribuzione per i clienti, come illustrato nella Figura 1. Ad Ischia non esiste una centrale elettrica, poiché l'elettricità viene trasferita attraverso i cavi sottomarini ad alta tensione dalla terraferma direttamente all'isola.

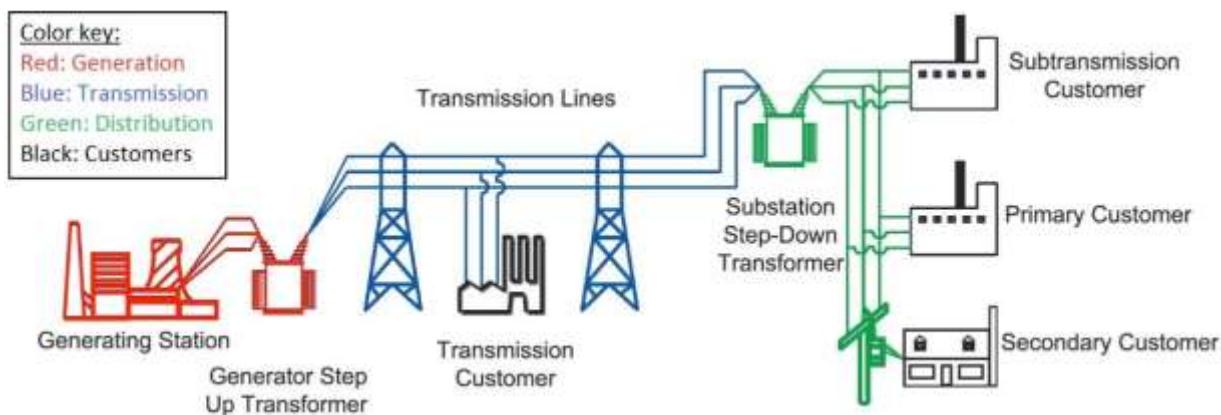


Figura 3-40. Panoramica del sistema elettrico tradizionale

Le interruzioni di corrente, causate da disastri naturali, possono provocare incidenti, interrompere l'attività economica e rendere difficile la risposta alle emergenze fino a quando non viene ripristinata la fornitura di energia elettrica ai servizi vitali.

Nel breve, medio e lungo periodo, il clima cambierà, aumentando il numero di rischi per le infrastrutture che supportano l'approvvigionamento energetico.

Nelle sezioni seguenti vengono elencate le principali minacce identificate per l'approvvigionamento energetico.

3.5.3 Frane

Con l'aumento delle precipitazioni e dei casi di forti piogge, cresce la possibilità di movimenti massivi di terreno su larga scala. Le frane, conseguenza diretta di tali fenomeni, possono arrecare danni ai componenti dell'impianto, provocando una diminuzione della produzione di energia, l'arresto dell'impianto stesso e limitazioni nell'accesso al sito per le necessarie riparazioni .

La mappa di accompagnamento (Figura 3-41) mostra gli edifici a rischio di smottamenti sulla base dei dati GIS, con particolare attenzione all'ubicazione delle infrastrutture per la distribuzione di energia.

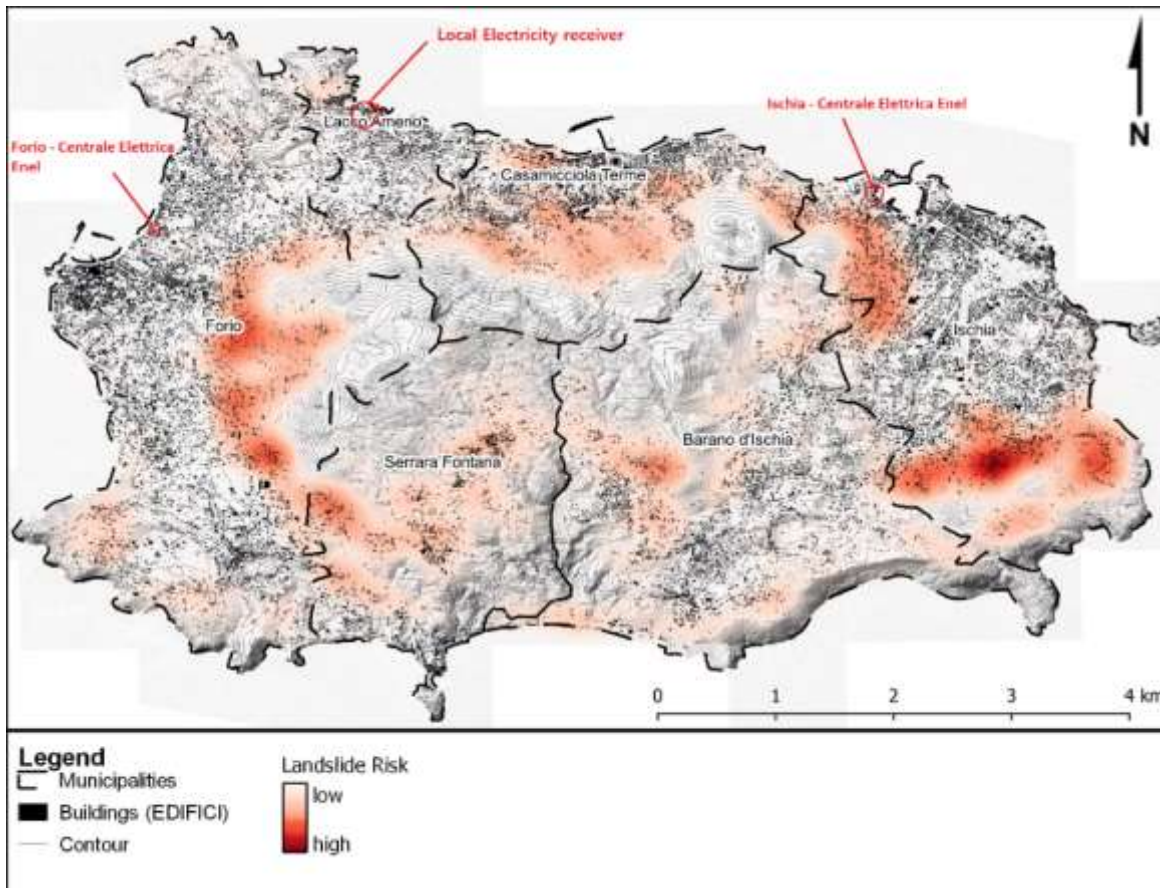


Figura 3-41. Rischi di frana sulle stazioni elettriche in base ai dati GIS.

Le tre località menzionate in Figura 3-41, per i centri di distribuzione dell'energia elettrica e il ricevitore locale, sono caratterizzate da un basso rischio di frana in base ai dati GIS presentati. Esistono alcuni rischi legati alle linee di trasmissione dell'energia elettrica tra i centri di distribuzione e i clienti in diversi edifici di Ischia, come mostrato nella stessa mappa.

In generale, le frane possono causare la caduta di torri/pali e danni strutturali dovuti alla caduta degli alberi.

3.5.4 Inondazioni fluviali

Le carenze di energia elettrica e le inondazioni sono frequentemente correlate. Le fondamenta delle torri di trasmissione vengono indebolite dall'erosione causata dalle inondazioni. Quando le apparecchiature elettriche entrano in contatto con l'acqua, si possono verificare gravi danni, spesso esplosivi. Inoltre, danni dovuti all'umidità e all'ingresso di sporcizia richiedono lunghe riparazioni sulle apparecchiature sommerse.

Poiché l'acqua è un eccellente conduttore di elettricità, alcuni componenti di apparecchiature elettriche possono subire guasti catastrofici anche in presenza di quantità limitate di umidità e sporcizia.

Le sottostazioni sono più vulnerabili alle inondazioni a causa del loro uso diffuso e della notevole concentrazione di apparecchiature delicate. La scala di misurazione dei danni e dell'interruzione del servizio causati dalle inondazioni sulle apparecchiature delle sottostazioni è riportata nella tabella 3.19. *Tabella 3.19.*

Tabella 3-19. Danni da allagamento e modalità di guasto delle apparecchiature di sottostazione

Scala dei danni	Descrizione
Lieve/minore	Spegnimento preventivo. Interventi
Moderato	Inondato, riparazioni economicamente fattibili
Grave	Inondato, al di là di ogni possibilità economica di riparazione
Catastrofico	Esplosione

Le inondazioni, event natural influenzao dalla geografia e dalle precipitazioni, possono verificarsi in diversi contensti, compresi luoghi pianeggianti come le pianure alluvionali e gli estuari, nonché le valli con torrenti e fiumi. Di conseguenza, le infrastrutture per la fornitura di energia possono occasionalmente trovarsi sommerse, con conseguenti danni o addirittura la distruzione del sistema. Sulla base dei dati GIS, la seguente mappa (Figura 3-42) mostra le infrastrutture a rischio di inondazione.

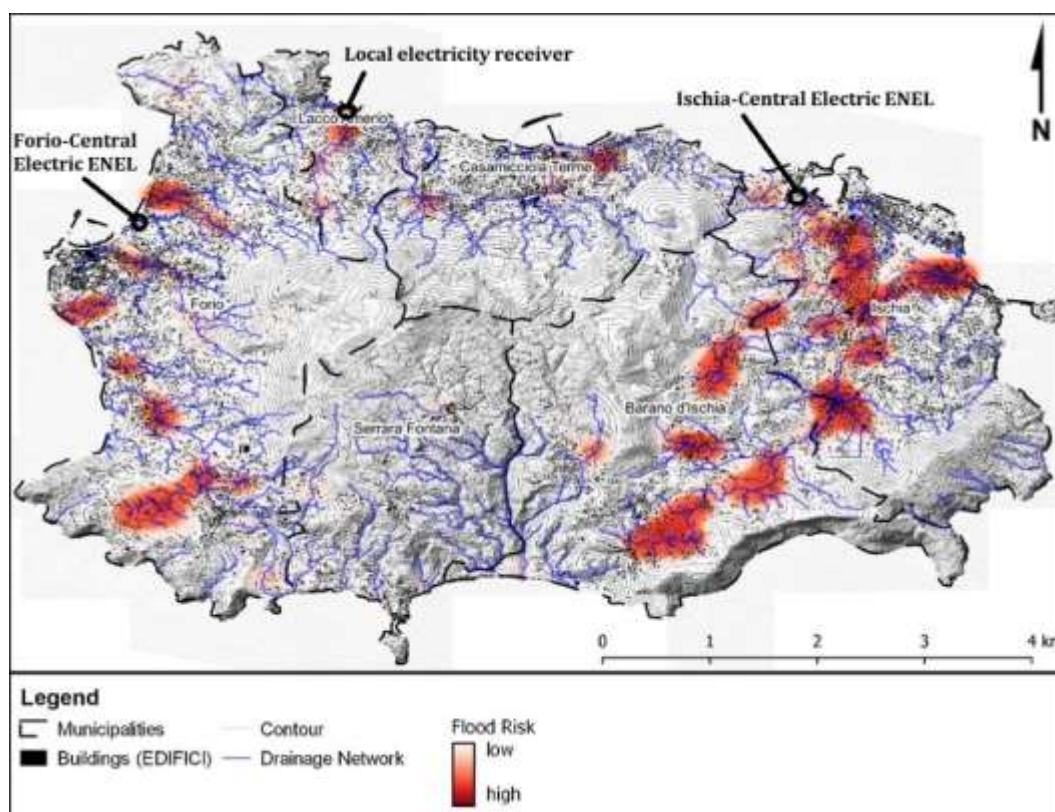


Figura 3-42. Rischi di inondazione fluviale basati su dati GIS.

Sulla base della mappa sopra riportata, l'infrastruttura centrale per l'energia elettrica di ENEL presenta un rischio di allagamento minore, mentre l'infrastruttura del ricevitore locale che si trova a Lacco Ameno presenta un rischio di allagamento moderato. Questa analisi è uno screening generale delle possibili sezioni di rischio per la rete elettrica e non rivela ancora il rischio effettivo nelle principali vie di distribuzione dell'elettricità.

3.5.5 Incendi boschivi

Dopo la stagione delle piogge, durante un periodo asciutto, la vegetazione di Ischia si secca. I cambiamenti climatici influenzeranno questo periodo arido ed anche i tipi di piante ad esso associati. Numerosi studi in

California³⁹ hanno dimostrato che la combustione della vegetazione ha un impatto negativo sulla stabilità del suolo con aumento di frane e colate detritiche: infatti, la combustione colpisce anche le parti in legno dell'infrastruttura elettrica e i materiali bituminosi, in particolare attraverso le fiamme incontrollate. Sarà quindi di fondamentale importanza ridurre al minimo gli incendi boschivi.

Le linee elettriche, soprattutto quelle ad alta tensione, possono essere responsabili di incendi in diversi modi. L'elettricità può creare contatti indesiderati tra le linee e gli alberi se i rami sono troppo vicini ai cavi. Le scintille possono essere innescate da apparecchiature obsolete. In periodi di forte calore, i cavi elettrici possono cadere ed entrare in contatto con alberi o erba secca. Inoltre, i venti forti possono danneggiare le apparecchiature o far cadere le linee elettriche sugli alberi circostanti. L'elettricità costituisce una componente vitale delle infrastrutture e serve da supporto per molti altri servizi. Durante una crisi, la mancanza di elettricità potrebbe causare la perdita di comunicazioni vitali, soprattutto se le torri di trasmissione non sono alimentate da generatori di riserva, limitando così la copertura dei telefoni cellulari. Inoltre, l'elettricità è essenziale per il funzionamento dei pozzi e delle pompe per il trattamento dell'acqua. Nella mappa seguente (Figura 4), sono presentate le infrastrutture a rischio di incendio boschivo basate su dati GIS. Questa mappa prende in considerazione gli incendi storici del dataset EFFIS e la copertura del suolo di Corine, che mostra la categoria di copertura del suolo dell'isola (comprese le aree soggette a incendi, cioè i diversi tipi di foreste).

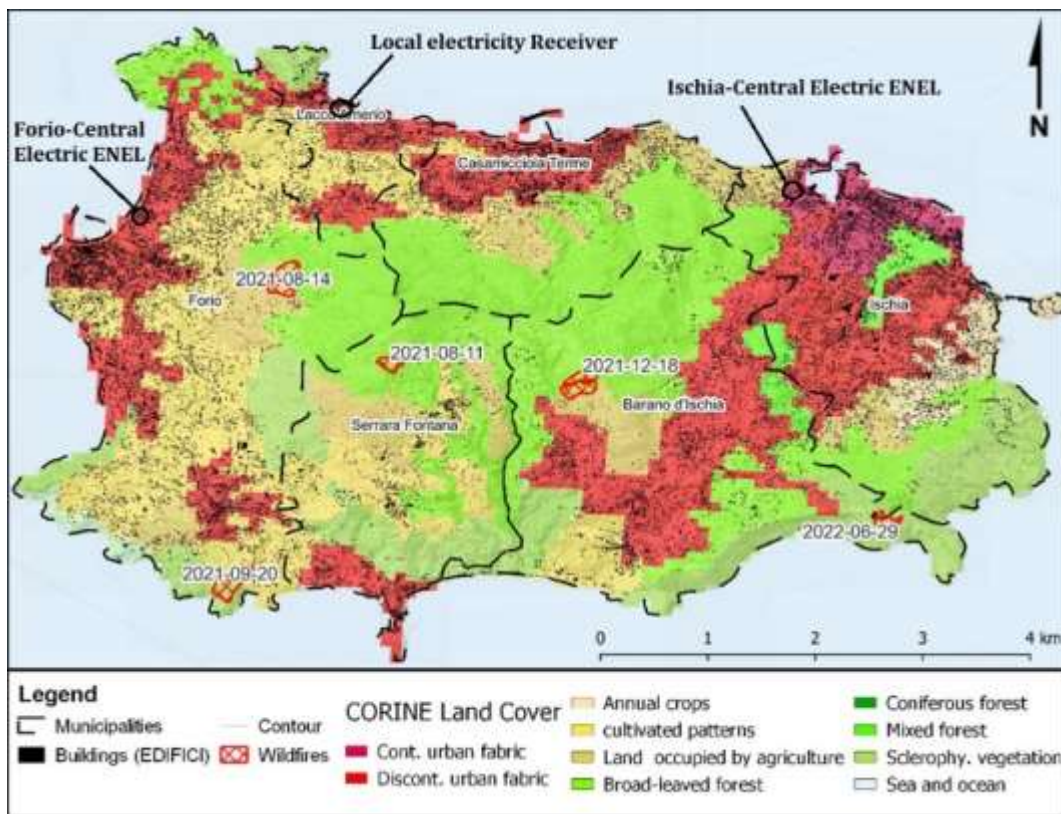


Figura 3-43. Rischi di incendio boschivo basati su dati GIS.

3.5.6 Aumento del livello del mare

Come menzionato nelle sezioni precedenti, i cambiamenti climatici provocheranno l'innalzamento del livello del mare e conseguenti inondazioni. L'impatto combinato dell'incremento del livello del mare previsto con le mareggiate e la configurazione delle onde è una questione che deve essere esaminata. Di seguito vengono presentate le regioni suscettibili al rischio di inondazione costiera dovuto all'azione combinata dell'innalzamento del livello del mare e degli effetti delle onde e delle mareggiate sulle località a bassa quota, come mostrato nella **Figura 5**.

³⁹ Ren D, Leslie LM. Il riscaldamento climatico aumenta i flussi detritici catastrofici della California meridionale. Sci Rep. 2020 Jun 29;10(1):10507. doi: 10.1038/s41598-020-67511-7. PMID: 32601392; PMCID: PMC7324592.

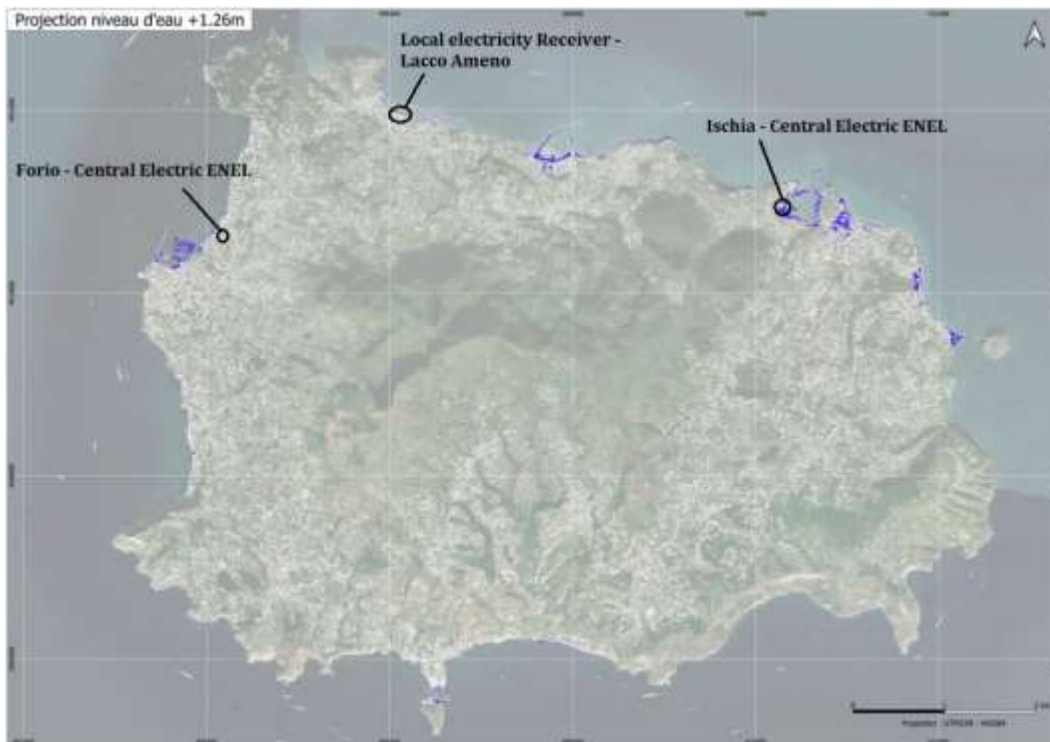


Figura 3-44. Rischio di inondazione costiera dovuto all'innalzamento del livello del mare e alle azioni delle onde e delle mareggiate nelle aree a bassa quota.

Nella mappa precedente (Figura 3-44), sono presentate le infrastrutture elettriche soggette al rischio dell'incremento del livello del mare sulla base dei dati GIS. Il centro di distribuzione di energia elettrica nella regione di Ischia è ad alta esposizione per il rischio di inondazione costiera mentre gli altri centri di distribuzione a Forio e Lacco Ameno hanno una bassa esposizione per questo rischio. È importante sottolineare come questa analisi sia uno screening generale del possibile rischio e non rivela il rischio effettivo sul campo, poiché alcune opzioni di adattamento potrebbero essere già in vigore. Le prestazioni del modello digitale di elevazione nelle aree basse rappresentano un ulteriore ostacolo a questa analisi.

3.5.7 Aumento della temperatura

Gli effetti dell'aumento della temperatura sulla rete di distribuzione elettrica sono evidenti nei cedimenti strutturali. L'aumento della temperatura dell'aria causa l'espansione termica dei fili di trasmissione/distribuzione, riducendo la distanza dalla terra. Questo fenomeno aumenta il rischio di folgorazione e di contatto con gli alberi e/o vegetazione, con il potenziale di provocare incendi.

Inoltre, l'aumento prolungato delle temperature avrà un impatto diretto sulle infrastrutture in calcestruzzo (stabilità strutturale) e avrà un effetto negativo sull'efficienza delle linee elettriche. Si prevede che i danni da incendi boschivi saranno più frequenti e intensi in un clima più caldo e secco.

Le ondate di calore possono aumentare il consumo di elettricità, soprattutto a causa dell'aria condizionata.

Poiché il calore è un sottoprodotto del loro normale funzionamento, il sovraccarico dei trasformatori aumenta le temperature interne di funzionamento.

I frequenti sovraccarichi causati da forti ondate di calore indeboliscono l'isolamento dei trasformatori e, in casi estremi, possono portare a una fuga termica. Queste condizioni possono portare a incendi nelle sottostazioni e alla distruzione delle infrastrutture di rete e delle linee elettriche.

3.5.8 Altri rischi climatici

L'aumento della frequenza delle precipitazioni intense influisce sulle reti di trasmissione e distribuzione dell'energia, in quanto può provocare danni ai pali e alle linee elettriche, nonché un aumento degli incidenti causati dalle tempeste. L'accumulo di acqua nel terreno può danneggiare i pali e le linee elettriche sia

direttamente, ad esempio causando il crollo degli stessi, sia indirettamente (gli alberi cadono più facilmente a causa dello sradicamento causato dalle inondazioni). Tempeste, trombe d'aria e fulmini possono danneggiare le linee elettriche e le infrastrutture di trasmissione e distribuzione, causando interruzioni di corrente e blackout.

Entrambi gli effetti possono causare danni diretti ai trasformatori, compresa la perdita di sistemi HVAC, alle sale di controllo e relativi sistemi di comunicazione, nonché l'erosione delle fondamenta.

Le trombe d'aria e gli eventi meteorologici correlati possono danneggiare le infrastrutture di trasmissione e distribuzione dell'energia e causare guasti alle linee di trasmissione e distribuzione. Anche la caduta di alberi a causa del vento forte può avere un impatto sulla rete elettrica.

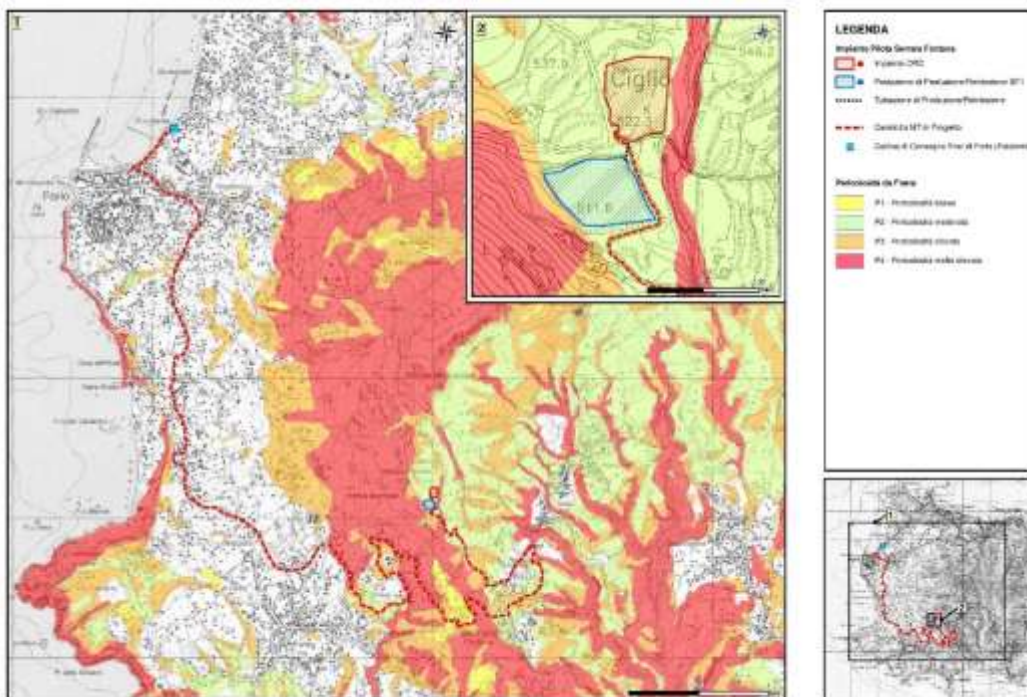
L'erosione costiera, le mareggiate e l'innalzamento del livello del mare possono danneggiare ed interferire con le infrastrutture di trasmissione e distribuzione situate vicino alla costa. Le linee di trasmissione e distribuzione possono essere interessate anche dall'interramento di fiumi e torrenti e da altri processi erosivi causati da cambiamenti nell'idrologia dei bacini idrografici.

3.5.9 Impianto geotermico

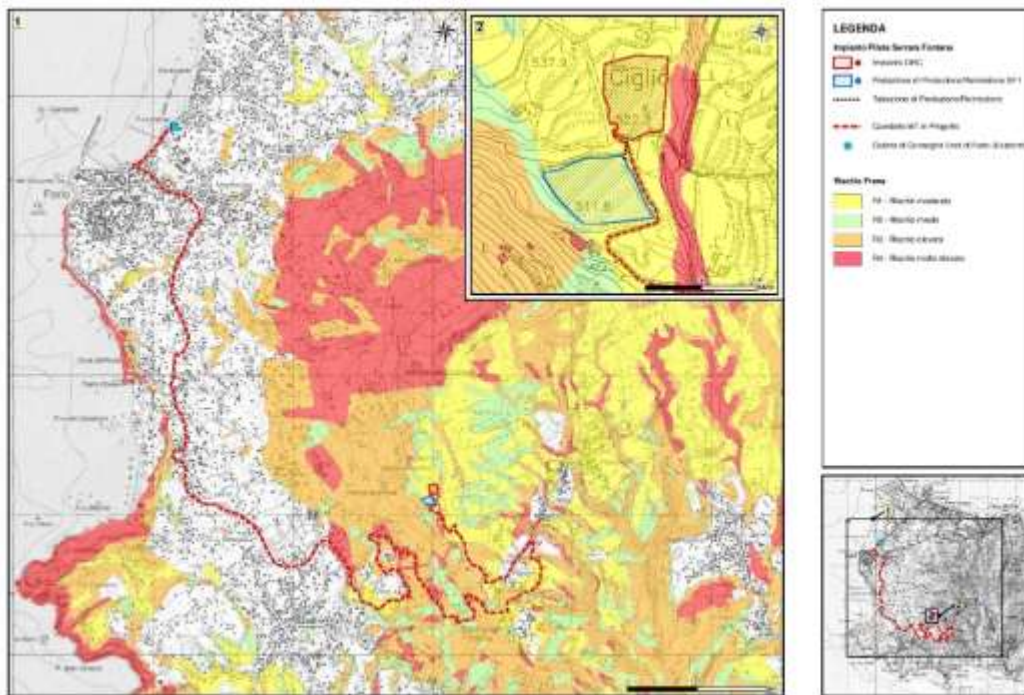
Ischia presenta un notevole potenziale per lo sfruttamento della geotermia a fini energetici. Di recente, sono state condotte numerose ricerche per valutare le possibilità di applicazioni industriali in questo ambito. Una delle ultime iniziative è quella del comune di Serrara Fontana, dove l'amministrazione locale e gli investitori stanno progettando la realizzazione di un impianto geotermico pilota annesso ad una centrale a biomassa per la produzione di energia elettrica, che sarà in grado di generare elettricità e calore senza produrre emissioni nell'ambiente, con una potenza nominale di circa 5 MW netti. L'energia elettrica prodotta nell'impianto ORC sarà immessa nella rete di distribuzione Enel attraverso una nuova linea di Media Tensione, lunga circa 10,2 km, completamente interrata e realizzata lungo la strada esistente, che partirà dal generatore presente nell'impianto e arriverà alla cabina di consegna di Enel Distribuzione situata nel Comune di Forio. La linea elettrica interesserà i comuni di Serrara Fontana e Forio.

- i. Pericolo di frana relativo all'impianto geotermico

La Figura 3-45 (a) mostra le aree a pericolo frana individuate dal Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) nell'area interessata dai lavori previsti. I livelli di rischio relativi sono riportati in Figura 3-45.



(a)



(b)

Figura 3-45. (a) Aree a pericolo frana - (b) relativi livelli di rischio (PAI Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale)

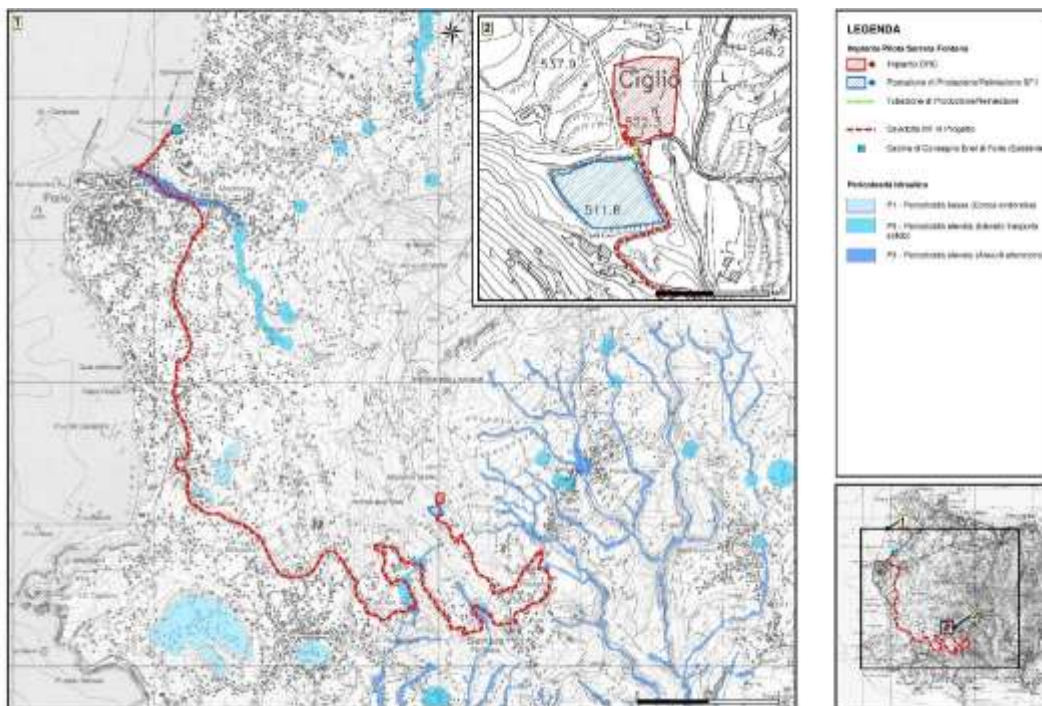
Come emerge dall'analisi di *Figura 3-45*, le aree individuate per la realizzazione dell'impianto pilota di Serrara Fontana (stazione SF1 e impianto ORC) ricadono nella classe P1 - bassa pericolosità da frana che corrisponde a un livello di rischio R1 - moderato. Gli interventi nelle aree a rischio moderato di frana sono regolamentati dall'art. 24 delle Norme di Piano. Per quanto riguarda il progetto dell'elettrodotto a 30 kV di collegamento tra l'impianto pilota e la cabina di consegna Enel di Forio, come emerge dalla *Figura 1*, il tracciato interessa aree classificate a diversi livelli di pericolosità e rischio frana. Considerando la condizione più restrittiva, corrispondente al coinvolgimento di aree a rischio frana molto elevato, è consentita la realizzazione di sottoservizi su tracciati stradali esistenti.

ii. Rischi e pericoli idraulici

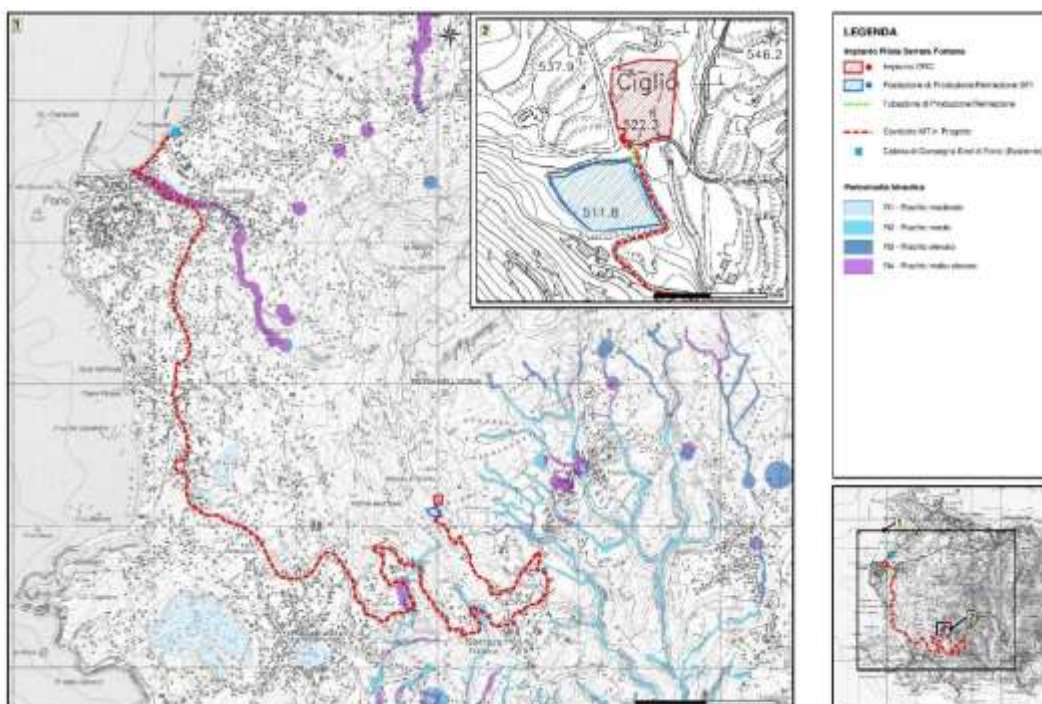
Figura 3-47 (a) e (b) rappresentano rispettivamente le aree a rischio idraulico individuate dal PAI e i relativi livelli di rischio.

Come visibile in *Figura 3-47*, le stazioni dell'impianto pilota di Serrara Fontana si trovano in aree che il PAI non identifica come pericolose o a rischio dal punto di vista idraulico. Per quanto riguarda il cavidotto che collega l'impianto pilota alla cabina di consegna Enel di Forio, come visibile in **Figura 7**, il tracciato dell'elettrodotto attraversa, per una lunghezza complessiva di circa 610 m, aree classificate come P3 - pericolosità idraulica elevata corrispondente a un livello di rischio R4 molto elevato, individuate dal PAI tra i comuni di Serrara Fontana e Sant'Angelo.

A tal proposito, analogamente a quanto precedentemente indicato per le aree a pericolosità/rischio di frana, si segnala che l'articolo 12 del Piano per l'Assetto Idrogeologico PAI ("Interventi consentiti in relazione a opere e infrastrutture pubbliche a rete e di interesse pubblico") ammette tra gli interventi consentiti nelle aree R4 la realizzazione di sottoservizi su tracciati stradali esistenti. I relativi studi di compatibilità idraulica devono essere predisposti solo per i sottoservizi che comportano significative opere in **superficie**.



(a)

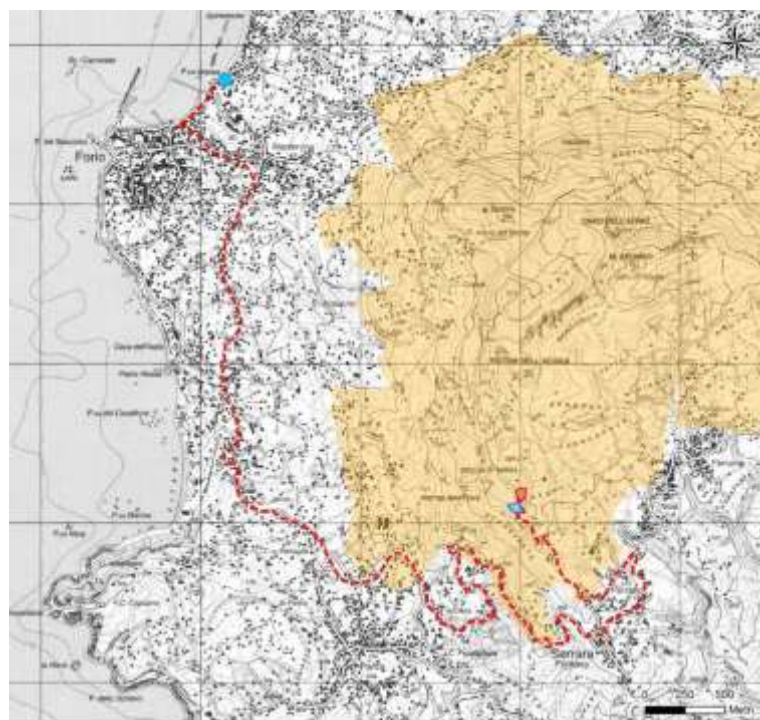


(b)

Figura 3-46. (a) Aree soggette a rischio idraulico -(b) relativi livelli di rischio (PAI Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale)

iii. Vincolo idrogeologico

La Figura 3-47 mostra le aree soggette a vincolo idrogeologico e le aree interessate dal progetto in esame.



LEGENDA

Impianto Pilota Serrara Fontana

Impianto ORC

Postazione di Produzione/Reiniezione SF1

Cavidotto MT in Progetto

Cabina di Consegna Enel di Forio (Esistente)

Vincolo Idrogeologico

Aree soggette a Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. n.3267/1923

Figura 3-47. Aree soggette a vincolo idrogeologico

Come mostrato nella Figura 3-47, l'impianto ORC, la stazione di produzione/reiniezione di SF1 e alcuni tratti del cavidotto MT (oltre agli interventi di adeguamento della viabilità esistente e della condotta idrica provvisoria) ricadono in aree soggette a vincolo idrogeologico.

In considerazione di quanto sopra, per alcuni interventi del progetto si specifica quanto segue:

- la realizzazione della stazione SF1 e del sistema ORC non comporta significative impermeabilizzazioni, in quanto le aree impermeabilizzate corrispondono a circa il 20% della superficie totale occupata, e quindi tali da non innescare una condizione di squilibrio nelle attuali condizioni idrogeologiche dei siti;
- nell'area dell'Impianto ORC è prevista la realizzazione di interventi di messa in sicurezza dell'area, consistenti in muri in terra rinforzata da installare nelle parti nord, est e sud, e nella parte ovest in un muro di contenimento coperto con pietra locale, che migliorerà la stabilità della recinzione perimetrale;
- il cavidotto MT si svilupperà interamente lungo la viabilità esistente e la profondità (circa 1,2 m) degli scavi per la posa del cavo non è tale da alterare le condizioni idrogeologiche dell'area.

In conclusione, considerando le caratteristiche delle opere previste, si ritiene che esse non influiscano sul grado di rischio idrogeologico presente nell'area.

3.5.10 Rete gas

i. Rischio di incendi relativo alla rete del gas

La maggior parte del patrimonio di gas naturale di Ischia si trova prevalentemente vicino alla costa. Tuttavia, si prevede che gli incendi nell'entroterra saranno più intensi. Inoltre, la maggior parte degli impianti in superficie è situata nelle zone urbane, le quali generalmente presentano un minor rischio di incendi. Di conseguenza, dato che gran parte dell'infrastruttura del gas naturale è sotterranea e situata in prossimità della costa, dove si prevede che l'incremento degli incendi sarà meno estremo, è probabile che il sistema subisca minori danni da futuri incrementi di incendi. I contatori, o connessioni di servizio, che sono quasi sempre in superficie, costituiscono i principali asset su cui concentrare l'attenzione. L'acciaio è il materiale più comune per le tubazioni fuori terra, poiché è intrinsecamente resistente alle alte temperature. Nei luoghi soggetti a incendi, ad esempio, le condutture vengono rivestite con rivestimenti supplementari per aumentarne la resistenza alla corrosione atmosferica. Esse vengono occasionalmente trasportate attraverso strette gole grazie all'uso di ponti sospesi di cavi. A causa della loro estrema sensibilità ai rilasci di tensione, questi ponti sono particolarmente vulnerabili agli effetti degli incendi.

All'interno delle celle di rete, vi sono regolatori esposti per i quali si prevede un aumento della superficie danneggiata dal fuoco. Poiché collegano i sistemi di distribuzione e trasmissione, le stazioni di regolazione sono risorse essenziali. Durante gli incendi, i guasti ai diaframmi delle stazioni di regolazione in superficie possono interessare un numero significativo di consumatori. Le apparecchiature in superficie sono quantomeno sostenute da piedistalli in cemento resistenti al calore.

Poiché la maggior parte dei contatori si trova in superficie, questi verrebbero danneggiati da un incendio e il danno colpirebbe solo il cliente servito da quel punto del contatore. Inoltre, nel caso in cui il contatore subisca danni, è probabile che anche la struttura adiacente faccia altrettanto. Di conseguenza, il cliente potrebbe non usufruire del servizio finché la struttura non sarà ripristinata o ricostruita dopo l'incendio. Tuttavia, quando un gran numero di connessioni al servizio viene perso o distrutto, il ripristino del servizio può richiedere molto tempo e con costi molto elevati per l'azienda. Inoltre, può provocare interruzioni del servizio che potrebbero interessare i consumatori per settimane.

La società di servizi deve tagliare e sigillare fisicamente la condotta che conduce a un'abitazione nel caso in cui un incendio danneggi gravemente l'abitazione stessa, causando danni ai contatori. Anche se le condutture vengono interrato, una volta ricostruita l'abitazione, dovranno essere sostituite. A volte l'ente erogatore può utilizzare delle valvole per isolare la condotta del gas che interrompe la fornitura a un'intera strada, oppure interrompere la condotta del gas in un unico punto. Inoltre, gli incendi possono indurre i consumatori a chiudere il gas in anticipo. Il personale dell'azienda deve conseguentemente visitare ogni casa per esaminare gli apparecchi e ricollegare il gas.

ii. Rischio di inondazioni relativo alla rete del gas

Poiché gran parte del sistema è sotterraneo e anche gli impianti in superficie hanno una sensibilità limitata alle inondazioni, si prevede che gli effetti delle inondazioni saranno minimi. Le risorse esposte al passaggio dell'acqua sono più soggette a subire danni. È tuttavia importante ricordare che, in caso di interruzione dell'approvvigionamento, potrebbero verificarsi effetti indiretti più consistenti, anche se gli effetti diretti sarebbero minimi.

I danni causati dal passaggio dell'acqua sono il modo principale attraverso il quale le alluvioni possono influenzare le infrastrutture del gas naturale dell'Isola di Ischia. Le inondazioni, ad esempio, possono provocare il rigonfiamento dei passaggi d'acqua, esponendo le tubature sotterranee. Le condutture esposte sono più vulnerabili al galleggiamento, ai detriti e ad altri oggetti trasportati dalle acque alluvionali, nonché a sfregamenti o al dilavamento. La sabbia e i terreni secchi sono più inclini a raschiamenti in caso di alluvioni.

Durante le inondazioni, le stazioni di regolazione in superficie possono subire guasti ai diaframmi che potrebbero interessare molte utenze. Tuttavia, la percentuale di stazioni di regolazione in superficie è piuttosto bassa. In teoria, le pompe possono rompersi, lasciando le stazioni di regolazione vulnerabili alle inondazioni. L'esposizione prolungata può anche causare corrosione e aumentare la necessità di

manutenzione. I regolatori non dovrebbero aspettarsi effetti significativi in generale, ma il pericolo potrebbe aumentare con l'aumentare della frequenza delle inondazioni.

In generale, vi sono altri effetti diretti che possono verificarsi. Le inondazioni possono interferire con le apparecchiature elettroniche, le comunicazioni e il monitoraggio, con un impatto significativo sulle singole operazioni. Inoltre, le inondazioni possono ostacolare l'accesso dei lavoratori alle aree necessarie, bloccando il passaggio o chiudendo temporaneamente le strade. Se una stazione di compressione dovesse essere compromessa dalle inondazioni, gli effetti a valle potrebbero rappresentare la più grande minaccia per l'Isola di Ischia attraverso inondazioni interne. La fornitura di gas naturale potrebbe essere gravemente interrotta da problemi a questa struttura.

iii. Rischio di frane relativo alla rete del gas

Si prevede che gli impatti complessivi sul sistema siano minimi, mentre esiste la possibilità che eventi a bassa probabilità possano avere un impatto. Anche se molti impianti si trovano nelle zone vulnerabili, gli incidenti da frana sono limitati, per ora poco frequenti, e hanno un impatto solo su un piccolo numero di clienti alla volta. Quando le frane si verificano, però, gli effetti sono profondi. In futuro, l'aumento del rischio potrebbe richiedere l'adozione di misure per salvaguardare gli asset importanti nelle zone vulnerabili.

Le connessioni di servizio costituiscono la maggior parte dei punti esposti. Gli incidenti di frana possono causare interruzioni importanti a livello locale, anche se l'esposizione complessiva può essere minore. Anche se solo un piccolo numero di clienti può essere colpito, il servizio può essere completamente interrotto fino alla riparazione. Quando le frane causano danni alle condutture di gas naturale, i clienti interessati sono di solito limitati a un numero ristretto di località direttamente all'interno della regione interessata dalla frana.

3.5.11 Valutazione della vulnerabilità

Coerentemente con la metodologia adottata in tutti i settori, sono state analizzate le vulnerabilità e i rischi legati ai cambiamenti climatici per l'Isola di Ischia. Per visualizzare la vulnerabilità e i rischi, viene utilizzato un approccio a matrice di rischio. Il rischio di uno specifico cambiamento è determinato come combinazione di pericolo, esposizione e sensibilità, e la vulnerabilità/rischio è determinata, come riportato nella tabella 3.20.

Riassumendo la vulnerabilità ai diversi pericoli climatici, considerando l'esposizione in base al cambiamento previsto del pericolo nel 2050, si può concludere che gli incendi e le frane creano la maggiore vulnerabilità/rischio per le infrastrutture di approvvigionamento energetico, in quanto sono altamente esposte a questi pericoli e sono anche vulnerabili (senza ulteriori attività di adattamento). Le inondazioni rappresentano un rischio medio. L'approvvigionamento energetico è influenzato anche dall'aumento della temperatura, dall'innalzamento del livello del mare e da altri eventi estremi.

Tabella 3-20. Livello di vulnerabilità del settore dell'approvvigionamento energetico ai rischi climatici pertinenti

Pericolo climatico	Cambiamento del pericolo	Esposizione	Sensibilità	Vulnerabilità
Calore	3	1	2	2
Incendi boschivi	3	2	2	3
Frane	2	2	1	3
Inondazioni	2	1	2	2
Inondazioni costiere	3	2	2	2
Altri eventi estremi	1	2	1	1

3.5.12 Potenziali attività di adattamento

In molte nazioni sviluppate e in via di sviluppo, le infrastrutture di approvvigionamento energetico (in particolare la rete elettrica) sono le infrastrutture critiche più importanti e devono essere progettate, gestite e mantenute per fornire un servizio affidabile, sicuro e resiliente. Le infrastrutture critiche sono estremamente interdipendenti l'una dall'altra a causa delle loro connessioni con la rete di trasporto, l'approvvigionamento idrico, Internet, la sicurezza alimentare e altri snodi. Le infrastrutture per la fornitura di energia devono spesso essere modificate utilizzando i principi dell'ingegneria e del giudizio tecnico per renderle resilienti al clima.

Come affermazione generale applicabile a ogni risorsa, prima di qualsiasi tipo di attività di mitigazione e adattamento del rischio, è necessario creare, mettere in pratica e testare accuratamente le procedure di gestione da parte degli operatori dei sistemi. Queste procedure dovrebbero identificare i metodi da adottare per la mitigazione del rischio, le riparazioni di emergenza e il ripristino, assegnare i ruoli, identificare le risorse disponibili e includere la collaborazione e la comunicazione.

È evidente che Ischia sarà colpita dai cambiamenti climatici in futuro e sarà necessario introdurre adattamenti per aumentare la resilienza delle infrastrutture di approvvigionamento energetico a questi cambiamenti per evitare alcune delle conseguenze particolarmente gravi.

Inoltre, va notato che a Ischia sono in vigore norme rigorose che stabiliscono quali tipi di strutture sono adatte al paesaggio e allo scenario unico dell'isola. Anche le opzioni di adattamento dovrebbero essere conformi a tali normative. Una sintesi degli eventi tipici del cambiamento climatico e delle relative possibili attività di adattamento è riportata in Tabella 3.21. La tabella riassume l'insieme delle potenziali attività applicabili identificate nella valutazione e ulteriormente descritte nei sottocapitoli seguenti.

La colonna 3 (range di costo) della tabella fornisce informazioni sui range di costo previsti per le potenziali attività di adattamento, per quanto possibile.

Come in altre sezioni di questo studio, per la parte energetica non è stato possibile effettuare una valutazione dettagliata del rischio, a causa della mancanza di informazioni specifiche sul sito relative alla rete elettrica. L'elenco delle potenziali attività di adattamento si basa sulla conoscenza degli eventi storici e sulla valutazione dei rischi per le reti energetiche nelle aree popolate. Questo può essere considerato un punto di partenza per l'identificazione finale dei progetti e la definizione delle priorità. Va notato che, nella maggior parte dei casi, la potenziale attività di adattamento identificata richiede uno studio di fattibilità approfondito come primo passo obbligatorio, al fine di determinare la soluzione tecnica più adatta e il relativo range di costi. Pertanto, solo attraverso una progettazione dettagliata è possibile stimare realisticamente l'impegno effettivo (dimensionamento e costi).

In seguito alla tabella generale caratterizzata da un riepilogo di tutte le potenziali attività di adattamento individuate, l'analisi comprende un approfondimento su alcune delle attività più promettenti che vengono suggerite per una rapida attuazione. Poiché le attività di adattamento sono in molti casi legate all'ambiente costruito in cui la rete energetica è integrata, le soluzioni proposte non sono specificamente adattate alla rete energetica stessa, ma sono relative all'ambiente previsto. Tutte le restanti attività di adattamento sono descritte nei sottocapitoli seguenti.

Tabella 3-21. *Rischi legati al cambiamento climatico e relative possibili attività di adattamento con il loro potenziale rischio finanziario*

Rischio di cambiamento climatico	Potenziale attività di adattamento	Range di costo
Incendi boschivi	Le aziende di servizi pubblici devono prestare particolare attenzione quando tagliano l'erba, potano gli alberi e rimuovono	n.d. Azioni operative da implementare nella routine corrente

	altro materiale secco che potrebbe prendere fuoco vicino alle linee elettriche.	
	Interramento di cavi elettrici in luoghi altamente pericolosi.	60-150 k€/km
	Gestione del flusso di energia elettrica attraverso linee elettriche sovraccariche e potenzialmente surriscaldate, grazie a sistemi di monitoraggio e gestione (tramite sensori) per favorire interventi tempestivi.	Progettazione necessaria a partire dallo studio di fattibilità
	I pannelli solari sui tetti e nelle comunità possono ridurre la richiesta di linee di trasmissione ad alta tensione necessarie per il trasporto dell'energia.	1.000 €/kWp di FV installato
	Adattamento strutturale della rete elettrica, ad esempio creando piccoli hub locali al posto di grandi centrali energetiche centralizzate e relative linee.	1-10 M€
	Potrebbero essere presi in considerazione sistemi di raffreddamento più grandi o potenziati (compreso il raffreddamento ad aria).	Progettazione necessaria a partire dallo studio di fattibilità
	Utilizzo di apparecchiature elettriche refrattarie.	Progettazione necessaria a partire dallo studio di fattibilità
	Assicurare che i servizi di emergenza ricevano una formazione adeguata per rispondere agli incendi boschivi.	n.d. Azione operativa
Alluvioni	I fornitori di energia elettrica possono interrompere l'elettricità agli edifici nelle zone alluvionate con un sistema di allarme precoce, limitando i danni.	n.d. Azione operativa da concordare con gli operatori
	Interruzione preventiva dell'elettricità alle sottostazioni vulnerabili situate nella zona dell'alluvione.	n.d. Azione operativa da concordare con gli operatori
	Elevazione, costruzione di argini e spostamento di importanti infrastrutture fuori dalle zone soggette a inondazioni.	Necessità di una progettazione dettagliata
	Interramento di infrastrutture elettriche, compresi cavi elettrici e sottostazioni di distribuzione.	60-150 k€/km

	Localizzazione della sottostazione al di sopra dei livelli di inondazione, protezione degli argini e elevazione delle apparecchiature sensibili.	Necessità di una progettazione dettagliata
	Migliorare la resilienza alle inondazioni e alla siccità creando bacini idrici e adattandosi alle tempeste e all'innalzamento del livello del mare attraverso barriere con turbine di marea.	Progettazione necessaria a partire dallo studio di fattibilità
	Innalzamento dell'altezza degli argini per evitare le inondazioni.	Ordine di grandezza di M€, a seconda delle condizioni del sito. Progettazione necessaria a partire dallo studio di fattibilità
	Aumento delle dimensioni e del numero di strutture di drenaggio	Progettazione necessaria a partire dallo studio di fattibilità
	Migliorare la robustezza degli impianti per resistere a tempeste e inondazioni.	Progettazione necessaria a partire dallo studio di fattibilità
	Sviluppare una capacità di risposta alle emergenze per contribuire a mitigare gli effetti delle inondazioni nei siti.	n.d.
Aumento della temperatura	Aumentare l'altezza delle torri e dei pali	5-15 k€/cad.
	Utilizzare conduttori specifici con limiti di temperatura di esercizio più elevati.	Progettazione necessaria a partire dallo studio di fattibilità
	Aumentare la temperatura minima nella stesura del progetto delle nuove linee aeree.	n.d.
	Migliorare i sistemi di raffreddamento	Progettazione necessaria a partire dallo studio di fattibilità
	Utilizzare trasformatori di alta qualità	10-15 k€/cad.
Altri rischi climatici	Il cablaggio sotterraneo protegge le infrastrutture delle reti di trasmissione e distribuzione dalle forti piogge	60-150 k€/km
	Monitorare e migliorare gli sforzi di risposta alle tempeste e con specifiche misure di	n.d.

	protezione contro i fulmini per i trasformatori montati su palo.	
	Progettazione di nuove linee aeree con un grado di temperatura più elevato, attraverso pali più alti per consentire un maggiore abbassamento dei conduttori.	n.d.
Aumento del livello del mare	Adattare i criteri di progettazione delle linee di trasmissione, utilizzare materiali in acciaio inossidabile per ridurre la corrosione dovuta ai danni dell'acqua.	n.d.
	Aumentare l'altezza della torre di trasmissione.	10-15 k€/cad.
	Costruzione di muri di protezione per le infrastrutture di distribuzione dell'energia elettrica e per il punto di connessione locale.	1M - 10M€ a seconda delle località
	Costruire una protezione antierosione per i cavi elettrici.	100-300 k€
Frane	Maggiore utilizzo del sonar per monitorare i movimenti del suolo.	n.d.
	Disponibilità di parti di ricambio/componenti in quantità sufficiente.	n.d.
	Assicurazione che copra i danni causati dagli agenti atmosferici (compresi gli eventi estremi).	100-300k€ di abbonamento
	Nuove strutture di protezione contro le frane	10-20 M€ per sede
	Migliorare la robustezza dei cavi/pali di trasmissione e delle altre infrastrutture di trasmissione e distribuzione.	10-50 k€/km
	Ispezione regolare delle infrastrutture vulnerabili, come i pali della luce in legno.	n.d. Azioni operative da attuare nella routine attuale

i. Attività di adattamento al rischio di incendi boschivi

Le aziende di servizi pubblici devono prestare particolare attenzione quando tagliano l'erba, potano gli alberi e rimuovono altro materiale secco che potrebbe prendere fuoco vicino alle linee elettriche. Viene quindi suggerita la possibilità di interrare i cavi in punti altamente pericolosi. La tecnologia aiuta anche a identificare segnali di pericolo: infatti, le scintille su un cavo elettrico possono essere individuate grazie a dei sensori. I test dei dispositivi più recenti mirano a individuare le variazioni di corrente elettrica che potrebbero segnalare i cavi sovraccarichi prima che si verifichino le scintille. Nelle giornate più calde, può essere possibile prevenire i problemi alle linee elettriche gestendo correttamente il flusso di elettricità attraverso linee sovraccariche e potenzialmente surriscaldate.

Un'alternativa consiste nell'apportare modifiche strutturali alla rete elettrica, dove l'energia viene prodotta più vicino al cliente, dalla comunità al quartiere fino all'abitazione individuale. Questo approccio riduce la dipendenza dalle imponenti centrali elettriche centralizzate, con le rispettive linee di trasmissione ad alta potenza e a lunga distanza.

Per esempio, i pannelli solari sui tetti e nelle comunità possono ridurre la richiesta di linee di trasmissione ad alta tensione necessarie per trasportare l'energia su grandi distanze e attraverso aree isolate e pericolose.

Nelle aree in cui si prevede che la disponibilità d'acqua diminuirà, si potranno studiare sistemi di raffreddamento più grandi o più efficienti (compreso il raffreddamento ad aria); in particolare, nelle aree in cui si prevede un aumento delle inondazioni, si potranno progettare strutture impermeabili.

ii. Attività di adattamento alle alluvioni

I fornitori di energia elettrica possono interrompere l'erogazione di elettricità agli edifici nelle zone soggette ad inondazioni con un sistema di allerta precoce, limitando i danni. L'avviso tempestivo permette ai gestori dei sistemi di trasmissione e di distribuzione nell'area colpita di attivare i loro piani di risposta alle emergenze e di continuità operativa, un fattore chiave per la resilienza della rete elettrica.

L'interruzione preventiva dell'elettricità alle sottostazioni vulnerabili situate nella zona di inondazione è una delle misure più efficaci che i fornitori di energia adottano nel momento in cui sta per verificarsi un'inondazione. In questo modo si evitano i danni catastrofici causati dal contatto dell'acqua con i macchinari ad alta tensione.

Le migliori tecniche di mitigazione sono state l'innalzamento, la costruzione di argini e lo spostamento di importanti infrastrutture al di fuori dei luoghi interessati dalle inondazioni. Un'altra possibile attività di adattamento è l'interramento delle infrastrutture elettriche (cablaggio sotterraneo), compresi i cavi elettrici e (eventualmente) le sottostazioni di distribuzione. Esempi di strategie di successo sono la collocazione della sottostazione al di sopra dei livelli di inondazione, la protezione degli argini e l'elevazione delle apparecchiature sensibili.

iii. Attività di adattamento per l'aumento della temperatura e altri rischi

Per quanto riguarda i rischi derivanti dall'aumento della temperatura dell'aria, si raccomanda di aumentare l'altezza delle torri/pali: in questo modo, le linee elettriche possono abbassarsi senza superare la distanza minima richiesta dalla normativa per evitare il rischio di folgorazione e di interazione con la vegetazione. Inoltre, si raccomanda l'uso di conduttori specifici, come quelli con limiti di temperatura di esercizio più elevati e quelli "a bassa cedevolezza", basati sul minore coefficiente di espansione termica del nucleo in acciaio del conduttore. Inoltre, si raccomanda di aumentare la temperatura minima di progetto dei nuovi tracciati di tralicci come attività di adattamento all'aumento della temperatura dell'aria.

Il trasformatore è considerato un componente vitale della rete elettrica; pertanto, è necessario prendere in considerazione alcune attività di adattamento, come il miglioramento dei sistemi di raffreddamento e l'utilizzo di trasformatori di alta qualità. Il modo migliore per evitare e/o adattarsi a condizioni climatiche estreme, come le ondate di calore prolungate, è utilizzare sistemi di raffreddamento adeguati. Sistemi di raffreddamento all'avanguardia e una manutenzione regolare possono prevenire efficacemente l'invecchiamento prematuro e i cedimenti strutturali causati dalle elevate temperature interne. I trasformatori di alta qualità sono in grado di mantenere elevati rendimenti anche in caso di sovraccarico e di prevenire le perdite di energia che causano l'aumento della temperatura interna, evitando così problemi strutturali e di isolamento insieme al rischio di fuga termica.



Il cablaggio sotterraneo protegge l'infrastruttura delle reti di trasmissione e distribuzione dalle forti piogge e dagli eventi atmosferici estremi. Il cablaggio interrato protegge anche le linee elettriche dalle ondate di calore e dall'espansione termica.

3.5.13 Attività di adattamento consigliate

Tabella 3-22. Cablaggio sotterraneo

Luoghi: casi pilota nelle aree interessate da incendi storici e forti piogge		Foto	
			
Adattamento	Protezione dell'infrastruttura da forti piogge, tempeste, trombe d'aria e ondate di calore grazie al cablaggio sotterraneo.	Criticità	Solo piccole porzioni dell'intera rete possono essere ristrutturate e devono essere accuratamente selezionate attraverso indagini dettagliate quando sono disponibili informazioni dettagliate.
Eventi storici	Incendi, forti piogge e inondazioni	Stima dei costi	60-150 k€/km

Tabella 3-23. Misure di protezione contro le inondazioni fluviali e marine.

Località: Lacco Ameno (punto di connessione del cavo di terraferma), Ischia (sottostazione elettrica Enel)			
			
Adattamento	Strutture di protezione contro le inondazioni (argini e sistemi di drenaggio) a favore dell'intero insieme di beni dell'area target	Criticità	Alto Nota: per confermare il livello di rischio di questi beni, è necessaria una valutazione più dettagliata che utilizzi un modello di elevazione digitale più avanzato e una modellazione delle inondazioni.
Eventi storici	esposizione moderata secondo le mappe e i rilievi GIS	Stima dei costi	Non è possibile fare una stima con le informazioni attualmente disponibili.

3.6 Turismo

3.6.1 Turismo a Ischia

Secondo l'associazione turistica di Ischia, il fatturato annuo del turismo dell'isola è di 320 milioni di euro e dà lavoro direttamente a 12.000 persone e indirettamente all'80-85% di tutte le oltre 65.000 persone che vivono sull'isola. Il settore turistico è anche responsabile di circa l'80-85% del PIL totale dell'isola.

A Ischia ci sono 325 alberghi e circa 1800 altre unità in grado di ospitare i turisti. Negli ultimi 15 anni l'isola ha accolto in media circa 3,5 milioni di turisti all'anno. Nel 2022, 2,7 milioni di turisti hanno visitato l'isola. Il picco della stagione turistica è ad agosto, quando i turisti che visitano l'isola sono 350.000.

3.6.2 Principali vulnerabilità climatiche per il settore turistico

Ovviamente la maggior frequenza rispetto al passato di eventi franosi e cadute di massi ha un effetto negativo sull'attività turistica. Questo ha comportato non solo dei danni alle infrastrutture, come lesioni o, nel peggiore dei casi, delle morti, ma ha inciso negativamente sulla reputazione dell'isola e sulla sicurezza. Un altro aspetto critico per il settore turistico è il trasporto, che è fortemente legato all'operatività dei porti di Casamicciola Terme e di Ischia Porto, in quanto la maggior parte dei turisti che arrivano sull'isola utilizzano questi due porti. Quest'ultimo è già a rischio di sommersione durante gli eventi di acqua alta e lo sarà ancora di più in futuro (si veda il capitolo sui porti e le strutture costiere).

L'aumento delle temperature può causare problemi di salute ai gruppi turistici più vulnerabili, quali i turisti anziani e quelli con condizioni di salute che risentono delle alte temperature.

Il trasporto pubblico dell'isola soffre, tra le altre cose, della scarsa protezione dall'erosione delle strade principali e secondarie. Durante le missioni sul campo, diversi tratti della circonvallazione principale dell'isola sono stati ristretti a causa di frane di piccola entità, dell'erosione della costiera e per il rischio di caduta massi.

Solo il 60% circa delle acque reflue dell'isola viene trattato in un impianto di depurazione. Eventi alluvionali più gravi possono causare ulteriori danni al trattamento delle acque: l'acqua del mare in prossimità degli sbocchi fognari può essere inquinata ed esteticamente sgradevole, soprattutto durante l'alta stagione turistica. Le fognature separate, soluzione proposta per sostituire le fognature miste nella sezione acque di questo rapporto, possono risolvere almeno in parte questo problema. Questo favorisce la gestione delle alluvioni, che altrimenti potrebbero danneggiare le infrastrutture turistiche e causare feriti o morti.

Ci sono anche diversi siti legati a località turistiche, come spiagge e altre aree e strutture ricreative, che sono direttamente coinvolti in frane, cadute di massi, inondazioni o erosione costiera, dove la vulnerabilità è ulteriormente aumentata dalla maggiore frequenza di eventi di pioggia intensa e dall'aumento del livello del mare.

L'aumento della frequenza degli incendi può anche influire sulla sicurezza dei turisti e il fumo prodotto dagli incendi può causare problemi di salute o quantomeno problemi di odore ed estetici.

3.6.3 Impatti climatici osservati ed effetto degli eventi passati

Secondo l'associazione turistica di Ischia, la frana che si è verificata nell'area di Casamicciola Terme ha fatto diminuire il numero di visitatori nelle vicinanze della frana del 30% all'anno e del 15% all'anno per l'intera isola. Si può quindi calcolare che la perdita di introiti derivante dal verificarsi di tale evento sia di circa 48 milioni di euro per il settore turistico.

Quasi tutti gli alberghi di Ischia hanno già investito nell'aria condizionata a causa dell'aumento delle temperature e della richiesta dei clienti. Sebbene ci siano lamentele per il caldo da parte dei turisti durante l'estate, nel complesso l'associazione turistica ischitana ritiene che i cambiamenti climatici prolunghino la stagione turistica all'inizio della primavera e alla fine dell'autunno.

L'evento del 26 novembre si è svolto in bassa stagione e quindi la perdita sul ricavato è stata limitata: se si fosse verificato in alta stagione, la perdita di introiti sarebbe stata significativamente maggiore. Va

comunque notato che le precipitazioni si verificano per lo più a Ischia al di fuori della stagione turistica più intensa, nel tardo autunno e in inverno.

Sull'isola ci sono anche località termali e altre aree turistiche colpite da problemi di erosione. È stato necessario chiudere alcune parti dei resort. È stato necessario chiudere in modo parziale o permanente alcuni sentieri e strade turistiche ad alto rischio di erosione.

3.6.4 Attività di adattamento consigliate

Attività di adattamento fisico

- Il sito termale Poseidon (40.71574543306944, 13.861280352219108) è già stato interessato da una colata detritica negli ultimi anni, compromettendo l'attività di una delle più apprezzate località termali di Ischia. Il Comune di Forio ha dovuto chiudere anche un sentiero turistico che dalla località termale portava al faro (Figura 3-48). Inoltre, ha richiesto un intervento per salvare la strada in cima alla montagna che collega al faro, e per rinforzare il pendio al fine di evitare altre colate detritiche e per aprire il sentiero turistico.

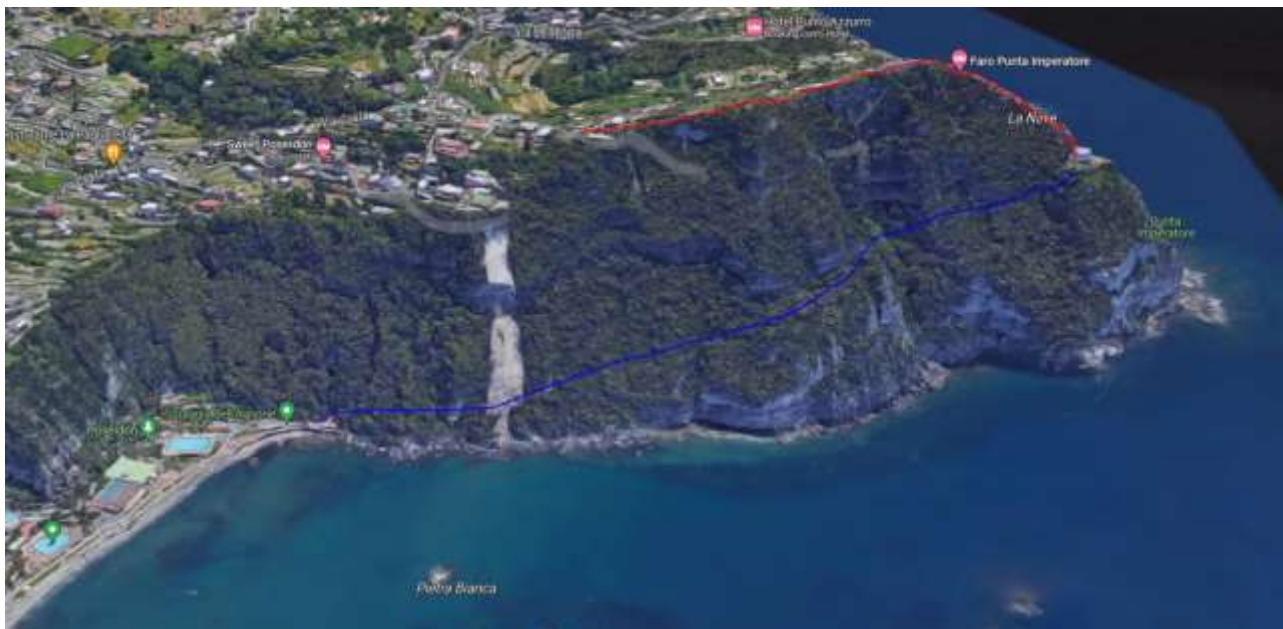


Figura 3-48. Percorso turistico dal resort Poseidon (blu) e strada per il faro e il ristorante (rosso) (Google Earth).

Il costo approssimativo stimato per la stabilizzazione della sommità della collina a protezione della strada per il faro mediante calcestruzzo, ancoraggi, stuoie d'acciaio, gabbioni e terra rinforzata è di 1,08 milioni di euro, a seconda delle opere necessarie. Tuttavia, sono necessari studi più precisi per confermare le attività di adattamento necessarie e la relativa stima dei costi.

Il costo approssimativo stimato per l'installazione di barriere paramassi per il sentiero turistico è di 0,11 M€. Il costo approssimativo stimato per l'installazione di barriere paramassi e reti paramassi sopra il resort Poseidon è di 0,48 M€ per un totale di 1,68 M€.

- La stazione termale di Negombo (40.75810413694621, 13.878267408771672) è soggetta a cadute di massi nei propri locali dalla scogliera che sovrasta la stazione stessa (Figura 3-49). Di conseguenza, parte delle piscine e delle strutture ricreative del resort sono state chiuse. Il beneficiario ha già mappato i massi a rischio di caduta e li ha contrassegnati.



Figura 3-49. Località di Negombo con ubicazione della caduta massi e strutture chiuse (Google Earth).

L'investimento consigliato in questo caso è la rimozione o l'ancoraggio dei massi marcati. Il costo approssimativo stimato è di 0,2 M€. Per una maggiore sicurezza, si raccomanda di installare anche reti di cattura dei massi a due altezze, il cui costo è stimato in 0,8 M€, rendendo la stima totale delle attività di adattamento pari a 1,0 M€.

- La Spiaggia Di Varulo (40.75690462510912, 13.884582932477171) è una popolare spiaggia a ovest di Casamicciola Terme senza accesso stradale, raggiungibile dai turisti tramite imbarcazioni. La spiaggia è circondata da ripide scogliere che soffrono di cadute di massi. Per proteggere il sito da ulteriori cadute di massi, si raccomanda di installare una rete che blocchi la roccia per un'area di 1000 mq, il cui costo è stimato in 0,12 M€.



Figura 3-50. Spiaggia di Varulo e scogliere (Google Earth).

- Le scogliere e le baie a nord del Cimitero di Lacco Ameno sono minacciate dall'erosione costiera. Le baie sono anche luoghi in cui i turisti vengono ad ancorare le loro barche e a trascorrere la giornata facendo il bagno in mare. Per proteggere i bagnanti dalla caduta delle rocce, una rete di

protezione sembra essere l'attività di adattamento più adatta. Da una stima molto approssimativa, sarebbero necessari 2000 m² di rete rocciosa con un costo stimato di 0,28 M€ (compresi i costi del servizio di ingegneria del 15%). Per proteggere la scarpata superiore dall'erosione e il cimitero dall'erosione verso il basso, sarebbe necessaria una valutazione più dettagliata.



Figura 3-51. Baie turistiche a nord del Cimitero di Di Lacco Ameno (Google Earth).

- Le scogliere vicine alla spiaggia dei Maronti sono circondate da strutture turistiche (Coordinate: 40.70, 13.90). L'area a ovest del sito è stata protetta da una rete, ma le parti orientali e settentrionali della scogliera non sono protette e causano un rischio di caduta massi vicino ad alberghi e gli altri edifici circostanti. Per proteggere gli abitanti, il personale e i turisti dalla caduta di massi, una rete di protezione sembra essere la soluzione più adatta. Da una stima approssimativa, sarebbero necessari 4.000 m² di rete rocciosa con un costo stimato di 0,55 milioni di euro (compresi i costi del servizio di ingegneria del 15%).



Figura 3-52. Scogliere della Spiaggia del Maronti (Google Earth).

Oltre agli schemi di progetto identificati durante la missione sul campo e le discussioni con gli stakeholder locali e la Struttura Commissariale, i Comuni locali hanno fornito un elenco più completo di progetti di adattamento fisico legati al turismo. Questo elenco contiene vari progetti per le frane e le inondazioni a Ischia. Tuttavia, per il team incaricato non è stato possibile valutare tutti questi luoghi e la loro criticità. Quindi, si raccomanda di studiare ulteriormente gli schemi forniti.

Attività di adattamento soft

- Gli alberghi devono essere preparati per l'evacuazione dei turisti in siti sicuri e predefiniti durante un evento di frana o alluvione o altri pericoli, e deve essere organizzato il coordinamento con il sistema di allarme rapido. Le informazioni sui siti sicuri dovrebbero essere disponibili in ogni albergo in più lingue (ad esempio inglese, francese, russo ecc. a seconda della quantità di turisti) oltre all'italiano. Il personale dell'hotel dovrebbe anche organizzare prove di evacuazione. La preparazione degli alberghi dovrebbe essere monitorata dalle autorità locali.

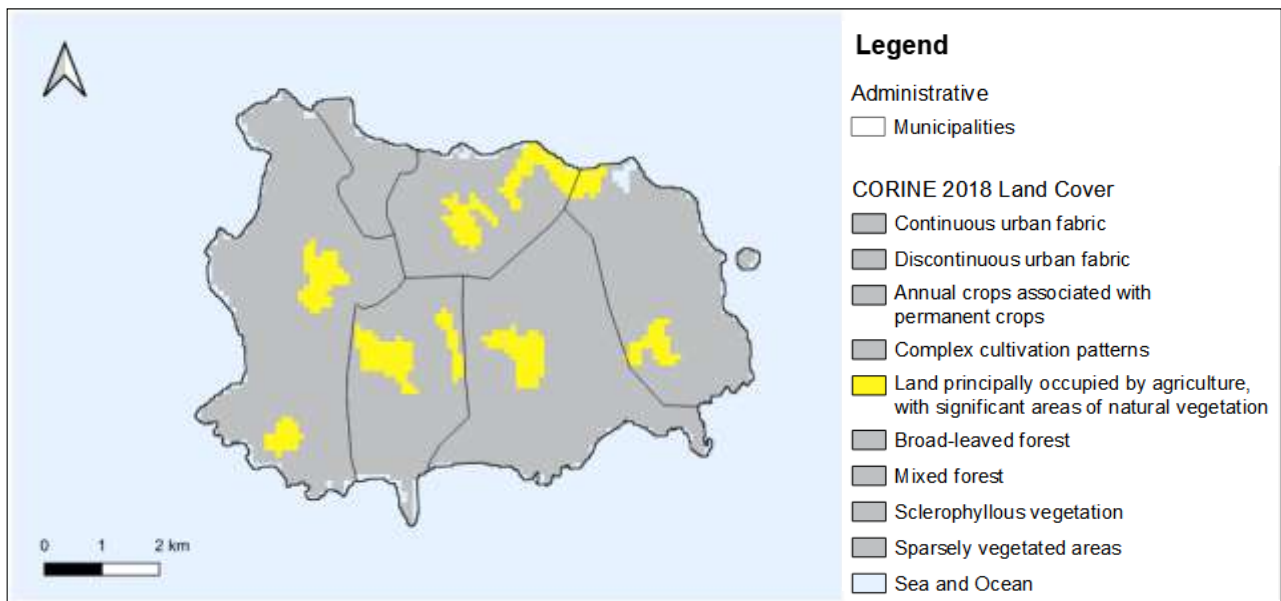
- I porti maggiori di Ischia dovrebbero essere preparati a gestire grandi quantità di persone in modo organizzato e sicuro in caso di emergenza. Si dovrebbe garantire che l'area portuale abbia uno spazio sufficiente riservato alle persone in attesa dell'evacuazione in sicurezza e che sia possibile chiudere le strade vicine o altre aree per organizzare il passaggio sicuro delle persone in attesa di imbarcarsi sulle navi. Dovrebbe essere previsto anche un piano di evacuazione per i porti, in base alla localizzazione del pericolo (frana, alluvione, ecc.).

Bisognerebbe sviluppare dei piani per fornire alle persone sia dell'acqua e sia riparo, se necessario, e organizzare esercitazioni per aumentare la capacità delle autorità locali e degli alberghi, al fine di ridurre le incertezze e migliorare le operazioni.

3.7 Agricoltura

3.7.1 Agricoltura a Ischia

Quasi il 9% dei suoli vulcanici dell'isola di Ischia è sfruttato per l'agricoltura, come visibile nella mappa sottostante (Figura 3-53). Il contributo dell'agricoltura al PIL dell'isola è stimato dagli stakeholder locali consultati al 10%, anche se il suo contributo all'occupazione è considerato piuttosto basso. La viticoltura è la forma più importante di produzione agricola a Ischia.



- Total area of Ischia is around **47,919,997 m²**
- Total area of 'Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation' on Ischia is **4,220,002 m²**
- % of Ischia covered by 'Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation' is **8.8%**

Figura 3-53. Terreni occupati principalmente dall'agricoltura, con aree significative di vegetazione naturale. Fonte: Corine 2018 Landcover

Nella sezione seguente vengono analizzate le vulnerabilità climatiche e i principali impatti potenziali sulla viticoltura dell'isola di Ischia, nonché le raccomandazioni per aumentare la resilienza del settore ai cambiamenti climatici.

3.7.2 Focus sulla viticoltura

La viticoltura è stata un'importante attività socio-economica e culturale dell'isola di Ischia fin dal 700 a.C., l'isola era infatti conosciuta come "Enaria", ovvero la terra del vino⁴⁰. Ischia si trova tra i 4 e i 51 gradi di latitudine dell'emisfero settentrionale, dove la vite è stata storicamente coltivata⁴¹. L'isola è all'avanguardia nella produzione di uno dei migliori vini di qualità, principalmente per il suolo vulcanico, il clima mediterraneo e la vicinanza al mare.

Sono quattro le principali varietà di uva utilizzate per la produzione di vini sull'isola: la Biancolella e la Forastera per i vini bianchi e la Guarnaccia e il Piediroso per i vini rossi. I vini bianchi rappresentano quasi l'80% della produzione vinicola dell'isola⁴². La principale varietà dell'isola è la Biancolella, considerata una delle migliori uve bianche d'Italia. Si tratta di una varietà poco produttiva che si adatta bene alle condizioni di caldo e siccità, comuni nell'attuale clima mediterraneo.

La maggior parte dei vigneti si trova nelle zone collinari lungo le pendici del Monte Epomeo, la vetta più alta di Ischia, che li espone a eventi meteorologici estremi (come piogge intense e frane causate dalle precipitazioni) che saranno più frequenti e intensi in un contesto di cambiamento climatico. Tuttavia, i vigneti sono per lo più coltivati su terrazzamenti, il che conferisce al vigneto una buona capacità di far fronte a questi eventi climatici.

La figura seguente mostra alcuni esempi di località dell'isola in cui sono stati piantati dei vigneti.

⁴⁰ <https://www.ischiareview.com/wines-of-ischia.html>

⁴¹ OIV. Rapporto statistico 2019 sulla viticoltura mondiale; Organizzazione internazionale della vigna e del vino: Parigi, Francia, 2019.

⁴² Saunders, P. (2004). Il linguaggio delle etichette del vino. Firefly Books. pp. 169-170. ISBN 1-55297-720-X.

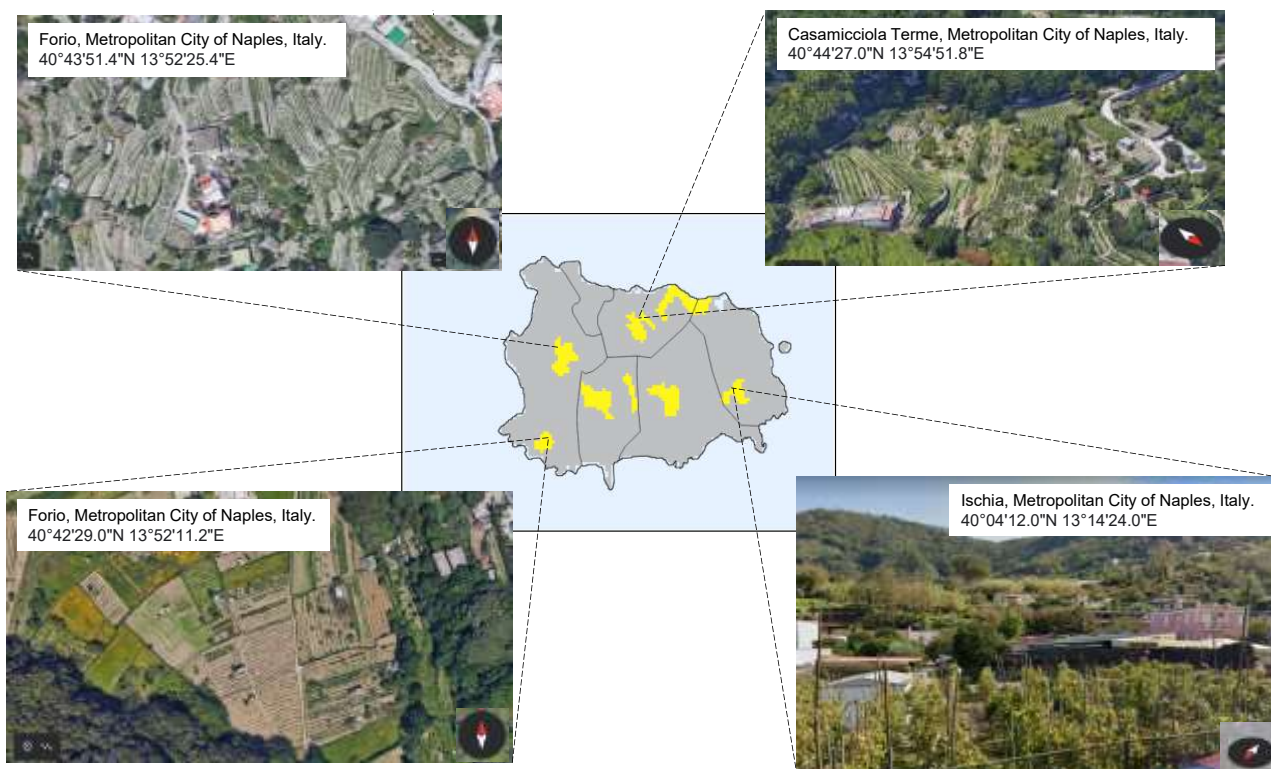


Figura 3-54. Distribuzione dei vigneti a Ischia.

3.7.3 Principali vulnerabilità climatiche della viticoltura

Tra le colture agricole, l'uva è una delle più sensibili alle variazioni di temperatura e alle precipitazioni. Le uve di alta qualità, utilizzate per la produzione di vini pregiati, sono per lo più coltivate in luoghi che sopportano un delicato equilibrio tra calore e precipitazioni. La coltivazione dell'uva è molto sensibile ai cambiamenti climatici che hanno un impatto sulla fenologia della vite, sulla composizione dell'uva, sulla microbiologia e sulla chimica del vino. La viticoltura è anche sensibile alle ondate di calore, agli incendi, alle precipitazioni abbondanti, alle gelate primaverili impreviste e alla siccità. Le regioni climatiche mediterranee (estati calde e secche; inverni freschi e umidi) sono adatte alla viticoltura, ma i cambiamenti climatici stanno avendo un enorme impatto sulla produzione di vino nella regione. La maturazione dell'uva porta a un aumento degli zuccheri grazie alla fotosintesi. Il livello di zuccheri alla vendemmia è un elemento cruciale per la produzione di un vino di buona qualità. La qualità dei vini può essere influenzata da piogge troppo abbondanti o troppo scarse e da temperature elevate o troppo basse. Anche la composizione del suolo gioca un ruolo fondamentale per lo sviluppo della vite. Le varietà di uva coltivate per i vini bianchi sono particolarmente sensibili a lievi aumenti di temperatura. In generale, la qualità della vite e quindi del vino è determinata dall'interazione tra clima, topografia, suolo, acqua, biodiversità, fattori biotici e pratiche agronomiche⁴³, tutti altamente sensibili ai cambiamenti climatici.

3.7.4 Impatti climatici osservati sulla viticoltura a Ischia

I recenti eventi estremi in tutto il mondo, come ondate di calore, siccità e inondazioni, hanno creato agitazione tra i produttori di vino. La maggior parte delle regioni vinicole del mondo, compreso il bacino del Mediterraneo, sono hotspot, caratterizzati da un aumento delle temperature più rapido della media e da piogge irregolari, che hanno un impatto negativo sulla coltivazione dell'uva nelle regioni principali.

Gli stakeholder locali consultati hanno dichiarato che non sono stati osservati impatti climatici specifici nella viticoltura locale negli anni passati, ad eccezione di un aumento dell'umidità dell'aria (generalmente legato all'aumento delle temperature dell'aria) che ha contribuito alla proliferazione della flavescenza dorata, una

⁴³ Winkler, A.J. General Viticulture; University of California Press: Berkeley, CA, USA, 1974

malattia trasmessa da insetti vettori che può causare danni significativi ai vigneti. Attualmente non esiste una cura per la flavescenza dorata e l'unico modo per gestirne la diffusione è l'estirpazione delle piante infette, l'uso di fungicidi e insetticidi o l'implementazione di barriere fisiche come reti o siepi per ridurre i vettori. Secondo gli stakeholder locali consultati, l'aumento dell'umidità dell'aria dello scorso anno e il conseguente sviluppo della flavescenza dorata hanno portato a perdite di produzione del 40% nella viticoltura ischitana.

3.7.5 Potenziali impatti del cambiamento climatico sulla viticoltura a Ischia

Vi è un ampio consenso sul fatto che con il cambiamento climatico molte zone vinicole, soprattutto nelle regioni climatiche mediterranee, potrebbero diventare inadatte alla viticoltura:

- Uno studio di Lallanilla et al. (2011) ha concluso che ampie porzioni di Europa sulla costa mediterranea, in particolare Italia, Grecia e Francia, potrebbero diventare completamente inadatte alla produzione di uva entro il 2050.
- Secondo Hannah et al.⁴⁴(2013) l'area adatta alla viticoltura diminuirà dal 25% al 73% nelle principali regioni produttrici di vino entro il 2050 in base allo scenario RCP8.5 e dal 19% al 62% nello scenario RCP4.5. Ciò potrebbe comportare uno spostamento della viticoltura verso altitudini più elevate.
- Uno studio pubblicato dai Proceedings of the National Academy of Science⁴⁵ (2020) afferma che se le temperature aumentassero di 2°C, le regioni vinicole potrebbero ridursi del 56% e dell'85% in uno scenario di 4°C (Morales-Castilla et al., 2020).
- I risultati di un altro studio di Cardell et al. (2020), condotto utilizzando gli scenari IPCC RCP 2.6, 4.5 e 8.5, confermano questa ipotesi e mostrano che la viticoltura e la produzione di vino subiranno un impatto negativo nell'Europa meridionale⁴⁶.
- Santos et al. (2020) stimano che le attuali regioni vinicole dell'Europa meridionale potrebbero subire un declino nell'idoneità alla viticoltura, soprattutto a causa di **stagioni più secche e temperature più elevate**. Tra queste, le regioni della Sicilia, della Puglia e della Campania (dove si trova Ischia), molto probabilmente soffriranno di gravi deficit idrici che potrebbero anche influire sulla qualità e sulla quantità della produzione di vino⁴⁷.

Per la gestione della viticoltura e per mantenere la qualità dei vini nelle principali aree di produzione sono necessarie strategie di adattamento tempestive, adeguate ed economicamente vantaggiose, adattate alle condizioni locali. In alcune di queste aree sarebbero necessarie anche pratiche di gestione idrica più efficienti.

I potenziali impatti dei cambiamenti climatici sulla viticoltura sono:

Ondate di calore: La temperatura è considerata uno degli elementi cruciali per la crescita e lo sviluppo della vite. Le alte temperature possono influire sulla fisiologia della pianta e sulle rese, a seconda della tolleranza della varietà al calore. Gli aumenti di temperatura possono avere un impatto importante sulla produzione di uva e sulla qualità del vino.

Le alte temperature in genere anticipano l'inizio della maturazione dei frutti e influiscono sulle altre fasi fenologiche. Questo può portare a una riduzione della fotosintesi della vite e a un lento accumulo di zuccheri durante la maturazione. Un forte stress termico può causare una significativa riduzione della produttività fotosintetica e avere un impatto su altri processi biochimici. Ad esempio,

⁴⁴ Hannah. L.; et al. 2013. Proceedings of the National Academy of Sciences Vol. 110 | No. 17 23 aprile 2013. Disponibile qui: <https://www.pnas.org/doi/suppl/10.1073/pnas.1210127110>

⁴⁵ Morales-Castilla, I. et al. (2020). La diversità protegge le regioni vitivinicole dalle perdite dovute al cambiamento climatico. Atti dell'Accademia Nazionale delle Scienze. 27 gennaio 2020.

⁴⁶ Cardell, M.F., Amengual, A. & Romero, R. Effetti futuri del cambiamento climatico sull'idoneità della produzione di uva da vino in Europa. Reg Environ Change 19, 2299-2310 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01502-x>

⁴⁷ Santos, J.A.; et al. Appl. Sci. 2020, 10(9), 3092; Disponibile su: <https://doi.org/10.3390/app10093092>

le ondate di calore durante il periodo di invaiatura-maturazione possono avere un impatto sull'accumulo di zuccheri e sulla produzione di altre sostanze (compresi i composti volatili) che contribuiscono al colore, al sapore, all'aroma, alla consistenza, all'astringenza e alla stabilizzazione del vino e svolgono un ruolo essenziale per la sua qualità⁴⁸.

Le alte temperature possono anche portare ad essiccazione, aumentando l'amarezza e l'imbrunimento nei vini da uve danneggiate. Un'altra grande preoccupazione dovuta alle alte temperature è la riduzione dell'acidità, dovuta al lento accumulo di zuccheri⁴⁹. Le estati più calde stanno anche accorciando le stagioni di crescita⁵⁰.

Gli stakeholder locali consultati hanno dichiarato che le varietà di uva utilizzate a Ischia (ad esempio la Biacolella) mostrano buone prestazioni nelle attuali condizioni di caldo e siccità. Con il cambiamento climatico, si prevede che il numero di giorni con temperatura massima giornaliera superiore a 29,2°C aumenterà fino a +14 con il modello RCP 8,5, il che potrebbe portare a 49,6 giorni con valori elevati di temperatura massima.

Precipitazioni estreme: L'uva ha bisogno di una quantità ottimale di precipitazioni e gli eventi estremi, soprattutto prima della vendemmia, possono portare a malattie e disturbi nell'equilibrio zucchero/acidità. Per lo scenario RCP8.5 è stato osservato un aumento delle precipitazioni estreme, soprattutto durante la stagione autunnale e invernale. Questa tendenza è stata riscontrata anche nello scenario RCP4,5. Le precipitazioni eccessive nella fase di maturazione (in autunno) sono sfavorevoli, potendo causare la diluizione dello zucchero e botrytis⁵¹. Eventi di precipitazione estremi potrebbero anche causare l'erosione del suolo, soprattutto nelle aree ad alta pendenza. Tuttavia, questo rischio è ridotto dal fatto che in queste aree si utilizzano terrazzamenti per coltivare i vigneti.

Siccità/secchezza: Uno studio di Cardell et al⁵². (2019) prevede un aumento del fabbisogno idrico, a causa della diminuzione delle precipitazioni e dell'elevata evapotraspirazione dovuta al riscaldamento climatico. Inoltre, mostra una riduzione della produzione di uva a causa dello stress termico e della siccità durante la stagione di crescita. Attualmente a Ischia non esistono sistemi di irrigazione.

I modelli climatici evidenziano una diminuzione dei valori delle precipitazioni stagionali, soprattutto durante il periodo estivo per gli scenari RCP4.5 e RCP8.5. Nello scenario RCP8.5 si registrano anche riduzioni a breve termine nelle stagioni primaverile e invernale.

Le proiezioni climatiche indicano effettivamente condizioni più calde e secche per Ischia nei prossimi anni. Tuttavia, quando le temperature sono più alte, l'atmosfera ha la capacità di trattenere una maggiore quantità di vapore acqueo. In altre parole, l'aria calda può contenere più umidità di quella fredda. Per questo motivo, durante i periodi secchi e caldi, è possibile avere **livelli di umidità più elevati nell'atmosfera**, che potrebbero favorire lo sviluppo di alcune malattie, come muffe e funghi. Inoltre, sebbene l'umidità non favorisca direttamente la diffusione della flavescenza dorata, è uno dei fattori che possono contribuirvi.

Frane: Le frane possono causare danni ai vigneti, agli edifici e ai beni agricoli, danni alle strade e interruzioni alla possibilità di vendita che possono causare perdite di resa, perdite di raccolto, costi di adeguamento, diminuzione dei ricavi e potrebbero anche compromettere la sostenibilità della produzione agricola. Uno studio condotto nell'ambito del progetto rivela che l'isola di Ischia è

⁴⁸ Greer, D.H.; Weedon, M.M. L'impatto delle alte temperature sulla vite *Vitis vinifera* cv. Semi lion prestazioni e maturazione delle bacche. *Front. Plant Sci.* 2013, 4

⁴⁹ Gestione della vite durante un picco di calore, Oregon State University

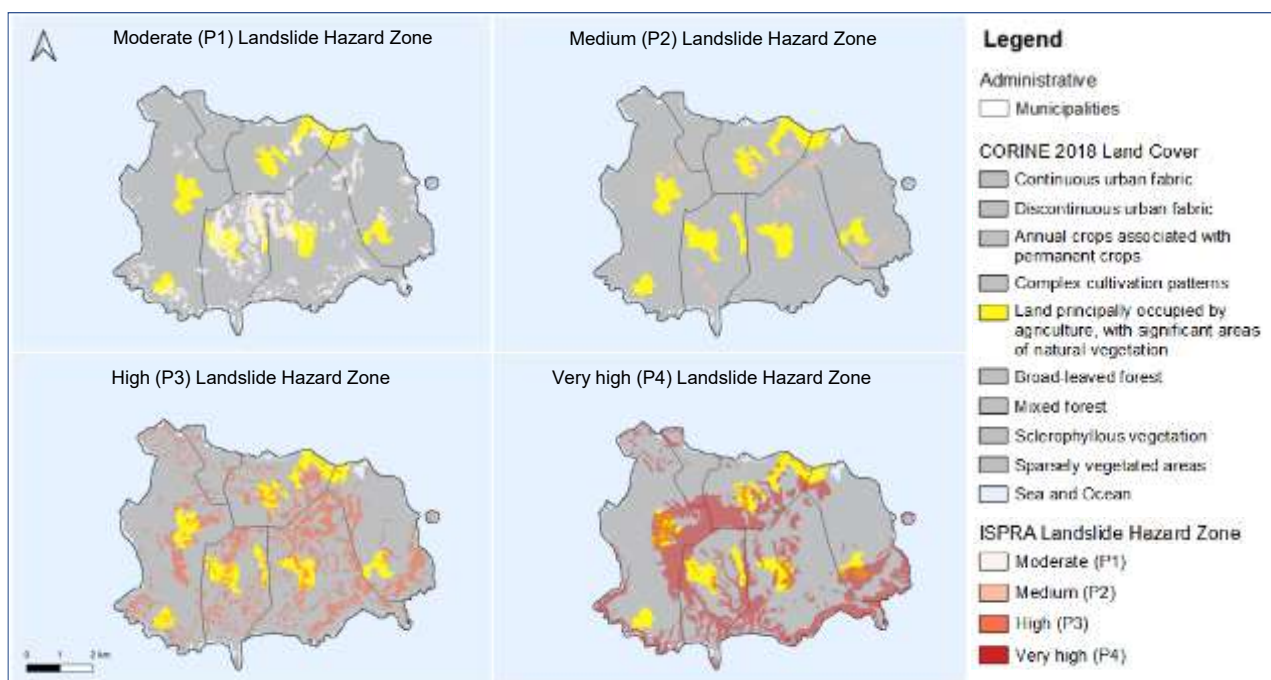
⁵⁰ L'industria vinicola italiana è messa alla prova dagli effetti del cambiamento climatico nei suoi vigneti (The Washington Post)

⁵¹ Molitor, D.; Baus, O.; Hoffmann, L.; Beyer, M. Le condizioni meteorologiche determinano l'andamento termico-temporale della vita di un individuo. posizione dell'epidemia annuale di Botrytis bunch rot su uve *Vitis vinifera* L. cv. Riesling. *OENO Uno* 2016, 50, 231-244

⁵² Cardell, M.F., Amengual, A. & Romero, R. Effetti futuri del cambiamento climatico sull'idoneità della produzione di uva da vino in Europa. *Reg Environ Change* 19, 2299-2310 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01502-x>

soggetta a frane e che le aree vulnerabili saranno probabilmente colpite con maggiore frequenza in futuro. Lo studio mostra che la probabilità di frane durante eventi piovosi estremi è più alta. Le zone vulnerabili si trovano sulle pendici del Monte Epomeo, dove la maggior parte delle viti si trova, a ridosso dei pendii collinari. Anche alcune aree costiere (sud-est) sono a rischio frana. La probabilità di una frana grave entro un anno è del 90% con il clima storico (2002-2022) e del 75-110% con lo scenario climatico futuro (2040-2060). Inoltre, lo studio afferma che il rischio di frane è destinato ad aumentare a causa dei cambiamenti climatici e che frane come quelle che si sono verificate nel 2022 sono destinate a verificarsi più spesso.

La mappa sottostante mostra le aree agricole in zone a rischio di frana, che sono per lo più occupate da vigneti. Più del 70% dei terreni principalmente destinati all'agricoltura rientrano in aree a rischio frana, **di cui quasi il 53% sono aree a rischio elevato o molto elevato di frana.**



- Total LS Zones (1-4) covering 'Land principally occupied by agriculture...' on Ischia = 3,096,149 m² / **73.37%**
- LS Zone 1 covering 'Land principally occupied by agriculture...' on Ischia = 756,025 m² / **17.92%**
- LS Zone 2 covering 'Land principally occupied by agriculture...' on Ischia = 105,610 m² / **2.50%**
- LS Zone 3 covering 'Land principally occupied by agriculture...' on Ischia = 909,842 m² / **21.56%**
- LS Zone 4 covering 'Land principally occupied by agriculture...' on Ischia = 1,324,672 m² / **31.39%**

Figura 3-55. Aree agricole in zone a rischio di frana. Fonte: Corine 2018 Landcover e ISPRa Zona a rischio frana

Grandine: La grandine comporta danni all'uva, una riduzione delle rese nell'anno successivo, un'esposizione e uno sviluppo di varie malattie del legno nella pianta. Quindi, impatta la qualità del prodotto finale: più ci avviciniamo al momento della maturazione e della raccolta, più le grandinate possono influire sulla qualità del prodotto finale. Possono anche portare a un livello molto basso di accumulo di zuccheri nell'uva, a una scarsa lignificazione dei germogli e alla distruzione e caduta delle foglie in modo innaturale e prematuro, impedendo alla pianta di riassorbire la clorofilla prodotta durante l'anno. Le viti sono più esposte al freddo invernale, non avendo il tempo di accumulare adeguatamente le sostanze di riserva necessarie per l'anno successivo.

Gelo: Le temperature negative intorno/dopo il germogliamento (così come gli eventi grandinigeni) possono avere un impatto negativo sullo sviluppo delle gemme, delle foglie e delle infiorescenze, oltre a influenzare la fisiologia e la resa della pianta. I fenomeni di cambiamento climatico hanno permesso l'innalzamento delle temperature durante i mesi prevalentemente freddi, inducendo le piante a fiorire prima rispetto a qualche decennio fa, rendendole più vulnerabili al gelo.

3.7.6 Valutazione della vulnerabilità climatica della viticoltura a Ischia

La valutazione del rischio si basa sulla definizione precedentemente illustrata che descrive la vulnerabilità climatica come una combinazione dell'esposizione a un pericolo climatico e della sua sensibilità ai potenziali impatti dei cambiamenti climatici.

Rischi

Come anticipato precedentemente, i principali rischi che interessano la viticoltura sono le ondate di calore, l'aumento dell'umidità, le precipitazioni estreme, la siccità, le frane, la grandine e le gelate. La tabella seguente contiene una valutazione di come questi rischi evolveranno a Ischia nel lungo periodo, secondo i risultati dei dati e delle proiezioni climatiche.

Tabella 3-24. Cambiamento del rischio per l'agricoltura.

Rischio climatico	Variazione della pericolosità (da 1 piccola a 3 grandi variazioni)	
Alte temperature	Alto	3
Siccità	Medio	2
Precipitazioni temporalesche	Medio	2
Grandine	Nessun dato	0
Frane	Medio	2
Gelo	Basso	1
Inondazioni costiere	Alto	3

Esposizione

La tabella seguente presenta il livello di esposizione della produzione vitivinicola ischitana ai diversi rischi climatici.

Tabella 3-25. Esposizione per l'agricoltura

Rischio climatico	Esposizione (da 1 piccolo a 3 grandi cambiamenti)	
Alte temperature	Alto	3
Siccità	Alto	3
Precipitazioni temporalesche	Medio	2
Frane	Medio	2
Gelo	Basso	1
Inondazioni costiere	Nessuna esposizione	0

Sensibilità

Sono state identificate le diverse componenti del settore vitivinicolo e la loro sensibilità ai cambiamenti delle principali variabili climatiche a cui sono esposte. I risultati sono raccolti nella matrice di sensibilità riportata di seguito.

Tabella 3-26 Sensibilità climatica per l'agricoltura

Rischio climatico	Vigneto	Quantità di prodotti	Qualità dei prodotti	Infrastrutture produttive	Catena del valore	Media del settore
Alta temperatura	2	3	3	1	1	2
Siccità	2	3	3	1	1	2
Precipitazioni temporalesche	1	2	2	2	2	2
Frane	2	2	2	3	3	2
Gelo	1	2	2	1	1	1

Vulnerabilità

Infine, il livello di vulnerabilità delle diverse componenti e del settore vitivinicolo è stato stimato combinando le matrici di esposizione e sensibilità. I risultati, presentati di seguito, aiutano ad identificare e selezionare delle opzioni di adattamento che potrebbero essere messe in atto per prime.

Tabella 3-27. Vulnerabilità per l'agricoltura

Rischio climatico	Vigneto	Quantità di prodotti	Qualità dei prodotti	Infrastrutture produttive	Catena del valore	Media del settore
Alta temperatura	3	3	3	2	2	3
Siccità	3	3	3	2	2	3
Precipitazioni temporalesche	1	2	2	2	2	2
Frane	2	2	2	3	3	2
Gelo	1	1	1	1	1	1

3.7.7 Possibili attività di adattamento per la viticoltura a Ischia

Sulla base dei risultati della valutazione della vulnerabilità di cui sopra, si possono raccomandare le seguenti opzioni di adattamento:

1. **Protezione dal calore:** La temperatura gioca un ruolo fondamentale nella produzione della vite e le alte temperature possono causare danni estesi, come discusso nelle sezioni precedenti. Sono state documentate diverse pratiche per proteggere la vite dalle ondate di calore e dalle scottature. Alcune di queste pratiche agronomiche includono l'uso di varietà di uva tolleranti il calore e la siccità, l'adozione di tecniche viticole efficaci e adatte alle condizioni locali, l'uso di reti ombreggianti, il raffreddamento per evaporazione, l'uso di materiali per la protezione solare, film di particelle, l'uso di caolino e la progettazione dei vigneti in modo da ridurre l'esposizione al sole e al calore estremo. Data l'attrattiva turistica dell'isola, qualsiasi opzione strutturale che possa

avere un impatto sul paesaggio dell'isola deve essere attentamente considerata o addirittura evitata.

2. **Gestione dei parassiti e delle malattie:** Il cambiamento climatico può aumentare il rischio di parassiti e malattie per la vite, richiedendo quindi maggiori misure per il controllo del rischio di malattie. Questo processo richiede un monitoraggio continuo, poiché il controllo di parassiti e malattie è un processo dinamico.
3. **Irrigazione:** Fornire un'irrigazione adeguata per migliorare la resa del raccolto e la qualità dell'uva, in caso di stress termico o di siccità, per soddisfare il fabbisogno idrico della vite. L'irrigazione a goccia è uno dei metodi più efficaci per conservare l'acqua e fornire un'irrigazione adeguata alle viti. Per massimizzare l'efficienza possono essere utilizzati sistemi di irrigazione automatizzati e smart.
4. **Gestione del suolo:** le tecniche di gestione del suolo per aumentare la resa e conservare l'umidità sono ben documentate e sono essenziali per la produzione della vite e per mantenere l'equilibrio idrico e nutritivo. Gli agricoltori ischitani ne utilizzano già alcune, come la pacciamatura.
5. **Strategie di adattamento a lungo termine:** Gli agricoltori devono adattarsi continuamente alle variazioni delle condizioni attuando le migliori strategie a lungo termine. La consapevolezza e l'apprendimento incrociato tra le regioni possono aiutare ad adottare le migliori pratiche di gestione della viticoltura. Sono state documentate diverse strategie a lungo termine, ma l'adattamento a Ischia dipenderà da diversi fattori, tra cui l'uso della tecnologia, le pratiche socio-culturali e la consapevolezza. Alcune delle strategie a lungo termine includono:
 - **Modifica dei sistemi di allevamento:** Si tratta di una strategia di adattamento efficace che comprende l'utilizzo di tralicci e la potatura per evitare che l'uva maturi in condizioni di alta temperatura. I sistemi di allevamento che ritardano la maturazione saranno vantaggiosi per le condizioni climatiche future.
 - **Variazione della densità di impianto:** strettamente legata al sistema di allevamento, questa può essere una strategia efficace per modificare la densità di impianto e/o l'altezza del tronco. Densità di impianto più elevate possono essere efficaci per i climi temperato-umidi, con una penetrazione delle radici più profonda e un volume del suolo maggiore.
 - **Orientamento delle file:** potrebbe essere una strategia efficace per ridurre l'esposizione dei frutti al sole in diversi momenti della giornata. Alcune pratiche documentate includono l'orientamento est-ovest per ridurre l'esposizione al sole.
 - **Selezione di varietà d'uva adatte:** la selezione delle varietà d'uva dipende in larga misura dalla temperatura e quindi la strategia a lungo termine può includere cambiamenti nelle varietà d'uva. La selezione delle varietà appropriate dipenderà dalle proiezioni climatiche con orizzonti temporali adeguati. Uno studio ha rilevato che le regioni vinicole dell'Europa settentrionale possono trarre vantaggio da varietà ampie provenienti dall'Europa meridionale, mentre l'Europa meridionale dovrà passare a varietà più adatte a climi molto caldi e secchi⁵³. Inoltre, la **diversità delle cultivar** può ridurre le perdite previste per le attuali aree viticole in uno scenario di riscaldamento di 2 °C, dal 56% al 24% e dall'85% al 58% in uno scenario di 4 °C (Morales-Castilla, 2020). Tuttavia, qualsiasi cambiamento nelle varietà di uva dovrebbe essere considerato con attenzione, in quanto porterebbe inevitabilmente a cambiamenti nel vino stesso. Gli stakeholder locali non vedono un'urgente necessità di cambiare le varietà di vino, poiché quelle utilizzate a Ischia sono ben adattate alle attuali condizioni climatiche dell'isola, ma potrebbero essere aperti a considerare questa opzione in futuro, se necessario.

⁵³ Stock, M.; Gerstengarbe, F.W.; Kartschall, T.; Werner, P.C. Reliability of climate change impact assessments for viticulture. In Atti del VII Simposio Internazionale di Fisiologia e Biotecnologia della Vite, Davis, CA, USA, 31 agosto 2005; Volume 689, pp. 29-39.

- **Selezione del portainnesto:** la selezione del portainnesto è importante e influenza la resistenza del vigneto al caldo estremo e alla siccità, nonché alle condizioni di umidità dell'aria più elevate.
- **Previsioni stagionali e sistemi di allerta precoce:** Aiutano ad anticipare i potenziali eventi climatici (ad esempio, l'estate più calda) e forniscono informazioni preziose agli agricoltori, in modo che possano prendere decisioni consapevoli sulle pratiche agricole da applicare e su quando applicarle. Il progetto [VISCA](#) (Vineyards' Integrated Smart Climate Application) sta sviluppando previsioni stagionali per favorire l'adattamento dei vigneti ai cambiamenti climatici.

L'utilizzo di zone pilota per l'adattamento dei vigneti può essere utile per testare le varie soluzioni di adattamento sopra menzionate per alcuni anni. Di conseguenza, la possibile riduzione del valore di produzione del vino verrebbe fermata o attenuata prima. I progetti pilota dovrebbero essere uno sforzo coordinato e i risultati e gli insegnamenti dovrebbero essere disponibili per l'intero settore dell'Isola di Ischia.

3.8 Soluzioni forestali e naturalistiche

3.8.1 Foreste a Ischia

Il versante settentrionale del Monte Epomeo e la sua vegetazione

A causa della sua complessa topografia, della scarsa profondità del suolo e delle tipologie forestali non gestite, il Monte Epomeo rappresenta il territorio forestale più impegnativo dell'isola di Ischia. Il versante settentrionale del Monte Epomeo presenta un mosaico diversificato di comunità vegetali, con solo alcune aree caratterizzate da popolamenti forestali naturali, in particolare sui pendii più ripidi, sulle pareti rocciose e all'interno delle gole (Figura 3-56). In questi particolari contesti geomorfologici, il leccio sempreverde (*Quercus ilex*) emerge come specie dominante, spesso associato al carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e all'orniello (*Fraxinus ornus*) intorno alle rupi, occasionalmente integrato da pioppo nero (*Populus nigra*) e pioppo tremulo (*Populus tremula*) nelle gole. Specie arboree invasive come la robinia (*Robinia pseudoacacia*), l'albero del paradiso (*Ailanthus altissima*) o alberi e da frutto (ad esempio, *Ficus carica*) sono sfuggite dalle vicine aree agricole, aumentando l'indice di emerobio della comunità vegetale. Inoltre, i resti del bosco mediterraneo di querce xerofite con roverella (*Quercus pubescens*) sono sporadicamente racchiusi all'interno di tipi forestali su pendii ripidi. Il tipo forestale a castagneto (*Castanea sativa*) copre un minor numero di pendii ripidi dall'alta alla bassa quota, dove il bosco confina con gli insediamenti urbani. Di seguito sono riassunte le considerazioni generali derivanti dalla localizzazione spaziale dei tipi forestali, individuate lungo il versante settentrionale del Monte Epomeo, fornite da potenziali soluzioni naturalistiche per il ripristino della copertura vegetale e la mitigazione del rischio di frana.

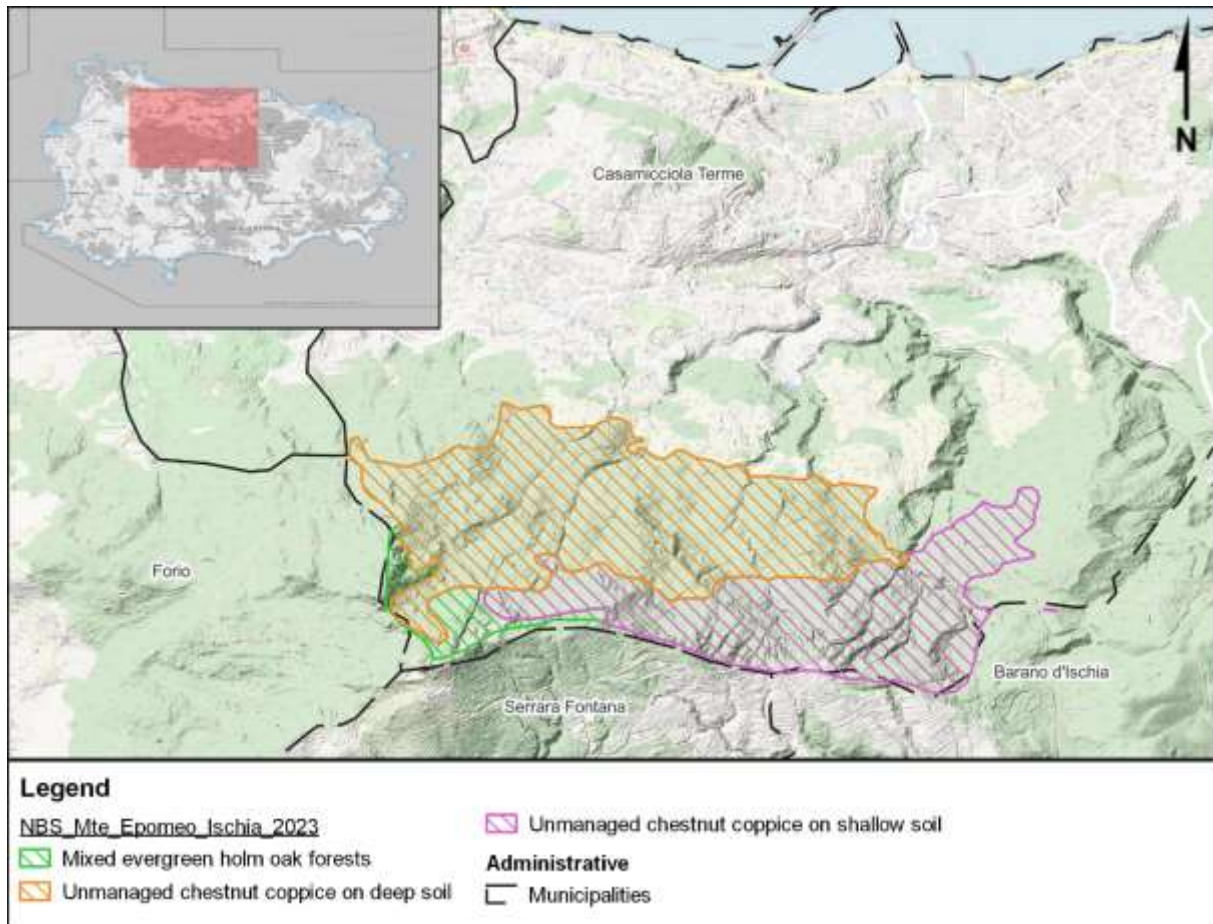


Figura 3-56. Mappa dei tipi forestali del Monte Epomeo.

i. Boschi misti di leccio sempreverdi (strato di vegetazione più apicale)

Questa vegetazione forestale mista, a prevalenza di leccio sempreverde, ricopre la parete, il margine e la base della rupe del versante settentrionale del Monte Epomeo. Qui, il 26 novembre 2022, un improvviso evento franoso ha sradicato alberi e rimosso completamente lo strato di terreno poco profondo alla base della falesia (bacino del Celario). Altrove, le pareti di tufo, non interessate da eccessivi scorrimenti idrici superficiali o da piccoli crolli, sono ricoperte da densi tappeti di muschio o avvolte da edera rampicante.

I popolamenti forestali alla base della rupe del Monte Epomeo sono costituiti da latifoglie, tra cui quercia pubescente, castagno, carpino nero e frassino da manna, accanto al leccio sempreverde. Dal punto di vista rigenerativo e strutturale, questi popolamenti assomigliano a cedui composti da alberi a più fusti di età uniforme, tagliati probabilmente intorno al 1970-1980, circa 50 anni fa. Gli alberi a fusto singolo sono comunemente dispersi sui pendii meno ripidi, mentre i pendii più ripidi e le scogliere sono occupati prevalentemente dal leccio sempreverde, caratterizzato da forme del fusto molto nodose.



Figura 3-57. Un chiaro esempio di vegetazione che cresce nel substrato roccioso del Monte Epomeo (Erica arborea in alto a sinistra e Quercus ilex in alto a destra). La foto in basso è stata scattata a valle della falesia del Monte Epomeo.

Alla base della falesia il substrato del suolo è poco profondo, non supera mai i 30 cm, seguito da uno strato di roccia tufacea molto compatta, irraggiungibile dalle radici. In questo substrato di terreno, tutte le specie arboree e arbustive sono caratterizzate da radici sub-superficiali orientate orizzontalmente. Pertanto, gli alberi hanno sviluppato un sistema radicale peculiare, disposto di preferenza lungo le curve di livello piuttosto che in salita o in discesa.

Il suolo e gli apparati radicali poco profondi, insieme alla precaria stabilità biomeccanica degli alberi, sono il principale fattore di rischio nella fascia di altitudine superiore delle foreste. L'instabilità degli alberi e degli arbusti alla base della scogliera vulcanica è aggravata da un rapporto sproporzionato tra biomassa in superficie e biomassa sotterranea.

ii. Ceduo di castagno non gestito su terreno poco profondo (strato intermedio della vegetazione)

Attualmente, il ceduo di castagno si estende dalla rupe superiore del Monte Epomeo fino a quote più basse, coprendo pendii meno ripidi rispetto alle precedenti leccete miste sempreverdi. Numerose aree all'interno dei castagneti stanno subendo una graduale transizione verso comunità forestali autoctone meso-xerofile, caratterizzate dalla presenza di specie arboree di carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e frassino da manna (*Fraxinus ornus*). Le attività di ceduazione sono state interrotte circa 50 anni fa. Lo stato attuale del bosco ceduo di castagno non gestito è contrassegnato da ceppi distribuiti in modo casuale nello spazio. In ogni ceppo, il diametro medio del fusto e l'altezza dei germogli misurano rispettivamente 19 cm e 15,5 m.



Figura 3-58. Esempi di frassino e castagno sradicati, che evidenziano un apparato radicale poco profondo e atrofizzato. In basso a sinistra, la profondità del suolo misurata è di circa 30 cm.

Questa struttura del popolamento vegetale è una conseguenza dell'interruzione storica della ceduazione, che ha contribuito a fenomeni di autodiradamento guidati dalla competizione per le risorse e dalla mortalità dei germogli sui ceppi. Inoltre, sono stati osservati elevati livelli di mortalità dei germogli, legati alla malattia del cancro della corteccia del castagno. La profondità delle radici del castagno non supera mai i 25-30 cm, rimanendo sub-superficiale con una distribuzione prevalentemente orizzontale. L'assenza di radici a fittone è attribuita alla compattezza dello strato di tufo sottostante. Questa mancanza di connessione fisico-meccanica tra gli apparati radicali e il substrato roccioso rende i castagni vulnerabili allo sradicamento e al ribaltamento, soprattutto in condizioni di suolo saturo d'acqua e di vento turbolento.

iii. Ceduo di castagno non gestito su suolo profondo (strato di vegetazione più basale)

Analogamente al castagneto non gestito, la ceduazione in questo popolamento è stata interrotta dal 1980, circa 50 anni fa. Tuttavia, le radici degli alberi esplorano il suolo a una profondità superiore a 70 cm (Figura

4) e il loro contributo alla stabilità del suolo è più evidente. Tuttavia, non si può escludere una discontinuità fisico-meccanica tra le radici e il substrato tufaceo. Inoltre, una maggiore profondità delle radici emerge dalla maggiore altezza media delle piante, pari a 18 m, rispetto ai popolamenti di castagno che crescono su terreni poco profondi. Dal punto di vista strutturale, il ceduo è composto da fusti disposti in modo casuale con 2-3 germogli di grande diametro, che sovrastano germogli vivi e morti più piccoli.

La passata interruzione della ceduazione ha favorito fenomeni di mortalità naturale causati dalla competizione tra i germogli sulla stessa ceppaia e dalla diffusa malattia del cancro della corteccia del castagno. La mortalità è stata registrata nel 66% dei germogli di castagno, mentre la frequenza di estirpazione è stata del 10%.



Figura 3-59. Nel ceduo di castagno non gestito la profondità del suolo è di circa 70 cm.

Vegetazione forestale dell'area del Cretaio

Particolarmente degna di nota è la pineta del Cretaio: in questa pineta antropizzata, *Pinus pinea* L. (pino cembro) è la specie arborea predominante, con la presenza sporadica di *Pinus pinaster* Aiton e *Pinus halepensis* Mill. (Figura 3-60). Queste foreste sono state ampiamente infestate dall'insetto *Marchalina hellenica* negli ultimi decenni. Le specie arbustive appartenenti alla macchia mediterranea, come corbezzolo, erica, ginestra, mirto, ecc. sono più diffuse dove la densità dei pini è bassa e dove la lecceta, particolarmente densa nel cratere, è assente. La presenza di vegetazione forestale curata e la pendenza relativamente moderata dell'area riducono intrinsecamente la probabilità di frane. Tuttavia, i frequenti incendi che si sono verificati in quest'area negli ultimi anni rappresentano una sfida per la gestione forestale e contribuiscono a diminuire la capacità della vegetazione forestale di fornire servizi di protezione. In questo contesto, le opzioni di gestione dovrebbero essere affrontate per prevenire futuri incendi boschivi.

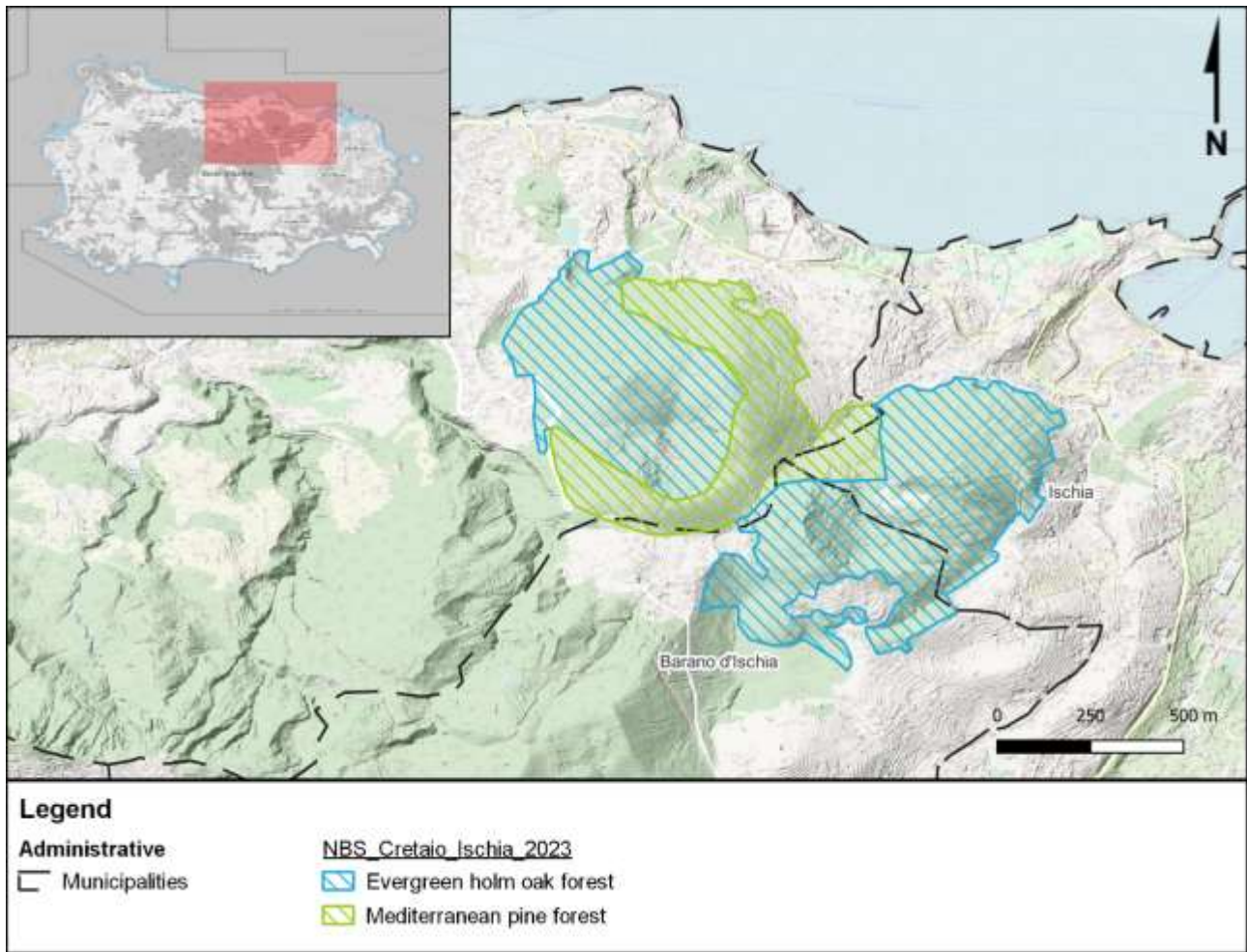


Figura 3-60. Foreste dell'area del Cretaio.

Vegetazione forestale dell'area del Monte Vezzi

La vegetazione forestale di quest'area è caratterizzata da specie miste di latifoglie dominate dal castagno (Figura 3-61). Per questo tipo di vegetazione forestale valgono le stesse considerazioni fatte per la vegetazione forestale del Monte Epomeo, dove la presenza del ceduo di castagno, se non gestita, può compromettere la stabilità della vegetazione e quindi contribuire in modo significativo all'instabilità dei versanti. Nel 2006, questo bosco è stato colpito da una grave frana, come quelle riscontrate in altre zone del M.te Epomeo. Alcune aree agricole del Monte Vezzi sono abbandonate e progressivamente colonizzate da boschi misti di leccio sempreverdi. Nel bosco, le pratiche gestionali dovrebbero prevenire l'invecchiamento ontogenetico del ceduo di castagno, favorendone la rinnovazione, ed evitare che il castagno raggiunga dimensioni eccessive del fusto o mostri segni di cancro della corteccia, che potrebbero comprometterne ulteriormente la stabilità.

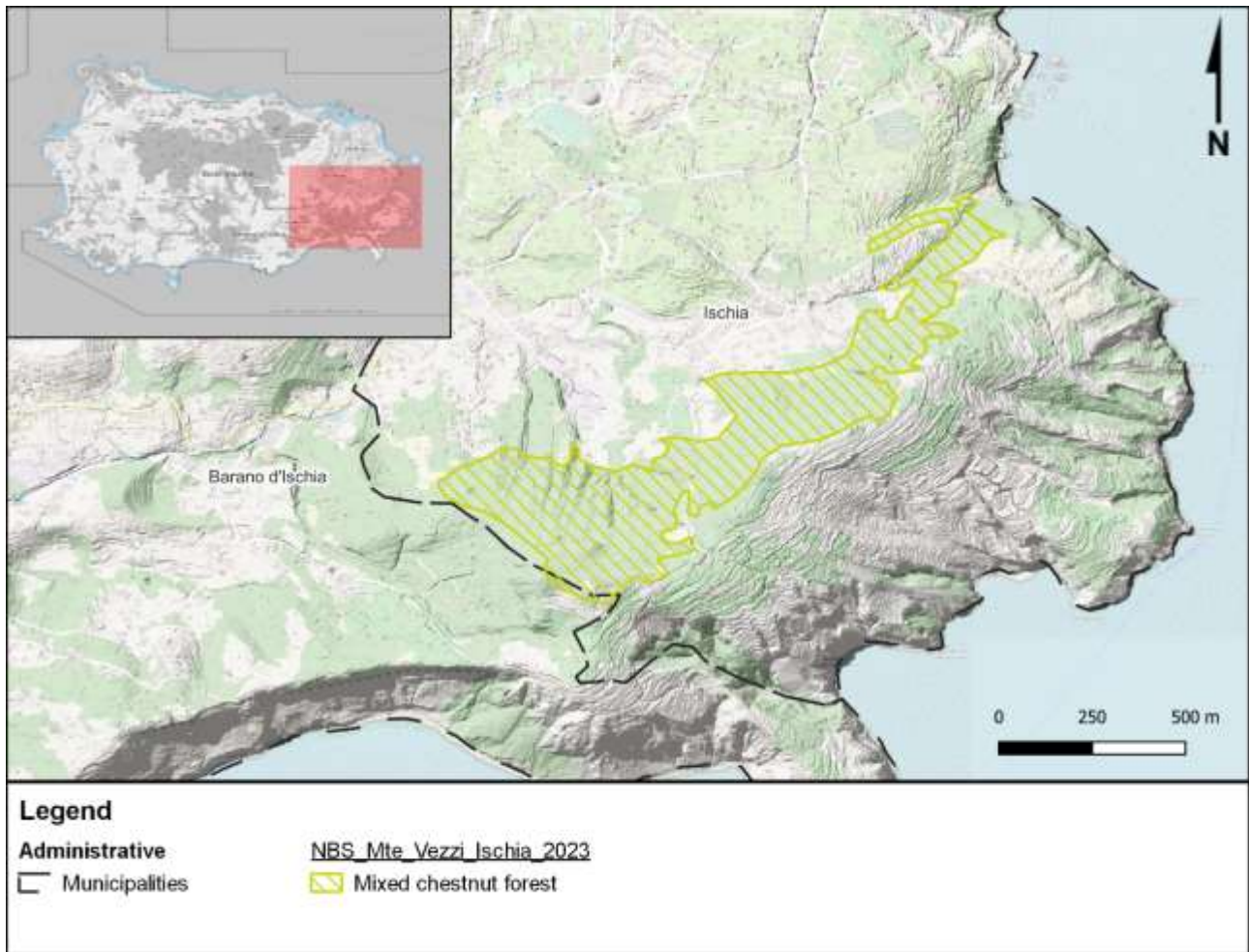


Figura 3-61. Aree forestali di Monte Vezzi.

3.8.2 Temperatura dell'aria

L' aumento della temperatura media previsto in tutti gli scenari di emissione entro il 2050, sia a livello annuale sia stagionale, potrebbe esercitare un forte stress sulla vegetazione forestale, rendendola meno resiliente ai disturbi biotici e abiotici. Particolarmente significativo è lo stress idrico estivo. L'aumento della temperatura dell'aria, unito alla riduzione delle precipitazioni estive, rende la vegetazione forestale più suscettibile alla diffusione degli incendi, che in queste aree rappresentano un fattore di minaccia primario. Il prolungato stress idrico estivo aumenterebbe ulteriormente la suscettibilità alla diffusione di patogeni/malattie, come il cancro della corteccia del castagno, che appare molto virulento sul versante esposto a nord del Monte Epomeo, compromettendo la vitalità degli individui arborei e inducendone la mortalità. Questo fenomeno porta a una generale diminuzione della resilienza della vegetazione e compromette la stabilità di fronte a eventi meteorologici avversi.

3.8.3 Incendi boschivi

Il rischio di incendi dipende da una serie di fattori, tra cui la temperatura, l'umidità del suolo e la presenza di alberi, arbusti e altro potenziale combustibile. Tutti questi fattori hanno forti legami diretti o indiretti con la variabilità del clima e i suoi cambiamenti. I futuri cambiamenti della temperatura dell'aria favoriscono l'essiccazione dei tessuti e del materiale organico (cioè i combustibili) che possono bruciare e diffondere gli incendi. Non esiste una correlazione diretta tra l'innesco degli incendi e le temperature calde; infatti, le temperature sono correlate solo indirettamente agli incendi. Nell'area del Mediterraneo meridionale oltre il 90% degli incendi è causato dall'uomo e quindi temperature più calde e condizioni più secche possono favorire la diffusione degli incendi e renderli più gravi.

3.8.4 Cambiamenti nei modelli di precipitazione

Da un punto di vista idrologico, le chiome di alberi e arbusti, insieme alla lettiera al suolo, creano un'azione di intercettazione delle precipitazioni, rallentando la velocità di caduta e assorbendo gradualmente l'acqua in eccesso dal suolo. Questa azione previene la compattazione del suolo e l'erosione dovuta all'impatto. A livello erbaceo, si verifica un parziale arresto del flusso idrico superficiale, prevenendo i fenomeni erosivi. Un altro effetto, non meno importante, è il processo di traspirazione delle piante, che porta a una diminuzione del contenuto idrico del suolo rilasciando vapore acqueo nell'atmosfera. Da un punto di vista puramente fisico, l'azione di contenimento di ogni singolo tronco si traduce in una maggiore stabilità del suolo a monte.

Gli scenari futuri delle precipitazioni per l'isola di Ischia ne prevedono un aumento durante l'autunno-inverno e una diminuzione nelle stagioni primavera-estate. In questo scenario, si prevede che la vegetazione arborea sia stressata dalla carenza idrica del suolo, seguita da una diminuzione della crescita. Tuttavia, alcune specie arboree e arbustive mediterranee sono ben adattate per affrontare le condizioni di siccità estiva, ad eccezione dei castagni che soffrono i periodi di siccità prolungati. Gli impatti futuri legati all'aumento delle precipitazioni autunno-invernali sono strettamente legati alle specie arboree e alla loro fenologia. Infatti, l'intercettazione delle precipitazioni da parte delle latifoglie durante la stagione autunno-invernale diminuisce rapidamente. Si noti che le frane avvenute in passato a Ischia si sono verificate nel bosco di castagno e sono avvenute nella finestra temporale autunno-primaverile in condizioni di assenza di foglie.

3.8.5 Vento

Sebbene si preveda che la velocità annuale del vento estremo non subirà variazioni significative in tutti gli scenari, è importante notare che le chiome degli alberi hanno un effetto destabilizzante sulla resistenza al vento. Immaginando un albero come una vela, il peso che esso impone all'apparato radicale e, di conseguenza, al suolo, aumenta con la forza del vento che lo contrasta. Questo carico crescente può favorire fenomeni di erosione dei pendii. La gestione del sovrabosco consente di ridurre il rapporto altezza/diametro degli individui, aumentando così la loro stabilità nei confronti delle forze del vento. Un ruolo particolare nell'interazione copertura forestale-vento è svolto dalla forma e dalle dimensioni delle radure.

3.8.6 Soluzioni naturalistiche consigliate

i. Raccomandazioni per i boschi misti di leccio sempreverdi del Monte Epomeo

Per mitigare il rischio di frane, è essenziale gestire la biomassa legnosa sopra al terreno. Ridurre il carico di biomassa fuori dal terreno e preservare la funzionalità della biomassa radicale degli alberi dovrebbe essere la soluzione principale. La gestione della biomassa aiuta a mitigare i fattori negativi legati all'instabilità dei pendii, tra cui: i) il sovraccarico di biomassa in superficie e ii) lo sradicamento/topping degli alberi. Pertanto, un intervento appropriato dovrebbe essere la ceduzione di alberi vivi e morti sul bordo della scogliera, sulla parete e alla sua base.

ii. Raccomandazioni per soluzioni naturalistiche per i cedui di castagno non gestiti su terreni poco profondi nel Monte Epomeo (strato medio di vegetazione):

La discontinuità fisica e meccanica tra le radici del castagno e lo strato di tufo compattato è esacerbata dalla sproporzione del rapporto biomassa in superficie/sottosuolo. Ridurre il carico di biomassa in superficie e preservare il funzionamento della biomassa radicale sotterranea è un approccio appropriato per mitigare il rischio di futuri sradicamenti e rovesciamenti di alberi nel tipo di bosco di castagno.

Una potenziale opzione selvicolturale potrebbe essere la ceduzione di piccole aree forestali (< 5 ha) a brevi intervalli di tempo (rotazione minima di 12 anni secondo la legge regionale) senza rilascio di norme, rappresentando un approccio adatto a mitigare il rischio legato al sovraccarico di biomassa fuori terra. Il ceceo semplice è una soluzione naturale per la gestione sostenibile delle foreste, in cui gli alberi vengono tagliati sistematicamente e ripetutamente e la rigenerazione avviene per via vegetativa, attraverso il germogliamento o i polloni (spesso dalla ceppaia, in alternativa dalle radici). Questa pratica mantiene vitale l'apparato radicale, con la possibilità di ripetere la pratica innumerevoli volte.

Le dimensioni ridotte dei tagli al di sotto dei 5 ettari consentono di ridurre l'impatto dei fenomeni erosivi che potrebbero insorgere nei periodi immediatamente successivi al taglio; tuttavia, la ricostituzione della nuova copertura forestale avviene entro 1-2 stagioni vegetative, ristabilendo le condizioni ottimali per la stabilità. Inoltre, in base al grado di pendenza, la forma e l'estensione delle superfici forestali disboscate dovrebbero essere distribuite spazialmente per ridurre il flusso idrico superficiale e prevenire i processi erosivi. Prevediamo che nelle aree in cui i castagni incontrano difficoltà nel rigenerare tempestivamente il soprassuolo, il bosco dovrebbe gradualmente tornare alla sua formazione originaria e autoctona, caratterizzata da specie di frassino e carpino. Se questa trasformazione non dovesse avvenire in tempi coerenti con gli scenari di copertura forestale, l'intervento potrebbe consistere nel promuovere l'impianto di specie arbustive autoctone come *Phillyrea angustifolia*, *Ruscus aculeatus*, *Myrtus communis* ed *Erica arborea*.

iii. Raccomandazioni per soluzioni naturalistiche per l'area del Monte Vezzi

La mitigazione del rischio potrebbe essere ottenuta riducendo il sovraccarico di biomassa in superficie e preservando il funzionamento della biomassa radicale in profondità. Pertanto, la gestione dei castagneti attraverso la ceduzione di piccole superfici forestali (<5 ha) a brevi intervalli di tempo (rotazione minima di 12 anni secondo la legge regionale) dovrebbe rappresentare una soluzione adeguata per mitigare il rischio legato al sovraccarico di biomassa in superficie. Considerando il tipo di operazione selvicolturale, il costo complessivo stimato per la superficie boschiva di circa 31 ha ammonta a 0,106 M€ (incluso nell'investimento di Monte Vezzi).

iv. Raccomandazioni per soluzioni naturalistiche per l'area del Cretaio

Le azioni di prevenzione degli incendi mirano a gestire le condizioni del combustibile riducendo il pericolo futuro, diminuendo la facilità di accensione del combustibile e gli sforzi per la soppressione degli incendi, influenzando sia le dimensioni che la gravità dell'incendio, ovvero l'entità degli impatti negativi significativi degli incendi selvatici sui sistemi della natura.

Nei popolamenti di pino del Cretaio, la gestione del combustibile forestale comporta modifiche ai due strati di combustibili vivi e morti (ladder fuels, crown fuels) nella struttura di un popolamento forestale, vale a dire: i) la rimozione selettiva o la modifica dei combustibili vivi/morti e ladder fuels per ridurre la loro disposizione verticale e la continuità orizzontale. Pertanto, il diradamento selettivo rappresenta l'adeguata prevenzione selvicolturale degli incendi boschivi efficace nel ridurre sia i ladder fuels sia la densità della chioma.

Il costo complessivo stimato dell'operazione di prevenzione degli incendi selvatici è di circa 0,136 milioni di euro per i circa 46 ettari di pineta mediterranea.

v. Stima dei costi

La tabella seguente presenta la stima dei costi per le soluzioni naturali raccomandate esaminate nei paragrafi precedenti. Al momento, la stima dei costi è approssimativa. Pertanto, prima dell'attuazione è necessaria una valutazione più accurata che tenga conto del profitto derivante dalla vendita di assortimenti di legno commerciabile (tondame, legna da ardere).

Descrizione degli approcci al restauro forestale	Costo unitario (€/ha)	Superficie totale (ha)	Costo Totale (€)
Ceduazione su bordi e pareti rocciose			
Ripristino di rupi montane instabili coperte da vegetazione autoctona e degradate dalle radici di alberi e/o arbusti e da altri fattori. Questo intervento di ripristino prevede l'abbattimento di alberi e arbusti, la rimozione di alberi e arbusti sradicati e di rocce clastiche precarie. Inoltre, comprende il sezionamento dei fusti e dei rami caduti e il trasporto del materiale legnoso al deposito di legname, dove viene temporaneamente stoccato. Questo intervento deve essere realizzato secondo i criteri temporali e spaziali stabiliti da un piano di gestione forestale locale.	5.324,30	6,2070	33.047,93
Ceduazione alla base della scogliera			
La ceduazione nei castagneti non gestiti prevede l'abbattimento, la sramatura e la sezionatura di alberi e arbusti, seguita dall'accatastamento del materiale legnoso. I rami e il materiale legnoso del fusto vengono concentrati per il successivo trasporto al deposito di legname. Questo intervento deve essere realizzato alla base della rupe e in piccole unità forestali secondo i criteri temporali e spaziali stabiliti da un piano di gestione forestale locale.	4.351,90	10,8483	47.210,72
Ceduazione non gestita di castagno su terreni poco profondi			
Ceduazione del bosco ceduo di castagno con finalità fitosanitarie. L'attività consiste nell'abbattimento di alberi morti e nella raccolta di materiale legnoso in aree con pendenze elevate e suoli poco profondi. Le operazioni forestali comprendono il sezionamento di alberi e arbusti e il trasporto e la cippatura del materiale legnoso al di fuori dei boschi fino al deposito di legname. Questo intervento deve essere realizzato in unità forestali secondo i criteri temporali e spaziali stabiliti da un piano di gestione forestale locale.	3.08,75	32,5451	110.938,11
Ceduazione non gestita di castagno su terreni profondi			
Ceduazione del bosco ceduo di castagno con finalità fitosanitarie. L'attività consiste nell'abbattimento di alberi morti e nella raccolta di materiale legnoso in aree con suoli profondi. Le operazioni forestali comprendono il sezionamento di alberi e arbusti e il trasporto e la cippatura del materiale legnoso al di fuori dei boschi fino al deposito di legname. Questo intervento deve essere realizzato in unità forestali secondo i criteri temporali e spaziali stabiliti da un piano di gestione forestale locale.	3.408,75	64,5313	219.971,07
Superficie totale e costo del restauro forestale		114,1317€	411.167,83€

3.9 Attività di adattamento intersettoriali raccomandate relative ai rischi idrogeologici

I rischi idrogeologici (ovvero, alluvioni e frane) sono considerati il principale rischio legato ai cambiamenti climatici sull'Isola di Ischia e interessano diversi settori. Per adeguare le infrastrutture esistenti, progettare al meglio quelle future nonché educare la popolazione dell'isola, sono state individuate diverse attività strutturali e non.

Le **attività strutturali** sono individuali per ciascuno dei diversi settori considerati, e vengono descritte in questa sezione. Le seguenti sezioni settoriali forniscono maggiori informazioni sulle misure specifiche del settore. Le **attività non strutturali**, invece, hanno validità su tutti i settori e sono:

Pianificazione territoriale e paesaggistica e mappatura dettagliata del rischio di frane e alluvioni
Catasto, inventario e documentazione degli eventi di rischio naturale in tutta l'isola
Sistema di monitoraggio, allarme rapido e segnalazione dei pericoli naturali a livello di tutta l'isola

3.9.1 Aree per attività di adattamento intersettoriali

I rischi idrogeologici sono eventi che coinvolgono aree molto vaste e interessano di conseguenza più settori. Di seguito vengono descritte le aree pericolose, e le relative attività di adattamento intersettoriali.

vi. Area di Monte Vezzi

L'area di Monte Vezzi (40.71, 13.94) (Figura 3-62) è stata riconosciuta come uno dei luoghi in cui è più probabile che si verifichino frane e l'area è già stata interessata da frane in passato. Molte aziende agricole dell'area e altre infrastrutture sono state abbandonate, le attività di terrazzamento e la gestione forestale sono state sospese. Per proteggere le infrastrutture sottostanti da alluvioni e frane, si raccomandano le seguenti misure:

- Verifica della stabilità del crinale, indagini/monitoraggi satellitari e indagini geodetiche in superficie e del sottosuolo. Misurazione e monitoraggio dell'umidità del suolo. Opere di mitigazione del rischio idrogeologico attraverso:
 - Realizzazione di bacini idrici naturali
 - Realizzazione di barriere di flusso posizionate a varie altezze, rispettando la morfologia del pendio.
 - Realizzazione di passerelle e ripristino dei terrazzamenti dove presenti, ricostruendo i "muri a secco".
- Protezione dei bordi e dei solchi creati dalla frana del maggio 2006, attraverso l'applicazione di reti e biostuoie per favorire l'integrazione della vegetazione già esistente.
- Realizzazione di un bacino rinforzato per la raccolta di eventuali flussi di acqua.
- Sviluppo di un piano di gestione forestale e organizzazione temporale e spaziale del ceduo della vegetazione (maggiori dettagli nel capitolo 3.9.6).
- La stima dei costi, fornita dal Comune, per le opere di cui sopra è di **14,6 milioni di euro**.



Figura 3-62. Monte Vezzi e le vicine infrastrutture e aree abitative nella parte sud-orientale dell'isola di Ischia (Google Earth).

vii. Area del Cretaio

L'area del Cretaio (40.73988281390738, 13.926763647810743) (Figura 3-63) è stata riconosciuta come uno dei luoghi più probabili per la formazione di frane e l'area è già stata interessata da frane in passato. L'area presenta analogie con il già citato Monte Vezzi, in quanto è anch'essa in gran parte boschiva e presenta alcune strutture a terrazza. Per proteggere le infrastrutture sottostanti da alluvioni e frane, si raccomandano le seguenti misure:

- Verifica della stabilità della cresta, indagini/monitoraggi satellitari e indagini geodetiche in superficie e nel sottosuolo. Misurare e monitorare l'umidità del suolo
- La mitigazione del rischio idrogeologico avviene attraverso:
 - Costruzione di bacini idrici naturali con la creazione di strutture idrauliche
 - Creazione di barriere al flusso posizionate a varie altezze, rispettando la morfologia del pendio.
 - Realizzazione di passerelle e ripristino di terrazze dove presenti, ricostruendo i "muri a secco".
 - Drenaggio dei pendii, riduzione della pressione interstiziale
- Realizzazione di un bacino in terra rinforzata per la raccolta di eventuali flussi di acqua.
- Sviluppo di un piano di gestione forestale e organizzazione temporale e spaziale del ceduo della vegetazione forestale (maggiori dettagli nel capitolo 3.9.6).
- L'area sotto le colline del Cretaio è stata riconosciuta come un'area a rischio di inondazioni sia fluviali che costiere e necessita di ulteriori misure di prevenzione (Figura 3-64).
- La stima dei costi, calcolata confrontando il sito con le dimensioni del sito di Monte Vezzi, per le opere sopra citate è di **15 milioni di euro**.



Figura 3-63. Colline dell'area del Cretai con sotto l'area del porto di Ischia (Google Earth).

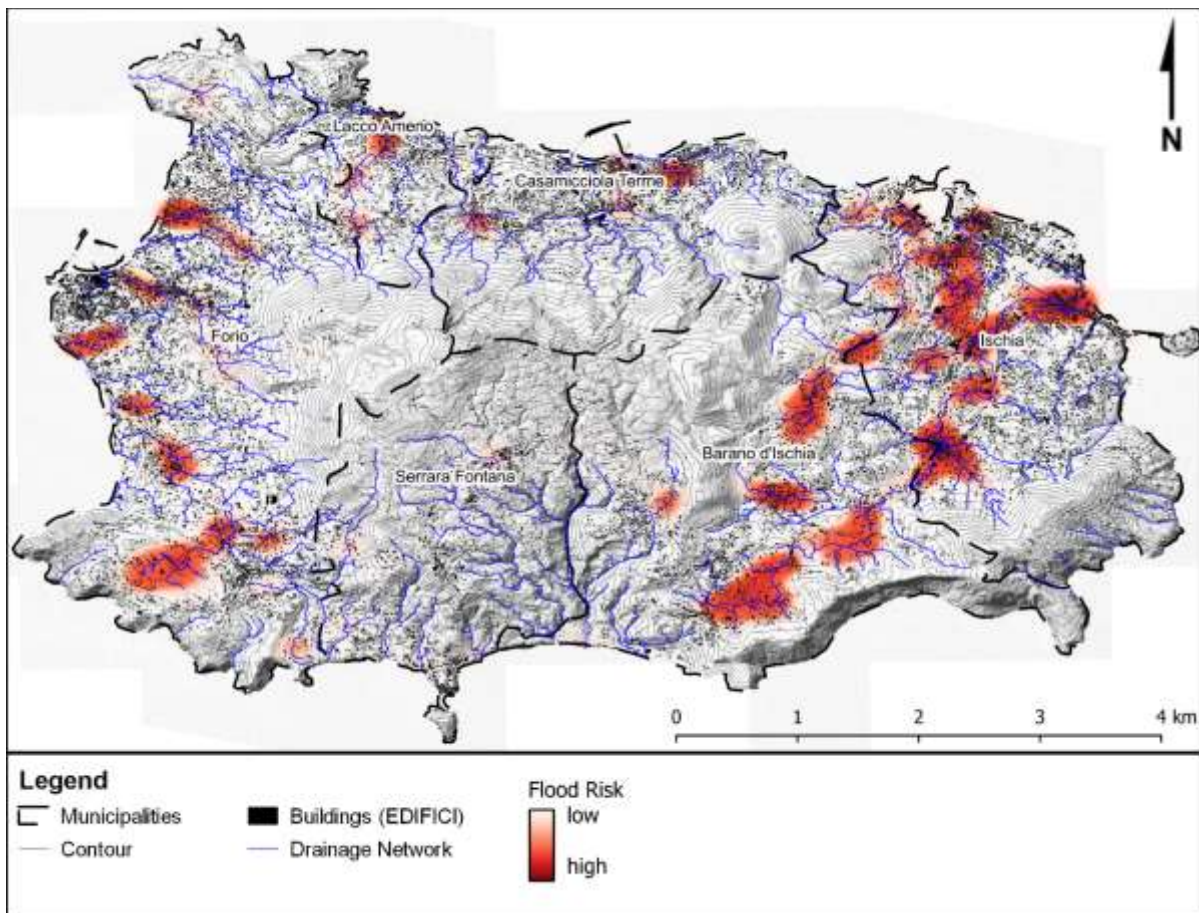


Figura 3-64. Mappa di calore del rischio di alluvione di Ischia con gli edifici.

viii. Area di Forio

L'area di Forio, verso la parte centrale alta dell'isola (40.73988281390738, 13.926763647810743) (Figura 3-63) è stata riconosciuta come uno dei luoghi in cui è più probabile che si verifichino frane e l'area è già stata interessata da frane in passato. L'area si differenzia dalle due aree precedentemente menzionate in quanto è in parte meno boscosa e ha sofferto più di cadute di massi che di frane soprattutto nella sua parte superiore. Per proteggere le infrastrutture sottostanti da inondazioni e frane, si raccomandano le seguenti misure:

- Verifica della stabilità del crinale, indagini/monitoraggi satellitari e indagini geodetiche in superficie e nel sottosuolo. Misurazione e monitoraggio dell'umidità del suolo Opere di mitigazione del rischio idrogeologico attraverso:
 - Costruzione di bacini idrici naturali
 - Creazione di barriere al flusso posizionate a varie altezze, rispettando la morfologia del pendio.
- Realizzazione di un bacino in terra rinforzata per la raccolta di eventuali flussi di acqua.
- La stima dei costi, basata sulle dimensioni approssimative dell'area e confrontata con la stima di Monte Vezzi, per le opere sopra citate è di **15-30 M€**.



Figura 3-65. Area a rischio frana e alluvione di Forio (Google Earth).

3.9.2 Attività strutturali

Nella relazione "Piano commissariale di interventi urgenti" sono elencate le misure strutturali comuni per Casamicciola Terme. La relazione distingue gli interventi che si trovano sulle rocce, sui pendii e nei corsi d'acqua. La relazione fornisce nuove informazioni progettuali per gli interventi proposti, ma non valuta nel dettaglio gli interventi previsti.

Per la mitigazione della caduta massi, il rapporto suggerisce la rimozione tramite dragaggio o brillamento o anche la spaccatura di massi isolati. Inoltre, le attività passive potrebbero essere le barriere paramassi, come le reti omonime, che devono essere adeguatamente ancorate e posizionate sul campo. Altre misure strutturali potrebbero essere le dighe di contenimento della caduta massi.

Per la mitigazione delle frane, il rapporto suggerisce l'uso di terreni rinforzati, muri a gabbioni (costituiti da una rete metallica a doppio ritorto in acciaio trafilato riempita di pietre) o drenaggio.

Per la mitigazione delle colate detritiche, vengono proposte misure nei corsi d'acqua. Ad esempio, barriere o frangiflutti, argini (per stabilizzare il letto del fiume e ridurre l'erosione), rompionde e dighe. Inoltre, si propongono bacini di ritenzione delle piene e delle colate detritiche (con la costruzione di una diga più grande) e aree di dissipazione.

In generale, si può affermare che le misure proposte sono in grado di mitigare il rischio naturale sia nelle condizioni attuali che in quelle di cambiamento climatico, qualora siano adeguatamente progettate. Pertanto, in questo rapporto vengono presentate solo poche attività di adattamento per Casamicciola Terme.

Una volta installate, le strutture devono essere sottoposte a un'adeguata manutenzione (che comprende ispezioni regolari, ad esempio annuali o dopo periodi di forti piogge) e riparate in caso di danni dovuti a eventi pericolosi naturali. Tutte le ispezioni e i lavori di adattamento devono essere ben documentati, ad esempio sotto forma di database GIS. In combinazione con un catasto degli eventi di pericolo naturale, la documentazione di manutenzione consente di testare la funzionalità delle misure di mitigazione. In caso le indicazioni suggeriscano che le misure implementate siano insufficienti, gli adattamenti devono essere effettuati sulla base di una nuova valutazione dell'intensità e della distribuzione spaziale dei pericoli naturali.

Oltre alle 3 aree hotspot sopra citate, i comuni locali hanno raccolto un elenco di interventi che comprende diversi siti in cui sono richiesti miglioramenti per gli alvei e altre opere legate all'idrologia. Non è stato possibile ispezionare questi siti nell'ambito di questo incarico, ma si raccomanda di studiare l'elenco in modo più approfondito insieme agli stakeholder locali.

3.9.3 Pianificazione territoriale e paesaggistica e mappatura dettagliata del rischio di frane e alluvioni

La priorità deve essere data alla prevenzione dei rischi basata sulla pianificazione territoriale e paesaggistica. Se ciò non è possibile, devono essere previste attività di adattamento strutturale. L'isola di Ischia ha un insediamento molto denso, anche nelle aree più scoscese. La pianificazione territoriale potrebbe essere un'opzione per ridurre il rischio legato ai pericoli geo-idrologici. Per una pianificazione territoriale efficace, dovrebbe essere realizzata una mappatura del rischio di alluvioni e frane più dettagliata di quella attualmente disponibile (nelle mappe ISPRA e nelle mappe di rischio generate per questo studio), per identificare più dettagliatamente le aree a rischio. Tale mappatura del rischio idrogeologico richiederebbe una modellazione numerica più precisa per le aree specifiche ad alto rischio identificate in questo studio (ad esempio le aree elencate nel Capitolo 3.9.1 sopra). Sulla base di queste informazioni è possibile pianificare la costruzione e la protezione.

Per gli edifici e gli altri beni esistenti, tali studi dettagliati delle aree a rischio consentono di valutare l'efficacia delle potenziali misure di protezione strutturale, nonché le relative incertezze e il rischio residuo. Tale valutazione dovrebbe includere anche un'analisi costi-benefici per le diverse misure di riduzione del rischio, compreso il trasferimento delle strutture esistenti. Se il rischio per le strutture esistenti e per i residenti non può essere mitigato con misure di adattamento e protezione praticabili, si dovrebbe prendere in considerazione anche il trasferimento come possibile attività di adattamento. Poiché l'area disponibile per nuovi progetti di costruzione è limitata sull'isola, ciò potrebbe comportare anche il trasferimento di alcune funzioni sulla terraferma.

La pianificazione territoriale e paesaggistica comprende anche aspetti di gestione agricola e forestale. Le misure agricole possono includere la protezione e il ripristino dei terrazzamenti (come proposto per le aree elencate nel capitolo 3.9.1 sopra). Le misure forestali possono includere le misure descritte nella relazione "Piano commissariale di interventi urgenti" per le aree di Casamicciola Terme, Monte Vezzi e Cretaio, e le misure descritte nel capitolo 3.8. (Soluzioni forestali e naturalistiche).

3.9.4 Catasto, inventario e documentazione degli eventi di rischio naturale in tutta l'isola

La conoscenza degli eventi passati è un'importante fonte di informazioni per la valutazione dei rischi e la gestione integrata di questi. Pertanto, si propone un catasto, un inventario e una documentazione degli eventi di rischio naturale a livello dell'isola. Come punto di partenza, il database esistente sulle frane potrebbe essere utilizzato e ulteriormente integrato nel sistema di monitoraggio dei rischi naturali proposto.

L'isola di Ischia è soggetta a vari tipi di rischi naturali, come testimoniato da diversi eventi del passato. La conoscenza degli eventi passati è un'importante fonte di informazioni per la valutazione della pericolosità e la gestione integrata del rischio. Inoltre, aiuta a validare e (ri)valutare i risultati dei modelli, a determinare le aree potenzialmente a rischio e a stimare la probabilità e l'intensità degli eventi pericolosi. Una buona documentazione (comprese le fotografie) e la comprensione di determinati eventi faciliteranno il dialogo sul rischio con le parti interessate. La documentazione può essere utilizzata anche per sensibilizzare le comunità locali sui rischi naturali e sulle misure di mitigazione necessarie.

Si propone quindi di sviluppare un catasto degli eventi osservati che descriva il tipo di pericolo, l'ora, il luogo, la dimensione/intensità, la distribuzione spaziale, la descrizione e i possibili meccanismi di innesco. In una prima fase, i principali eventi del passato (ad esempio, documentati da scienziati) dovrebbero essere documentati in modo retrospettivo analizzando archivi, rapporti, immagini satellitari o intervistando testimoni contemporanei. Il database esistente (confronta Figura 1-17) e i documenti scientifici sono quindi un buon punto di partenza. Il secondo passo dovrebbe essere la documentazione sistematica degli eventi recenti. Ad esempio, ogni comune potrebbe nominare un responsabile che documenti gli eventi franosi nel catasto.

Si raccomanda di incorporare il catasto degli eventi come un GIS-layer in una soluzione software integrata per tutta l'isola (ad esempio, inserita in una piattaforma di gestione integrata dei dati (IDMP), come descritto di seguito). L'applicazione consente di creare mappe di inventario che mostrano un insieme di eventi che si sono verificati in diverse località. Questo catasto potrebbe essere utilizzato anche per interpretare lo stato attuale delle frane. Ad esempio, l'aumento dell'attività di eventi minori in una particolare area (ad esempio, caduta di massi, colate detritiche, frane minori) potrebbe essere un indicatore di un evento più grande (frana rocciosa, frana profonda) che si verificherà nel prossimo futuro.

3.9.5 Sistema di monitoraggio, preallarme e allarme dei rischi naturali

Il sistema di monitoraggio dei rischi naturali, di allerta e di allarme qui proposto potrebbe informare diversi settori e la società di Ischia sulla situazione attuale dei rischi idrogeologici dell'isola. Il sistema e i suoi potenziali componenti sono descritti di seguito. Le attività proposte sono suggerimenti dell'AFRY, che si basano sulle conoscenze e sull'esperienza acquisita in progetti condotti in tutto il mondo.

Per la gestione e il monitoraggio del clima e dei rischi naturali, è necessario generare, archiviare, elaborare, visualizzare e interpretare diversi tipi di dati geologici ed ambientali (ad esempio, misure di precipitazione, misure di umidità del suolo, immagini satellitari, ecc).

I dati di monitoraggio geologico ed ambientale descrivono diversi processi e parametri relativi ai rischi idrologici e geologici e provengono tipicamente da fonti diverse. Di conseguenza, è necessario disporre di una piattaforma di gestione dei dati integrata che raccolga tutti i dati pertinenti. La soluzione software proposta è un sistema di database basato sul web, con una struttura modulare, che consente l'applicazione di GIS ed è facile da usare grazie a un'interfaccia grafica (GUI).

Il piano di gestione integrata dei dati (IDMP) includerà i dati e le funzionalità di:

- catasto degli eventi su tutta l'isola;
- rete di monitoraggio idrometeorologico e geo-rischi su tutta l'isola;
- risultati di previsione meteorologica;
- Sistema di allarme e di preallarme

e dovrebbe fungere da sistema di monitoraggio, allarme e allerta dei rischi naturali.

L'implementazione di un IDMP può essere graduale: ciò significa che in una prima fase il sistema potrebbe essere implementato a Casamicciola Terme, che è il comune a maggior rischio. Ad esempio, il sistema potrebbe essere costruito sullo strumento esistente presso il Presidio Territoriale Comune di Casamicciola Terme. Questo strumento utilizza già (1) la videosorveglianza dei canali principali che provengono dalla montagna e raggiungono la valle, (2) cinque pluviometri (Casamicciola Frana, Ischia, Piano Liguori, Monte Epomeo, Foria), che forniscono informazioni sulle precipitazioni in tempo reale, (3) un radar meteorologico e (4) estensimetri e inclinometri che misurano il movimento del pendio vicino alla strada statale. Tutte le fonti di dati potrebbero essere integrate in un'unica piattaforma. In una fase successiva, anche altri comuni potrebbero avere accesso al sistema con un focus specifico sul loro territorio e su rischi specifici. Il sistema deve essere progettato con una struttura modulare in modo da poter essere esteso facilmente e, se necessario, integrare con uno sforzo adeguato i dati aggiuntivi da altre fonti (risultati di osservazioni geologiche ed ambientali e modelli numerici).

L'IDMP deve essere progettato e implementato in modo da supportare un rapido processo decisionale nella pianificazione a breve termine (ad esempio, l'allerta precoce), consentendo al contempo un'analisi approfondita dei dati, necessaria per le discussioni tra esperti durante il processo decisionale a lungo termine (ad esempio, grandi investimenti infrastrutturali). Un punto centrale è l'usabilità della piattaforma, in particolare è essenziale una GUI (Graphical User Interface) che consenta una visione integrata dei diversi livelli di dati. L'interfaccia grafica deve essere anche informativa, nel senso che, ad esempio, devono essere visibili i livelli di allarme di alcune stazioni di misura. Inoltre, l'IDMP deve essere un sistema di supporto alle decisioni con un ragionevole grado di automatismo (ad esempio, l'invio automatico di messaggi di allarme via e-mail), pur supportando efficacemente il processo decisionale manuale.

Il sistema deve essere gestito da un'autorità ufficiale e l'accesso può essere aperto ai comuni e al pubblico. La figura seguente illustra il concetto generale dell'IDMP e mostra gli utenti, i flussi di dati e le fonti di dati:

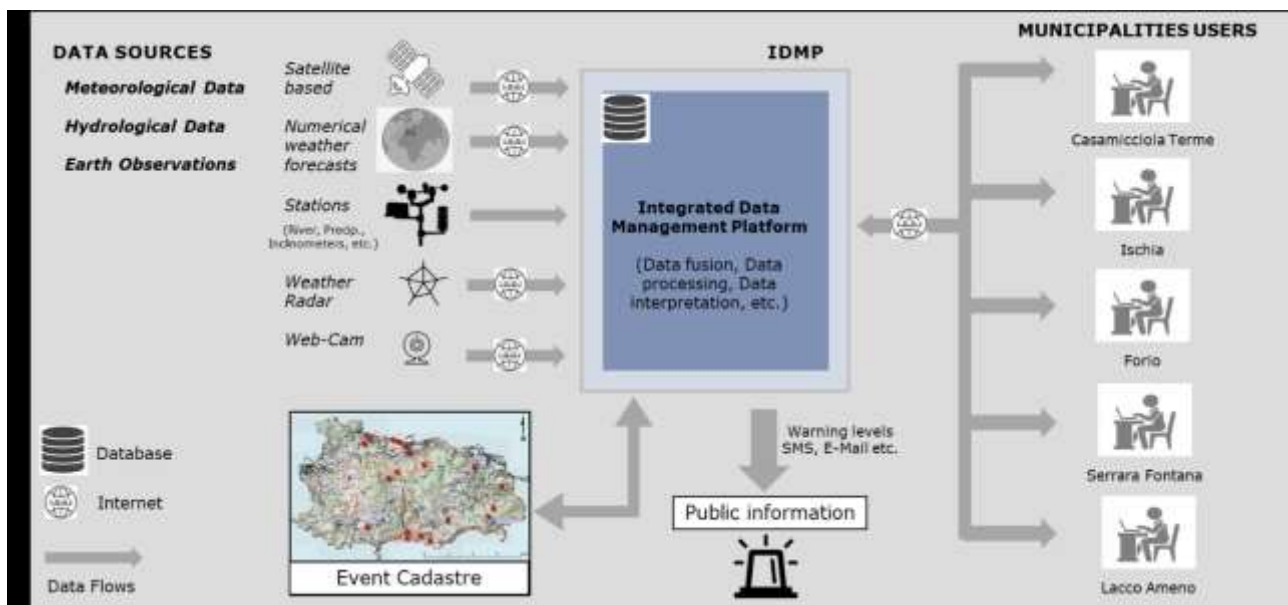


Figura 3-66 Concetto dell'IDMP che mostra i principali utenti, le principali fonti di dati e i flussi di dati

I punti seguenti descrivono in modo più dettagliato i componenti del sistema di monitoraggio, allerta e allarme dei rischi naturali:

1. Rete di monitoraggio idrometeorologico

Il monitoraggio dei parametri idrologici (portata dei fiumi) e meteorologici (precipitazioni, temperatura, ecc.) sull'Isola di Ischia è di estrema importanza per prendere decisioni resilienti al clima. Questo dovrebbe includere i dati delle stazioni e quelli del telerilevamento o dei radar meteorologici. Sulla base di questi dati è possibile ottenere informazioni sullo stato idrometeorologico attuale dell'isola, che è un riferimento importante per stimare la situazione futura a breve termine di alluvioni e frane. Le informazioni raccolte

attraverso la rete di monitoraggio possono quindi essere utilizzate per i sistemi di allerta precoce e di allarme, ma anche per la corretta progettazione delle misure di protezione da alluvioni e frane.

Attualmente, sull'Isola di Ischia sono attive quattro stazioni meteorologiche. Tuttavia, i dati non sono disponibili in tempo reale (o lo sono solo per una comunità chiusa).

Inoltre, sembra che nessuna stazione di misura fluviale sia in funzione sull'isola. Si raccomanda quindi di installare stazioni di misurazione fluviale presso i torrenti più grandi.

Ciascun indicatore deve essere dotato di sensori automatici e trasmesso in tempo reale. Ove possibile, dovrebbe essere effettuata anche la lettura manuale dei misuratori, come back-up nel caso in cui i sensori automatici o la trasmissione dei dati non fossero operativi. I dati delle stazioni automatiche e i dati di telerilevamento provenienti da fonti pubbliche e/o da fornitori commerciali (ad esempio, informazioni meteorologiche e nivologiche spaziali e temporali) dovrebbero essere integrati in un sistema di monitoraggio completo. Questo sistema potrebbe anche servire come piattaforma per l'allerta precoce o l'allarme.

I costi per l'installazione di un sistema di monitoraggio dei rischi geologici devono essere considerati nelle stime CAPEX del piano di investimento. Il funzionamento di un network esteso è considerato un compito impegnativo che richiederà sforzi considerevoli per il funzionamento e la manutenzione. Questo aspetto deve essere considerato di conseguenza nelle stime OPEX del piano di investimento.

2. Rete di monitoraggio dei rischi geologici

Il monitoraggio di fonti già identificate e localizzate di geo-pericoli (ad esempio, punti caldi come Cava Cuccufrido (evento 2022)) è di estrema importanza.

Per il monitoraggio dei rischi geologici, si devono prendere in considerazione diverse tecnologie:

- webcam,
- sensori radar,
- inclinometri,
- linee di attivazione,
- immagini satellitari o InSAR,
- immagini da drone

Il layout della rete di monitoraggio e le tecnologie richieste, adatte ai pericoli specifici, dovranno essere specificate in dettaglio durante le fasi successive del progetto. Si propone un'implementazione graduale della rete:

- Fase 1: devono essere definiti ulteriori studi (ad esempio, l'identificazione dettagliata di altri punti caldi), l'ubicazione e il tipo di tecnologia di monitoraggio.
- Fase 2: sviluppo di un concetto di monitoraggio (a terra e/o a distanza) e di un sistema di osservazione delle instabilità dei versanti nelle aree interessate.
- Fase 3: estensione della rete di monitoraggio nel caso in cui vengano identificate nuove fonti di rischio o altre fonti di rischio geologico in futuro.

I dati di misura raccolti dai sensori automatici devono essere trasmessi in tempo reale. Inoltre, le ispezioni visive delle fonti di pericolo critiche devono essere effettuate a intervalli regolari.

I dati delle stazioni automatiche a terra e i dati di telerilevamento (ad esempio, immagini satellitari dei laghi glaciali o InSAR) dovrebbero essere integrati in un sistema di monitoraggio completo. I dati raccolti, in particolare quelli forniti dai sistemi di rilevamento dei pericoli, come le linee di innesco o le webcam, saranno informazioni importanti per il sistema di allerta precoce.

I costi per l'installazione di un sistema di monitoraggio dei rischi geologici devono essere considerati nelle stime CAPEX del piano di investimento. Il funzionamento di una rete densa è considerato un compito

impegnativo che richiederà sforzi considerevoli per il funzionamento e la manutenzione. Questo aspetto deve essere considerato di conseguenza nelle stime OPEX del piano di investimento.

3. Utilizzo di prodotti per le previsioni meteorologiche

Per informare gli abitanti dell'isola sulle condizioni meteorologiche critiche, l'accesso alle previsioni del tempo giornaliere, settimanali e stagionali è essenziale. Questi prodotti di previsione meteorologica:

consentiranno di segnalare tempestivamente situazioni meteorologiche critiche, aumentando la preparazione in relazione a vari tipi di geo-pericoli (ad esempio, in caso di previsioni di forti piogge potrebbero essere posizionati dei macchinari presso i ponti);
potrebbero essere accoppiati con un sistema di modellazione idrologica. Questo sistema genererebbe previsioni di portata fluviale che potrebbero essere utilizzate per la pianificazione e la programmazione dell'energia idroelettrica e per l'allerta in caso di alluvioni (con alcune limitazioni).

Esistono diversi prodotti di previsione meteorologica, commerciali e non, che potrebbero essere utili per l'isola. La selezione dei prodotti adeguati sarà legata all'impostazione tecnica e istituzionale dell'uso delle previsioni meteorologiche.

4. Sistema di allarme e preallarme

Le sirene e altri segnali di allarme devono essere presenti per avvisare le comunità in caso di emergenze. Tali emergenze sono ad esempio:

- Alluvioni,
- Flussi detritici,
- Frane.

Le emergenze devono essere rilevate tempestivamente da un sistema di monitoraggio adeguato. Le previsioni meteorologiche e dei flussi fluviali devono essere integrate nel sistema di allerta precoce e di allarme per aumentare la preparazione generale. Le soglie e i tipi di allarme relativi all'allerta precoce e alle azioni associate devono essere definiti in un **Piano d'azione per le emergenze**.

In generale, l'allerta precoce e l'allarme dovrebbero essere gestiti e controllati a livello centrale - a tale scopo sarebbe adatta la piattaforma di gestione dati integrata proposta, in cui vengono raccolti ed elaborati tutti i tipi di dati. Sulla base di soglie definite, il sistema centrale deve inviare segnali di allarme, che devono essere fisici (ad esempio, luci di avvertimento, sirene) ma anche digitali (ad esempio, e-mail, SMS).

Il sistema di allarme deve essere regolarmente valutato e aggiornato nel caso in cui vengano identificate nuove fonti di pericolo naturale o si rendano disponibili ulteriori dati di monitoraggio.

Il CAPEX per le attività non strutturali proposte è il seguente:

Attività	Tipo	Costi [M€]
Pianificazione territoriale e paesaggistica e mappatura dettagliata del rischio di frane e alluvioni	Studio	0,5
Catasto, inventario e documentazione degli eventi di pericolo naturale	Studio	0,3
Sistema di monitoraggio, preallarme e allarme dei rischi naturali	Software, materiale e studio	2,8

3.10 Raccomandazioni progettuali per la ricostruzione di Ischia

Dalle analisi settoriali e intersettoriali, è possibile formulare alcune raccomandazioni generali di progettazione che possono contribuire agli sforzi di ricostruzione che considerano l'adattamento ai futuri rischi climatici. Le principali raccomandazioni, descritte più dettagliatamente di seguito, si riferiscono alla progettazione idraulica, alla progettazione delle strutture costiere e alla temperatura per la progettazione degli edifici.

3.10.1 Progettazione idraulica basata su proiezioni di precipitazioni estreme future (curve IDF)

Le analisi delle proiezioni di precipitazioni estreme descritte nel Capitolo 2.4.2. hanno mostrato un chiaro aumento dell'intensità delle precipitazioni future. La Tabella 2.12 nel Capitolo 2.4.2 fornisce le proiezioni ensemble-mean dell'aumento della Precipitazione Massima Annuale (MAP) ottenute con diversi scenari RCP dall'ensemble EURO-CORDEX, sulla base dell'analisi degli eventi estremi osservati. Per periodi di ritorno fino a 20 anni, le diverse proiezioni mostrano un aumento tra il 5% e il 10%. Per periodi di ritorno di 50 e 100 anni, gli aumenti previsti sono più elevati, tra l'8% e il 25%. Si noti che questi valori sono risultati medi di ensemble e che anche i risultati dei singoli modelli climatici includono aumenti sostanzialmente più elevati (si veda l'appendice 5).

Sebbene queste analisi presentino alcune limitazioni e includano un'elevata incertezza (si veda la discussione nell'appendice 5), **esse forniscono una stima scientifica allo stato dell'arte dei futuri aumenti delle precipitazioni estreme su Ischia. Si raccomanda pertanto di applicare in generale i fattori di incremento risultanti da queste analisi, compresi tra il 5% e il 25%, in qualsiasi progetto idraulico attuale e futuro** (fino a quando non saranno disponibili nuove valutazioni).

I parametri di progettazione idraulica sono utilizzati in molti settori per la progettazione del drenaggio locale e la definizione delle dimensioni dei tubi, ad esempio in:

- progettazione del deflusso delle piene e delle misure di protezione dalle inondazioni (per questo settore l'uso di un maggiore apporto di precipitazioni era già stato concordato nell'ambito di questo progetto);
- reti di acque reflue (acque meteoriche)
- drenaggio stradale (canalizzazioni, ponti, ecc.)
- drenaggio degli edifici.

3.10.2 Strutture costiere

Per tutte le progettazioni marittime, si devono considerare le variazioni del livello del mare, compreso l'innalzamento dovuto al riscaldamento globale, ma anche le pressioni barometriche e le mareggiate, nonché le azioni del vento e delle onde.

Si raccomanda che tutte le banchine dei porti intorno all'isola siano almeno a +1 m sopra il livello medio del mare per evitare la sommersione durante gli eventi di "Aqua Alta". Tutte le banchine dei porti al di sotto di +1m s.l.m. dovranno essere innalzate, se possibile, con una soluzione adattiva (ad esempio con un bacino galleggiante) in grado di adattarsi alla lenta variazione del livello del mare dovuta al riscaldamento globale (fino a 26cm entro il 2050) ma anche a quella stagionale e puntuale con gli effetti locali delle mareggiate. Si raccomanda di effettuare studi sull'agitazione delle onde utilizzando modelli numerici adeguati per valutare le azioni delle onde che possono generare problemi di sommersione.

Per quanto riguarda i frangiflutti del porto, si raccomanda di effettuare studi metoceanici, integrati da studi di propagazione delle onde per ricavare le caratteristiche dell'onda alla punta delle strutture e integrando l'innalzamento del livello del mare dovuto al riscaldamento globale. Gli studi devono essere eseguiti secondo le raccomandazioni di Eurotop o del manuale sul sovrascorrimento, o anche utilizzando prove in un bacino d'onda fisico o numerico per determinare l'altezza dei frangiflutti da rispettare per evitare il sovrascorrimento delle onde.

Anche per le strutture in roccia è necessario effettuare studi di progettazione, secondo le raccomandazioni del manuale della roccia e in particolare utilizzando le formule di Hudson e Van Der Meer per garantire la stabilità delle strutture rispetto ai vincoli idrodinamici.

Per quanto riguarda l'erosione costiera, è necessario intraprendere studi morfodinamici a breve, medio e lungo termine con studi diacronici sull'evoluzione della linea di costa nelle aree soggette a erosione, includendo l'innalzamento del livello del mare e la modifica del clima ondoso dovuta ai cambiamenti climatici.

3.10.3 Parametri di progettazione della temperatura per gli edifici

A Ischia si prevede che il numero di giorni estivi, i gradi giorno di raffreddamento e i periodi caldi aumenteranno significativamente con l'aumento delle temperature medie in tutti gli scenari RCP. Si prevede anche un aumento significativo del numero di notti tropicali. Ciò comporterà l'inefficacia del raffreddamento tramite ventilazione naturale, poiché la temperatura non scende sotto i 20°C durante i tre mesi estivi. L'aumento prolungato delle temperature potrebbe richiedere l'installazione di sistemi di raffreddamento aggiuntivi.

Le attività di adattamento passivo, come i frangisole, possono essere utilizzate per fornire protezione dall'abbagliamento e ombra al fine di ridurre il carico di riscaldamento interno, ma è molto probabile che siano necessari anche sistemi di raffreddamento e ventilazione attivi (aria condizionata) per fornire un raffreddamento immediato nei periodi di caldo estremo e nelle notti tropicali per mantenere condizioni interne tollerabili. Si **raccomanda che i nuovi sistemi di raffreddamento, almeno nelle infrastrutture critiche, siano progettati in base ai modelli di temperatura RCP 8.5. Ciò significa che i modelli di temperatura RCP 8.5 sono stati calcolati in base alle condizioni di temperatura.** Ciò significa che i modelli di temperatura RCP 8.5 devono essere considerati nella progettazione della capacità di raffreddamento dei nuovi sistemi. I parametri di progettazione dei sistemi di raffreddamento e ventilazione potrebbero essere implementati anche nelle istruzioni di progettazione dell'isola. Va notato che il raffreddamento degli edifici influisce sulle prestazioni igrotermiche dell'involucro edilizio. Il raffreddamento e l'eventuale condensazione indurranno danni legati all'umidità, soprattutto negli edifici più vecchi con materiali organici dell'involucro. Le prestazioni igrotermiche delle strutture dell'involucro devono essere valutate durante la progettazione dei sistemi di raffreddamento.

3.11 Risultati chiave sul potenziale impatto climatico, sulla vulnerabilità settoriale e sulle possibili attività di adattamento

Il capitolo 3 della Parte 1 di questo rapporto ha descritto le analisi sul potenziale impatto climatico, la vulnerabilità climatica e le possibili attività di adattamento per ciascuno dei settori considerati e le raccomandazioni per le attività di adattamento intersettoriali. I risultati principali possono essere riassunti come segue:

Adattamento intersettoriale ai rischi idrogeologici

- Le frane e le alluvioni sono considerate i principali pericoli climatici. Per le loro caratteristiche e per la loro diffusione, possono avere un impatto su diverse infrastrutture e settori economici allo stesso tempo.
- Le attività di adattamento strutturale possono ridurre selettivamente il rischio idrogeologico. Tuttavia, il rischio zero non è possibile.
- Le attività di adattamento non strutturali, come il miglioramento della pianificazione territoriale e paesaggistica (compresa la mappatura aggiornata del rischio di frane e alluvioni), basata e combinata con i catasti dei rischi naturali, nonché un sistema di monitoraggio, allerta e allarme dei rischi naturali su tutta l'isola, miglioreranno la preparazione della società dell'isola ai rischi idrogeologici.

Strade

- In generale, le strade di Ischia soffrono della mancanza di un monitoraggio continuo delle condizioni e della manutenzione. Si raccomanda di preparare annualmente piani di manutenzione sistematici, utilizzando il moderno Road Asset Management System (RAMS), con gli ultimi dati sulle condizioni.
- Le strade ben mantenute sono generalmente più resistenti ai rischi climatici rispetto a quelle che presentano debolezze strutturali e difetti della pavimentazione (ad esempio, la costruzione di costose protezioni per la strada può non essere giustificata se la strada stessa è in cattive condizioni).
- Tuttavia, in molte località è facile giustificare l'adattamento ai rischi climatici, soprattutto per le strade di categoria superiore. Vengono proposte attività di adattamento specifiche, basate sui risultati di una missione sul campo e sulle informazioni fornite dalla Struttura Commissariale e dagli stakeholder locali.
- In sporadiche località, le strade hanno una capacità ridotta a causa della protezione inadeguata, con conseguente riduzione della larghezza della strada.
- Si raccomanda una valutazione più dettagliata del rischio climatico per le strade e si fornisce una metodologia per tale valutazione. Una valutazione più dettagliata del rischio, compresi gli inventari sul campo, può fornire informazioni di base per ulteriori attività di adattamento ai cambiamenti climatici.

Edifici

- I rischi più significativi per gli edifici sono legati alle frane. Si raccomanda di effettuare valutazioni precise dei rischi nelle aree a rischio identificate, per determinare le attività locali adeguate e dare priorità ai progetti raccomandati.
- Il Comune di Ischia è stato identificato come area a rischio di alluvione. È necessario uno studio più preciso sulle alluvioni per valutare i rischi e le attività di adattamento in quest'area.
- La siccità può provocare incendi boschivi che minacciano le aree densamente popolate. Per ridurre il rischio di diffusione degli incendi nelle aree urbane, si raccomanda il controllo della vegetazione e una maggiore sorveglianza durante la stagione più secca.
- L'aumento delle temperature si ripercuoterà sugli edifici e sugli occupanti. Le attività di adattamento passivo, come i frangisole, possono essere utilizzate per fornire protezione antiriflesso e ombra per ridurre il carico di riscaldamento interno, ma è molto probabile che siano necessari anche sistemi di raffreddamento e ventilazione attivi (aria condizionata) per fornire un raffreddamento immediato nei periodi di caldo estremo. Le possibili esigenze di adattamento dovrebbero essere valutate separatamente per ogni edificio, ma l'ospedale di Ischia, in quanto infrastruttura critica, viene indicato come una potenziale priorità di adattamento.

Porti e infrastrutture costiere

- Si prevede che la sommersione delle aree costiere raggiunga i livelli di 1,26 metri sopra il livello del mare durante una mareggiata con periodo di ritorno di 100 anni entro il 2050 e di + 2,26 m se si considera anche il moto ondoso (rilevante per le aree prive di strutture di protezione per la costa). Soprattutto il porto di Ischia è minacciato dai livelli attuali dell'acqua e lo sarà ancora di più in futuro. A Ischia Porto sono necessarie misure urgenti per aumentare l'altezza delle banchine del lato orientale.
- L'erosione costiera sta interessando Ischia soprattutto sulle coste sud-occidentali, occidentali e nord-occidentali dell'isola. Alcuni siti turistici, strade e persino l'eliporto dell'isola sono minacciati dall'erosione costiera e sono state fornite raccomandazioni di adattamento per i punti più critici.
- È probabile che anche molte altre strutture costiere debbano essere riprogettate e migliorate per tenere conto dell'aumento del livello dell'acqua. Tuttavia, l'imprecisione del modello digitale di elevazione non ha permesso di effettuare questa mappatura nell'ambito del presente incarico.

Approvvigionamento idrico e acque reflue

L'approvvigionamento idrico svolge un ruolo socio-economico significativo per l'isola di Ischia, essendo particolarmente essenziale per il settore turistico.

Dipendendo principalmente dalle fonti continentali, la maggior parte delle infrastrutture di approvvigionamento idrico e fognario dell'isola sono ad alto rischio di frane.

Circa 9.600 m di condotte fognarie miste sono a rischio di intasamento e tracimazione, con circa 5.600 m ad alta vulnerabilità e 4.000 m a rischio medio, con un impatto significativo su Barano d'Ischia. Inoltre, circa 18.500 m di condotte dell'acqua potabile sono a rischio frana, in particolare a Serrara Fontana.

Inoltre, oltre il 30% del sistema di drenaggio, che comprende condotte per le acque piovane e fognature miste, è considerato insufficiente per salvaguardare gli insediamenti dalle inondazioni.

Fornitura di energia

L'analisi del settore energetico, sebbene condizionata dalla mancanza di mappe dettagliate della rete di distribuzione elettrica e quindi limitata alle informazioni disponibili pubblicamente e ai rilievi effettuati dal team assegnato, ha permesso di riportare i potenziali rischi principali per le infrastrutture energetiche dell'isola. Sono poi state identificate alcune possibili opzioni di adattamento.

I rischi di frane, inondazioni, incendi, innalzamento del livello del mare e quelli legati all'innalzamento delle temperature possono avere un impatto fortemente negativo sull'infrastruttura elettrica, che ha sottostazioni sulla terraferma (esposte a inondazioni, frane, temperature e innalzamento del livello del mare) e cavi aerei che raggiungono tutti i comuni dell'isola (con relativa esposizione a danni da incendi, inondazioni, frane).

È importante sottolineare che la maggior parte dei potenziali rischi legati al cambiamento climatico identificati sono comuni in tutti gli ambienti edificati in cui si trova la rete elettrica. L'infrastruttura beneficerebbe in generale delle potenziali attività di adattamento applicabili a livello di distretto. Tuttavia, sono state identificate attività di adattamento specifiche per il settore energetico, come il cablaggio sotterraneo per la rete di distribuzione.

Per quanto riguarda la rete del gas sotterranea, laddove presente, può essere interessata da un livello minimo di rischio legato a frane, incendi e inondazioni.

Turismo

- Diversi siti e località turistiche di Ischia sono stati identificati come vulnerabili alla caduta di massi, alle frane e all'erosione costiera. Le cattive condizioni delle infrastrutture a Ischia stanno causando problemi al turismo a causa dei tempi di percorrenza più lunghi, dei problemi di sicurezza e della qualità dell'acqua.
- La maggior parte delle attività di adattamento raccomandate per i diversi settori prevede anche miglioramenti dal punto di vista turistico. Diverse raccomandazioni di attività di adattamento sono state fornite anche per i siti turistici e le località di Ischia.

Agricoltura

- La produzione di uva e la qualità del vino potrebbero ridursi a causa dell'aumento della temperatura e della ridotta disponibilità di acqua, soprattutto perché la viticoltura ischitana è alimentata solamente dalla pioggia. L'uso di varietà di uva tolleranti il calore e la siccità, l'adozione di tecniche viticole efficaci e adatte alle condizioni locali, l'uso di reti ombreggianti o di materiali di protezione solare che non impattino sul paesaggio e la progettazione dei vigneti in modo da ridurre l'esposizione al sole e al calore estremo sono pratiche agricole che potrebbero contribuire all'adattamento ai cambiamenti climatici. Anche le tecniche di gestione del suolo per aumentare la resa e conservare l'umidità, come la pacciamatura, potrebbero essere ulteriormente promosse.
- Una drastica riduzione della produzione di uva potrebbe essere causata da malattie, come la flavescenza dorata, dovute all'aumento dei livelli di umidità nell'atmosfera durante i periodi secchi e caldi. Si raccomanda un monitoraggio continuo e sistemi di allerta precoce che sviluppino

previsioni stagionali per aiutare l'adattamento dei vigneti ai cambiamenti climatici, ad esempio attraverso il progetto VISCA (Vineyards' Integrated Smart Climate Application).

- L'erosione del suolo e i danni ai vigneti, agli edifici e ai beni agricoli e alle strade di collegamento possono essere causati da eventi di precipitazione estremi e da frane indotte dalle precipitazioni. Continuare a coltivare la vite su terrazzamenti, come già avviene sull'isola, è una buona attività di adattamento, così come accedere a sistemi di allerta precoce come il progetto VISCA citato in precedenza.

Soluzioni forestali e naturali

- La gestione delle foreste mediterranee, seguendo un adeguato piano di gestione, aiuta a mitigare il rischio di frana nei suoli andici di Ischia.
- La vegetazione delle scogliere e delle montagne richiede una gestione appropriata per controllare l'innescò delle frane.

Raccomandazioni di progettazione per la ricostruzione

- Per tutti i progetti idraulici futuri, si raccomanda un aumento del 5-25% delle piogge stimate per il progetto basandosi sulle precipitazioni osservate (curve IDF) per tenere conto delle maggiori intensità di precipitazione dovute ai cambiamenti climatici.
- Le strutture di protezione costiera richiedono studi più dettagliati per una progettazione aggiornata (studi meteoceanici, studi sulla propagazione delle onde, studi morfodinamici, studi di progettazione dettagliata), per considerare il futuro innalzamento del livello del mare.
- Per gli edifici, si raccomandano misure di raffreddamento passivo per adattarsi all'aumento delle temperature. I sistemi di raffreddamento attivo, almeno nelle infrastrutture critiche, quali gli ospedali, dovrebbero essere progettati tenendo conto delle proiezioni di temperatura.

Vulnerabilità fisiche legate al clima che richiedono ulteriori studi per essere confermate

Nel corso dello studio sono state rilevate diverse vulnerabilità potenzialmente di impatto, ma non è stato possibile confermarle a causa della mancata disponibilità di dati di base e delle incertezze dell'approccio di alto livello adottato per la CRVA dell'isola.

La sottostazione elettrica accanto a Ischia Porto si trova a un livello relativamente basso, ma con i dati attualmente disponibili non è possibile confermare se il sito sia a rischio. Lo stesso vale anche per gli altri edifici nell'area a sud, sud-ovest del porto di Ischia.

La stazione elettrica (collegamento via cavo con la terraferma) vicino all'ospedale di Ischia si trova in prossimità di un'area a rischio di alluvione, ma l'attuale modello non può confermare se il sito sia a rischio.

La parte orientale dell'area portuale di Ischia è vulnerabile alla sommersione, ma l'attuale precisione del modello digitale di elevazione non consente di valutare se anche l'area urbana intorno al porto (sud, sud-ovest, ovest) sia vulnerabile. L'area sospetta comprende anche una grande sottostazione elettrica.

Sono necessari studi separati per determinare le attività di adattamento alle frane e alle alluvioni necessarie per diverse aree a rischio di Ischia. Queste aree comprendono soprattutto case, alberghi, strade e altre infrastrutture.

PARTE 2: Piano di investimento per l'adattamento ai cambiamenti climatici

4 Analisi costi-benefici delle attività di adattamento

4.1 Introduzione

Le sfide multirischio di Ischia richiedono un'analisi multidisciplinare integrata di rischi, fattori e opportunità. Con i tempi e le risorse limitate a disposizione, per questo rapporto è stata prodotta una notevole quantità di dati, informazioni e approfondimenti. Prima di presentare le basi e i risultati delle analisi costi-benefici (ACB) per ogni tipo di infrastruttura e settore, è importante discutere l'applicabilità e la direzione di un'ACB.

La questione principale è l'inquadramento dell'ACB che deve essere utilizzata per valutare il rapporto costo-efficacia per una serie di investimenti di sistema o settoriali per adattare il funzionamento fisico ed economico di Ischia al fine di consentire una traiettoria di sviluppo sostenibile per l'isola in un clima che cambia, garantendo al contempo l'adattabilità ai rischi naturali. I rischi naturali che affliggono l'isola di Ischia sono sia il risultato dell'uso eccessivo delle risorse locali sia la gravità dei pericoli (Copernicus 2023; The Guardian 2022⁵⁴), in particolare per quanto riguarda l'uso sicuro e sostenibile del suolo e delle risorse idriche. Nelle attuali condizioni locali de-facto, i vantaggi attesi a livello privato dall'aggiunta di immobili tendono ad essere accompagnati da un aumento dei costi previsti per la società indotti dai rischi naturali. In queste circostanze esiste un'opinione largamente condivisa tra gli economisti secondo cui, nella misura in cui questi benefici privati sono accompagnati da costi per la società, è consigliabile una tassa (o un'altra misura) che permetta di bilanciare il più possibile le concessioni private aggiuntive e i costi per la società, in un'ottica di mantenuta equità.

Un portafoglio di investimenti diversificato per migliorare la resilienza delle infrastrutture e dei settori contro i rischi naturali finirà per ridurre strutturalmente i rischi solo a patto che l'uso sostenibile del terreno e delle risorse idriche venga perseguito sistematicamente. Ciò significa che, oltre alle misure di protezione, alla manutenzione, al monitoraggio e ai sistemi di allerta, citati nel presente rapporto, è necessario un piano generale e una politica di supporto per garantire un uso sostenibile del territorio e delle risorse idriche. Questo può essere realizzato attraverso la regolamentazione e l'ispezione, come si fa riferimento in alcuni casi in questo rapporto, ma probabilmente necessita anche di un intervento attraverso fattori economici, ad esempio rivedendo l'imposta sugli immobili in un sistema multi-attributo che premi le operazioni a vantaggio della sostenibilità e che penalizzi quelle che la riducono. L'elaborazione di queste considerazioni su un approccio politico integrato, per quanto rilevanti, esulano dalle finalità del presente rapporto.

4.1.1 Verso un'ACB a più livelli

Per i diversi tipi di infrastrutture e settori sono emersi elenchi esaustivi sulle relative attività di adattamento. Alcune di queste attività di adattamento sono più cruciali in termini di riduzione del rischio e di urgenza, se si considerano i tempi di ritorno dei pericoli affrontati. Altri interventi proposti hanno un aspetto di adattamento, ma rispondono anche alla necessità di aggiornare la gestione del rischio di erosione e frana indipendentemente dai cambiamenti climatici, come ad esempio nel caso di alcuni interventi sull'erosione costiera. In questa ACB non è stato possibile distinguere gli elementi guidati dall'adattamento da quelli altrimenti motivati (ad esempio, gli arretrati di manutenzione).

La definizione delle priorità si basa su una revisione provvisoria delle misure identificate per componente infrastrutturale e settore, presentate nelle precedenti sezioni 3.1 - 3.10. Per i vari componenti infrastrutturali e settori sono state identificate le misure più cruciali e/o urgenti. Queste proposte di misure sono state riunite in una mappa (Figura 4-1i).

Per alcune delle misure indicate nella mappa, è necessario un ulteriore esame e una revisione più dettagliata prima di poter prendere proseguire con una classificazione e condurre un'analisi costi-benefici. Inoltre, per alcune di esse, sembra altamente improbabile che si creino benefici significativi, come sembra essere il caso delle proposte n. 1 e 2 (cfr. figura 4.1 e tabella 4.1). Per questo motivo è stato applicato un secondo filtro, come mostrato in Tabella 4-1. Solo i progetti che hanno l'indicazione SI sono inclusi nell'ACB. Per

⁵⁴ <https://www.theguardian.com/world/2022/nov/28/calls-for-crackdown-on-construction-in-italy-after-ischia-disaster>

alcune misure generiche, spesso legate alla modellazione del rischio, non è stato possibile condurre un'ACB. Queste sono elencate nella Tabella 4-2. Questi strumenti sembrano comunque indispensabili per un'adeguata pianificazione e gestione degli sforzi di riduzione del rischio e costituiscono più dell'1%-1,5% del costo totale.

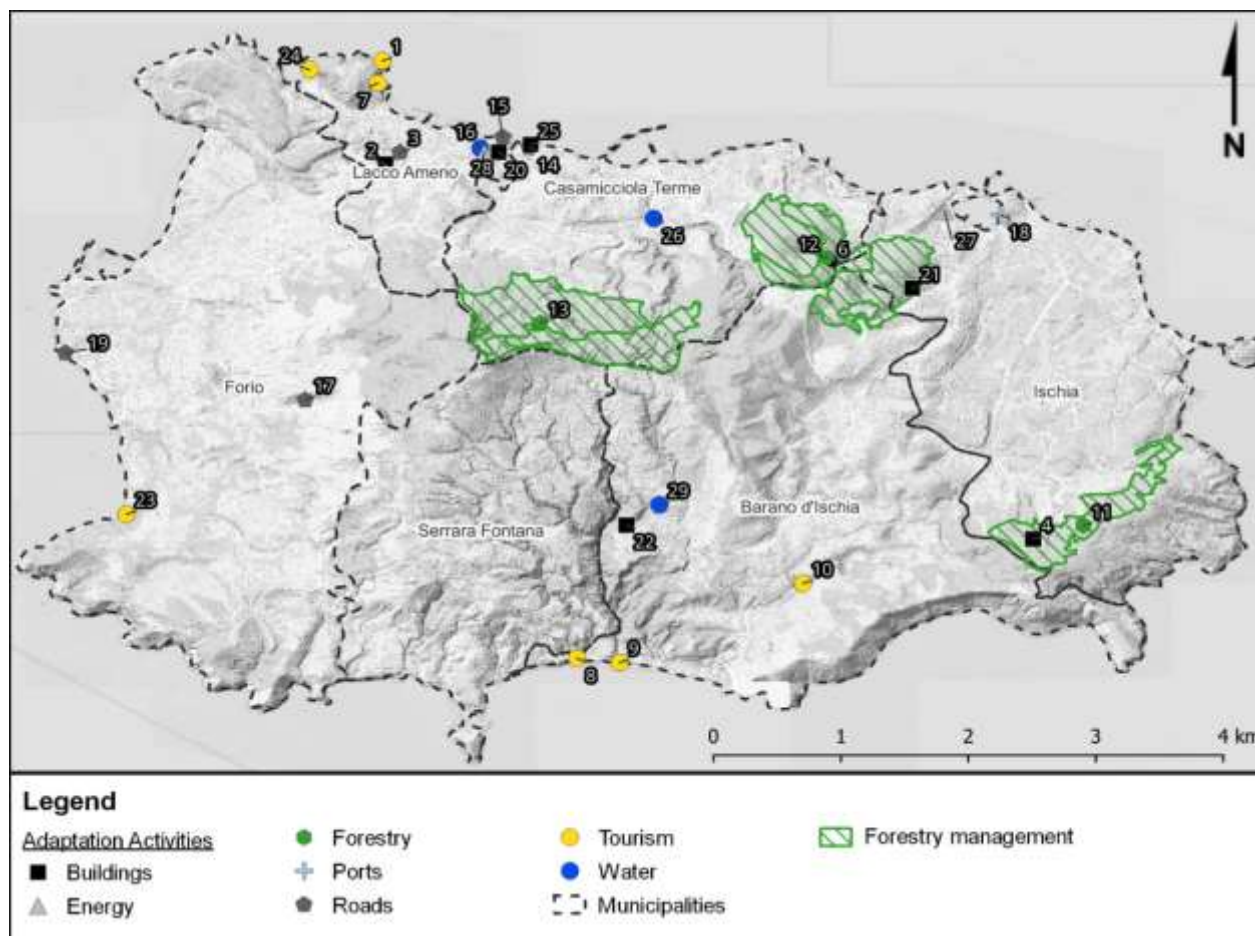


Figura 4-1. Esposizioni al pericolo e identificazione delle misure; oggetti di investimento numerati secondo l'elenco seguente

Tabella 4-1. Panoramica dei progetti proposti nell'ambito dell'ACB e indicazione dell'accettazione delle priorità (SÌ/NO)

IN CBA ?	ID	Comune	Settore principale	Pericolo principale	Descrizione dell'attività di adattamento	Stima dei costi [M€]	BC R	Commenti
NO	1	Lacco Ameno	Turismo	Livello del mare	Completamento dell'intervento di messa in sicurezza e consolidamento del crinale est di Montevico - crinale nord	2,00 M€		
NO	2	Lacco Ameno	Edifici	Frana	Completamento dei lavori di messa in sicurezza e consolidamento del costone dietro la tribuna e del costone sud del campo sportivo comunale	0,73 M€		

NO	3	Lacco Ameno	Strade	Frana	Messa in sicurezza e consolidamento della cresta che sovrasta via Cava Pannella	1,59 M€		
NO	4	Ischia	Edifici	Frana	Vari lavori relativi a frane e idrologia nell'area di Monte Vezzi. La stima dei costi si basa sui dati locali.	14,6 M€		Sono necessari ulteriori studi per determinare le esatte attività di adattamento
NO	5	Casamicciola Terme, Ischia, Barano d'Ischia	Comune	Frana	Vari lavori relativi a frane e idrologia nell'area del Cretaio. La stima dei costi si basa sulla copertura approssimativa dell'area rispetto alla stima dell'investimento di Vezzio.	15 M€		Sono necessari ulteriori studi per determinare le esatte attività di adattamento
NO	6	Casamicciola Terme, Serrara Fontana, Forio	Comune	Frana	Vari lavori relativi a frane e idrologia nell'area di Forio. La stima dei costi si basa sulla copertura approssimativa dell'area rispetto alla stima dell'investimento di Vezzio.	30 M€		Sono necessari ulteriori studi per determinare le esatte attività di adattamento
NO	7	Lacco Ameno	Turismo	Frana	Sicurezza e consolidamento del crinale che si affaccia sulla spiaggia di Varulo	1,23 M€		
Sì	8	Barano d'Ischia	Turismo	Frana	Lavori di miglioramento della sicurezza delle barre della spiaggia dei Maronti	4,47 M€	1,1	
Sì	9	Barano d'Ischia	Turismo	Inondazioni	Lavori di estrema urgenza per la messa in sicurezza delle centine e il ripristino della funzionalità idraulica dell'Alveo Cava Ponte/Nitrodi/Olmitello	6,08 M€	1,1	
Sì	10	Barano d'Ischia (non urgente nella sezione acqua)	Turismo	Inondazioni	Lavori di estrema urgenza per il ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo di Cava Rosato/Cavone Martoccio	1,60 M€	1,1	

Sì	1 1	Ischia	Silvicoltura	Frana	Gestione dell'area forestale di Montezzei	0,11 M€	2,0	
Sì	1 2	Ischia, Barano d'Ischia	Silvicoltura	Frana	Gestione delle aree forestali del Cretaio	0,14 M€	2,0	
Sì	1 3	Casamicciola Terme, Barano d'Ischia	Silvicoltura	Frana	Casamicciola Terme Monte Epomeo gestione forestale	0,41 M€	2,0	
Sì	1 4	Casamicciola Terme	Strade	Frana	Le reti in acciaio devono essere sostituite in prossimità dell'eliporto; è possibile sostituirle parzialmente con muri di contenimento. Lunghezza 150 m, altezza 15 m. In caso di scelta del muro, saranno necessarie strutture idrauliche (sistema di drenaggio).	1 M€	3,4	
Sì	1 5	Casamicciola Terme	Strade	Frana	Le reti in acciaio devono essere sostituite; è possibile sostituirle parzialmente con muri di contenimento. Lunghezza 250 m, altezza 10-15 m. Strutture idrauliche	1,5 M€	3,4	
Sì	1 6	Casamicciola Terme	Acqua	Inondazioni	Potenziamento del drenaggio, trasformando la fognatura mista in separata. Aumento della capacità delle acque meteoriche. Lunghezza di almeno 200 m.	1,00 M€	1,5	
Sì	1 7	Forio	Strade	Frana	Stabilità dei pendii. Utilizzo di biostuoie e reti d'acciaio in varie località della zona montana di Forio.	0,50 M€	0,6	
Sì	1 8	Ischia	Porti	Livello del mare	Innalzamento del livello della banchina di Ischia Porto con un muro di protezione in calcestruzzo lungo il bordo delle banchine attuali nel tratto dei ristoranti, con ponte in legno sulla sommità.	3,00 M€	5,4	Banchina del pontile
Sì	1 9	Forio	Strade	Livello del mare	Stabilizzazione della scogliera di Forio contro l'erosione costiera con un muro di contenimento e l'installazione di frangiflutti in rocce naturali sulla punta del muro.	15,0 M€	1,0	
Sì	2 0	Casamicciola Terme	Edifici	Frana	Diverse attività per l'Ospedale di Ischia	6,50 M€	2,8	
Sì	2 1	Ischia	Edifici	Incendio boschivo	Controllo della vegetazione per creare una zona cuscinetto accanto alle aree popolate di Ischia	0,50 M€	15, 5	

Sì	2 2	Barano d'Ischia	Edifici	Incendio boschivo	Controllo della vegetazione per creare una zona cuscinetto accanto alle aree popolate	0,50 M€	15, 5	
Sì	2 3	Forio	Turismo	Frana	Protezione dall'erosione del sito della stazione termale Poseidon	1,67 M€	4,5	
Sì	2 4	Lacco Ameno	Turismo	Frana	Protezione dall'erosione della stazione termale di Negombo	1,00 M€	7,5	
Sì	2 5	Casamicciol a Terme	Edifici	Livello del mare	Le strutture dell'eliporto dell'isola si stanno sgretolando (nuova informazione 30.11.2023). Protezione dall'erosione costiera come adattamento	5 M€	8,7	
Sì	2 6	Casamicciol a Terme	Acqua	Inondazio ni	Riprogettazione di un collettore di scarico a Casamicciola Terme	0.43 M€	1,5	
NO	2 7	Ischia	Energia	Livello del mare	Possibile protezione dalle inondazioni della sottostazione elettrica di Ischia			Il rischio non è del tutto chiaro senza ulteriori valutazioni
NO	2 8	Lacco Ameno	Energia	Inondazio ni	Possibile punto di connessione del cavo di Lacco Ameno protezione dalle inondazioni			Il rischio non è del tutto chiaro senza ulteriori valutazioni
Sì	2 9	Barano d'Ischia	Acqua	Multiplo	Combinare la rete idrica esistente in una rete circolare	0,31 M€	14, 6	
Sì	3 0	Tutti	Acqua	Inondazio ni	Ampliamento di 50 mm del sistema di drenaggio delle acque piovane che attraversa le aree soggette a inondazioni.	11,9 M€	1,5	
Sì	3 1	Tutti	Acqua	Frana	Reindirizzare le condutture dell'acqua potabile dalle aree soggette a frane a quelle a minor rischio.	3.78 M€	14, 6	
Sì	3 2	Tutti	Acqua	Inondazio ni	Collegamento delle due principali linee di rete dell'acqua potabile in un'unica rete circolare	0.31 M€	14, 6	
Sì	3 3	Tutti	Acqua	Frana	Trasformazione della rete fognaria mista ad alto rischio di frana in una rete fognaria separata	2.77 M€	1,5	

SÌ	3 4	Tutti	Acqua	Frana	Trasformazione della rete fognaria mista a medio rischio di frana in una rete fognaria separata	1.45 M€	1,5	
NO	3 5	Tutti	Acqua	Frana	Trasformare la rete fognaria mista nelle aree a basso o nullo rischio di frana in una rete fognaria separata.	5.53 M€		
SÌ	3 8	Tutti	Comune	Multiplo	Sistema di monitoraggio, preallarme e allarme dei pericoli naturali	2,8 M€	4,2	

Tabella 4-2. Sforzi ausiliari comuni non adatti all'ACB

ID	Comune	Settore principale	Pericolo principale	Descrizione dell'attività di adattamento	Stima dei costi [M€]
36	Tutti	Studio	Alluvione	Modello di alluvione	0,25 M€
37	Tutti	Studio	Frana	Valutazione delle frane	0,25 M€
39	Tutti	Studio	Multiplo	Modello digitale di elevazione	0,05 M€
40	Tutti	Studio	Aumento del livello del mare	Modello costiero	0,2 M€
41	Tutti	Studio	Multiplo	Catasto, inventario e documentazione degli eventi di pericolo naturale	0,3 M€
42	Tutti	Studio	Frana	Studi di fattibilità per gli investimenti 4,5,6 (aree ad alto rischio di frana)	0,3 M€
43	Tutti	Studio	Multiplo	Inventario delle strade per la mappatura delle condizioni e del rischio granulare. Dovrebbe includere le dimensioni e le quantità di traffico delle strade.	0,05 M€

Stato delle diverse sezioni dell'ACB

La natura di questa ACB è un'analisi sociale costi-benefici, il che significa che vengono considerati i benefici netti per la comunità dell'isola di Ischia nel suo complesso. Tuttavia, per alcune attività di adattamento, come per il settore energetico e il porto di Ischia, prevale un modello di business, in cui i costi sono interamente coperti dai ricavi delle operazioni, inclusi i costi di capitale. D'altra parte, ci sono progetti, gli strumenti di modellazione elencati nella Tabella 4-2, per i quali i benefici non possono essere quantificati o almeno non senza grandi sforzi di valutazione, che vanno ben oltre le competenze di questo studio.

1. Sforzi di investimento finanziabili privatamente (porto, energia)

Per questi progetti è possibile condurre un'analisi costi-benefici, ma se viene effettuata nell'ambito di un modello aziendale di auto-provvigionamento, diverse ipotesi possono differire da quelle usuali in un'analisi costi-benefici sociale. In un'ACB sociale, si tende a equiparare l'efficienza al costo minimo mentre

in condizioni di mercato l'efficienza si riferisce al miglior profitto (a lungo termine). Poiché maggiori investimenti comportano maggiore qualità, allora anche i ricavi possono aumentare.

Queste considerazioni possono essere rilevanti per gli investimenti di resilienza dei porti in vista dell'innalzamento del livello del mare e per le reti di distribuzione elettrica compatibili ai cambiamenti climatici. Dato il numero significativo di viaggiatori e di scali all'anno, un sovrapprezzo sui biglietti dei traghetti e sulle tasse portuali può coprire i costi in un paio d'anni. Allo stesso modo, gli investimenti protettivi nella rete elettrica possono essere recuperati con un piccolo aumento delle bollette (come parte del prezzo complessivo dell'elettricità). Inoltre, dovrebbe esserci un certo margine di manovra per cofinanziare misure di protezione più generiche nei luoghi in cui è evidente il beneficio per la riduzione del rischio di guasto della rete elettrica. Alla fine, meno guasti nella rete elettrica significano meno costi di riparazione e interruzione, quindi gli investimenti si ripagano molto probabilmente anche per i clienti stessi. Nel complesso, ciò significa che si potrebbe considerare l'opzione di concentrare l'analisi costi/benefici sugli investimenti che hanno un forte carattere di bene pubblico e che quindi non possono essere recuperati dalle tariffe degli utenti, almeno non in misura significativa.

2. Strutture generiche senza benefici chiaramente attribuibili (es. vari modelli); priorità iniziale

Le strutture per le quali è difficile quantificare i benefici possono essere meglio valutate con l'analisi multicriteriale (MCA) piuttosto che con l'ACB. Nel caso di Ischia, si tratta delle attività elencate nella Tabella 4.2. Ad esempio, per la valutazione dell'acquisizione di diversi strumenti di valutazione del rischio elencati nella tabella 4.2, è possibile condurre un'MCA attraverso un processo di elicitazione da parte degli esperti. In effetti, la composizione dell'intero elenco di attività di adattamento proposte e la sua prioritizzazione iniziale trarrebbero beneficio da un tale processo di MCA, al fine di ottenere un elenco coerente di attività di adattamento prioritarie, che successivamente possono essere sottoposte a un'analisi costi-benefici.

3. Progetti con carattere di bene pubblico/meritorio e benefici attribuibili

L'ACB sociale è volta a valutare gli investimenti in beni e servizi pubblici, di cui i beni di merito sono una sottocategoria. Nella misura in cui gli effetti sulla salute e sul benessere, sull'ambiente e sulla sicurezza possono essere affrontati e quantificati, esistono diversi metodi per attribuire valori monetizzati a tali benefici che spesso hanno la forma di costi evitati. La maggior parte dei progetti proposti rientra in questa categoria. I beni pubblici sono definiti come beni che non possono essere prodotti dal mercato per ragioni tecniche o perché non possono essere realizzati in modo redditizio. I beni di merito sono definiti come beni il cui utilizzo è inferiore a quello ottimale per la società e per l'utente. Questa è una caratteristica abbastanza comune, ad esempio, per molte misure di sicurezza.

L'ACB condotta per questo rapporto è necessariamente limitata e indicativa. Oltre alle incertezze relative ai costi e ai benefici dei pacchetti infrastrutturali e settoriali specifici (ossia le attività di adattamento correlate per un settore o un'area), non è stato possibile esaminare attentamente gli effetti sinergici tra i vari pacchetti. Ancora più importante, l'ACB condotta rimane vicina al suddetto esame delle infrastrutture e dei settori specifici, piuttosto che a una valutazione integrata complessiva volta a ottenere il miglior risultato per l'isola nel suo complesso.

Diverse misure di gestione delle acque meteoriche e delle inondazioni comportano a tempo debito una riduzione del rischio per il sistema stradale e le aree edificate, e in alcuni casi possono attenuare il rischio di frana (in termini di scala e di impatto). Allo stesso modo, le misure di stabilizzazione del suolo e dei pendii, relative al sistema stradale, riducono i rischi per l'ambiente urbano e per le sezioni locali delle reti (condotte dell'acqua potabile, fognature, linee elettriche). Inoltre, le misure di protezione motivate principalmente dalla sicurezza degli edifici o del turismo ridurranno i rischi anche per altri settori.

4.2 Punti di partenza generali

Per rendere i pacchetti di investimento comparabili, sia internamente per le loro parti costitutive, sia esternamente tra i pacchetti per infrastrutture e settori diversi, è necessario concordare una durata di vita del progetto uniforme. Dal punto di vista della contabilizzazione degli effetti del cambiamento climatico, sarebbe consigliabile una durata di almeno 40-50 anni. Tuttavia, tali tempi aumentano le incertezze di altre

dimensioni. Inoltre, per la maggior parte degli investimenti proposti, una durata di vita di circa 25 anni sembra realistica. Si può prevedere che una parte degli impianti, contenuti nelle attività di adattamento, abbia una durata di vita ancora più breve, rendendo necessario un reinvestimento durante la durata del progetto standardizzato. Per questo motivo si applica una durata di vita del progetto di 25 anni. Per alcuni elementi si applicano 12,5 anni, 8,33 anni o altre durate appropriate. Inoltre, per tutti gli elementi si svolge la manutenzione annuale, a volte come spesa composita.

Le componenti e le ipotesi principali dell'analisi sono le seguenti:

- Durata del progetto: 25 anni
- Durata dei componenti: 25, 12,5 e 8,33 anni a seconda della natura del componente.
- Costo annuale di manutenzione: di solito circa l'1% dell'importo dell'investimento.
- Istruzione e formazione (rilevante per alcuni investimenti), come costo annuale, inizialmente più elevato, ricorrente in modo intermittente.
- Valore della vita statistica (VVS): ~3,6 mln.\$ (Alberini (2007) in OECD 2012) che viene convertito in 3,5 milioni di euro in questa ACB; il PIL pro capite in dollari USA costanti 2015 non è cambiato molto per l'Italia tra il 2007 e il 2022 (dati on-line della Banca Mondiale); VVS per le lesioni: € 45000 come media pesata dell'evento per i diversi livelli di lesione (ISTAT / ACI 2022); per le lesioni gravi (con impatti di lunga durata) l'ISTAT / ACI 2022 menziona € 450 000
- Numero previsto di incidenti mortali: i dati storici⁵⁵ indicano da 4 a 5 ogni 4-5 anni; la probabilità di incidenti mortali è indicata per progetto, se ritenuta rilevante.
- Numero previsto di feriti gravi: i dati storici indicano da 9 a 11 ogni 4 o 5 anni (vedi nota); la probabilità di ferite è indicata per progetto, se ritenuta rilevante.
- Gli eventi di frana e di inondazione di piccole dimensioni si verificano con una frequenza elevata, annuale o semestrale (si veda la sezione 2.4 del presente rapporto); gli eventi di maggiore entità hanno una frequenza di accadimento compresa tra i 5 e i 7 anni, ma la frequenza può aumentare fino a 4 o 5 anni (sezione 2.4); questi rischi fisici, tuttavia, devono essere valutati in base alla localizzazione dell'investimento, il che implica alti livelli di incertezza e cifre piuttosto ridotte a livello di luoghi specifici per le attività di adattamento, vale a dire che le probabilità di accadimento annuali applicate sono per lo più comprese tra l'1% e il 3% annuo, fino al 10% in casi eccezionali. Una probabilità di accadimento annuale dell'1% significa che la probabilità che l'evento si verifichi almeno una volta in 25 anni è di circa il 22%. Con una probabilità di accadimento annuale del 3% la probabilità a 25 anni sale al 53% e con una probabilità di accadimento annuale del 5% la probabilità che l'evento si verifichi almeno una volta in 25 anni è del 72%.
- Per rappresentare l'aumento graduale delle probabilità di accadimento di frane e alluvioni (improvvisi) indotto dai cambiamenti climatici, sono stati aggiunti tassi di crescita annuali alle probabilità di accadimento di base (si veda anche la sezione 4.4.1).
- Tasso di sconto: tasso di sconto sociale del 4% come livello predefinito, con il 3% o un valore inferiore come alternative nell'analisi di sensibilità.
- Valore del tempo (di viaggio) (VT): 50% del salario orario medio (20 €). Il salario orario medio nel 2021 si aggirava intorno ai 15 euro. Tuttavia, i turisti non appartengono per lo più alle fasce di reddito più basse, mentre i datori di lavoro e i pensionati (stranieri) dovrebbero avere tariffe effettivamente più elevate, per cui è stato applicato un valore più alto.
- Sviluppo socio-economico:

⁵⁵ Informazioni combinate tratte da Iovino & Periello Zampelli (2007), Santo et al. (2012) e dalle ricerche del team di studio.

- la popolazione residente (~68000)⁵⁶, il numero annuale di turisti (6 milioni di pernottamenti⁵⁷ con una stima di 150000 visitatori giornalieri) è assunto costante per l'intero periodo di 25 anni;
- il reddito regionale lordo della popolazione isolana è di 617 milioni di euro (2020; ISTAT), mentre il prodotto regionale ammonta a 455 milioni di euro (2020; ISTAT). La differenza è attribuibile a un forte afflusso di pensioni nazionali e straniere. Le attività economiche legate al turismo sono valutate in 341 milioni di euro (75% del prodotto regionale), l'agricoltura in circa 45 milioni di euro, il restante settore privato in circa 41 milioni di euro (stima) e il settore pubblico in 27 milioni di euro.
- la crescita economica (corretta per l'inflazione)⁵⁸ dell'1% annuo è rappresentata da cifre di crescita uguali per il reddito e i prezzi degli immobili (1% annuo); a loro volta queste ipotesi influenzano il VOT e il VSL.

Le frane e le inondazioni non costiere sono entrambe direttamente correlate agli eventi pluviometrici estremi e possono verificarsi durante lo stesso evento meteorologico estremo. Anche se la quantità totale di precipitazioni derivanti da tutti gli eventi meteorologici estremi non dovrebbe aumentare significativamente in un clima in evoluzione (come indicato nei diversi scenari di emissioni di gas serra, si veda il capitolo 2), si osserva un aumento più marcato nei casi di estremo raro (oltre 80 mm/giorno). Questo fenomeno è probabilmente dovuto al fatto che le inondazioni e le frane causate dalle precipitazioni comportano considerevoli movimenti di acqua e masse di terreno. In alcune località questo può comportare danni strutturali significativi agli edifici e può rappresentare un rischio per la vita umana, mentre in altre località questi effetti possono essere meno consistenti o assenti. In questi casi la perdita di funzionalità e la dissuasione del turismo diventano i principali obiettivi per la gestione del rischio.

Le probabilità di questi eventi che si verificano annualmente sono state stimate sulla base di descrizioni qualitative e valutazioni di urgenza, con valori che variano tipicamente tra lo 0,01 e lo 0,1.

Inoltre, si prevede che queste probabilità annuali possano aumentare, con incrementi che oscillano tra lo 0,001 e lo 0,004, per tener conto degli effetti del cambiamento climatico. Questo aumento si basa sul deterioramento previsto delle condizioni di pericolo e delle circostanze che portano a questi eventi, secondo le indicazioni fornite dalle valutazioni.

4.3 Risultati di sintesi per i progetti prioritari

Il riepilogo che segue fornisce i risultati delle misure prioritarie per tipo di infrastruttura o settore. I costi riguardano principalmente il costo della realizzazione di un'attività di adattamento, nonché il monitoraggio e la manutenzione durante la vita utile di queste strutture protettive. I benefici consistono in (1) riduzione dei danni fisici e dei relativi costi di riparazione, (2) riduzione dei costi della funzionalità (temporanea) limitata (di un'abitazione, di un hotel, di un'infrastruttura di trasporto), (3) riduzione o eliminazione degli effetti deterrenti sul turismo e (4) riduzione del numero di vittime e di morti.

I benefici della prevenzione delle vittime e dei decessi si basano sulla stima del valore della vita statistica (VVS) per l'Italia (Alberini, 2007). Il VVS non significa un prezzo per la vita in quanto tale, ma riflette l'apparente disponibilità media a pagare per misure protettive salvavita in vari settori e/o per vari pericoli.

⁵⁶ Secondo l'Audit energetico di Ischia (2015), sull'isola ci sono 63740 residenti italiani e 4000 residenti stranieri.

⁵⁷ Combinando le informazioni del sito https://www.wikiwand.com/en/Tourism_in_Italy con quelle dell'organizzazione turistica locale, risulta chiaro che il numero corretto è (circa) 6 milioni di pernottamenti e non 6 milioni di turisti. 150000 visitatori giornalieri è una stima che si riferisce al numero totale annuo basato sul traffico dei traghetti e comprende anche visite non turistiche.

⁵⁸ Sulla base dei DATI OCSE - Previsioni a lungo termine del PIL reale - Italia (2023-2049), che danno un tasso di crescita annuale del PIL dell'1,08%. Assumendo una popolazione costante per Ischia, ciò si traduce in una crescita del reddito dell'1%/anno.

L'inclusione del VVS (e dei concetti correlati) per gli investimenti con effetti sulla sicurezza è una pratica comune nell'ACB. Allo stesso modo, viene incluso anche un valore per le lesioni evitate, basato sulle stime di un gruppo di lavoro ISTAT-ACI (2022). Ad eccezione degli eventi del 2022, il numero di vittime e feriti è rimasto generalmente basso (da 1 a 5 vittime e da 4 a 40 feriti per evento). Finora tali eventi si sono verificati ogni 4-5 anni. Le ipotesi sulle possibili vittime evitate per progetto sono spesso molto incerte, mentre il VVS delle vittime evitate tende a influenzare sensibilmente i risultati.

La riduzione dei costi legati ad un accesso limitato o interrotto comprende sia la riduzione dei costi aggiuntivi per le famiglie sia l'assenza di costi aggiuntivi per la perdita di profitti per le imprese legate al turismo. Una parte dei risultati comprende stime superiori e inferiori. Per i costi di investimento, si tratta di intervalli indicati nelle analisi settoriali. Per i benefici, si riferisce all'incertezza relativa alla riduzione del numero di vittime e di morti. Anche il livello del tasso di sconto influisce significativamente sui risultati. Il 4% è il tasso predefinito, ma per alcuni casi sono stati esplorati anche i risultati con il 3%, ma alla fine non sono stati mostrati nei risultati presentati, poiché le maggiori incertezze riguardano i benefici (entità dei costi e delle vittime evitate).

Va notato che i valori indicati nella tabella rappresentano sia i benefici basati sulle transazioni sia le valutazioni monetizzate degli effetti del benessere, come il VVS e il valore del tempo di viaggio. Tuttavia, i valori monetizzati potrebbero avere un effetto minore sul PIL di Ischia, almeno nel breve periodo.

Gli indicatori VAN e BCR stanno rispettivamente per Valore attuale netto e Rapporto benefici-costi. Il VAN è il saldo della somma dei benefici attualizzati e dei costi attualizzati per la durata del progetto (25 anni). Il BCR si ottiene dividendo la somma dei benefici (attualizzati) per la somma dei costi (attualizzati).

$$NPV(x) = \sum_{t=1}^{25} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

dove B_t indica i benefici dovuti al progetto x nell'anno t , C_t indica i costi dovuti al progetto x nell'anno t e r è il tasso di sconto. Normalmente il VAN del progetto x dovrebbe essere maggiore di zero per essere scelto. Tuttavia, a causa di vincoli di bilancio, potrebbe esserci una competizione tra i progetti con $VAN > 0$, nel qual caso il VAN del progetto x dovrebbe essere maggiore di un tasso di cut-off predefinito o almeno maggiore di vari altri progetti considerati per essere scelto.

$$BCR(x) = \frac{\sum_{t=1}^{25} \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{25} \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

Il BCR dovrebbe essere almeno superiore a 1 per essere selezionato. Tuttavia, spesso si sceglie una soglia più alta per tenere conto dell'incertezza. Il VAN è generalmente considerato un indicatore superiore. D'altra parte, il BCR consente di confrontare rapidamente progetti di scala diversa.

Tabella 4-3. Sintesi dei risultati dell'analisi costi/benefici per gruppo di attività di adattamento

Attività no.	Misure *	Investimento in mln. di €	Costo operativo (25 anni) mln.€	Prestazioni in caso di inadempienza (25 anni) mln.€	BCR VAN (mln.€)
38	Sistema di osservazione e allerta precoce multirischio	3.8	3.2	16.4 ~ 29.6	BCR 2,3 ~ 4,2 NPV 9,44 ~22,61
11 12 13	Gestione forestale / NbS	0.66	0.125	riduce i rischi residui di altre misure / benefici di sostenibilità (BCR >2)	
29 32 16 26 30 31 33 34	Gestione dell'acqua - Barano d'Ischia - interconnessioni - Casamicciola (2x) - Tutte le isole che deviano e/o separano le reti fognarie e delle acque piovane (4x)	21.95 0.62 1.43 19.9	5.48 0.155 0.357 4.975	48.4 10.5 2.6 35.8	BCR:14,6 NPV: 9,8 BCR: 1,5 NPV: 0,9 BCR: 1,5 NPV:12,4
18	Banchina del porto	3.0	0.75	20.2	BCR: 5,4 NPV:16,5
14 15 17 19	Strade Casamicciola Rupe di Forio Forio entroterra	2.5 10~15 0.5	0.625 2.5 ~ 3.75 0.12	9.96 11.55 0.38	BCR: 3,4 NPV: 7,0 BCR 0,66 ~ 0,98; NPV -6,1 ~ -0,2 BCR: 0,6 NPV: -0,24;
20 25 21 22	Edifici ospedale eliporto controllo del rischio incendi a Ischia e Barano d'Ischia	3.2 ~ 6.5 5.0 0.5 + 0.5	0.8 ~ 1.6 1.25 0.250	21.6 54.7 9.1	BCR: 2,8 ~ 5,6; NPV: 13,6 ~ 17,5 BCR: 8,7 NPV: 48,4 BCR:15,5 NPV: 8,5
10 9 8 23 24	Turismo Area Cava Rosato Cava Alveo Spiaggia dei Maronti# Villaggio Poseidon Negombo Resort§	1.6 6.08 4.47 1.67 1.0	0.4 1.52 1.18 0.42 0.25	* Incluso nel prossimo. 13.9 8.8 8.8	BCR: 1,05 NPV 0,7 BCR: 4,5 NPV 6,8 BCR: 7,5 NPV 7,6
suggerimento	Vigneti - Piloti di adattamento	~0.1	~0.3	I benefici si creano grazie all'adozione anticipata delle attività di adattamento; l'1% in meno di perdita di produzione	

dell'esperto	(4 anni)			equivale a 0,45 milioni di euro di reddito risparmiato all'anno; la promozione dell'adattamento può consentire diversi milioni di euro di valore aggiunto risparmiato.
--------------	----------	--	--	--

Come prima impressione generale, molti componenti sembrano produrre benefici sufficienti a giustificare l'investimento e i costi operativi. Fanno eccezione, o almeno non rappresentano casi evidenti, un progetto gemello legato al turismo sulla costa meridionale (n. 8+9) e due progetti stradali a Forio, molto diversi tra loro (n. 17 e 19). Il tratto di strada costiera su una scogliera a Forio potrebbe dare i suoi frutti solo nel breve periodo. Tuttavia, in questo caso sono inclusi solo i benefici legati al traffico, mentre l'investimento può anche contribuire alla salvaguardia di alcuni edifici.

Anche se i risultati sono mostrati per tipo di infrastruttura o settore, occorre rendersi conto che esistono interazioni e sinergie significative tra le misure all'interno e tra le diverse aree dell'isola di Ischia. Tali effetti possono essere presi in considerazione solo in misura limitata. Dal punto di vista dell'uso corretto dell'ACB al fine di identificare il budget e la lista di misure associate, sarebbe altamente raccomandabile riflettere meglio queste interazioni nell'analisi e rivedere di conseguenza la lista di misure prioritarie. Tale revisione dell'elenco rispetto agli effetti di interazione potrebbe essere condotta sotto forma di esercizio decisionale di gruppo applicando i metodi MCA.

4.4 Descrizioni più dettagliate delle valutazioni per settore

4.4.1 Introduzione

L'approccio generale prevede il calcolo dei flussi dei costi e benefici su un periodo di 25 anni per progetto. I costi sono composti dai costi di investimento, tutti effettuati nell'anno 1, e dai costi operativi, ipotizzati come un flusso annuo con tasso all'1% del costo di investimento. I benefici maturano evitando diversi tipi di costi (perdite) che si verificherebbero in assenza del progetto. Il flusso annuale delle prestazioni rappresenta i valori attesi, con incertezze piuttosto elevate e variabilità interannuale.

I tipi di benefici sono: (1) riduzione dei danni fisici e dei relativi costi di riparazione, (2) riduzione dei costi della funzionalità (temporanea) limitata (di un'abitazione, di un hotel, di un'infrastruttura di trasporto), (3) riduzione o annullamento degli effetti deterrenti sul turismo e (4) riduzione del numero di vittime e di morti.

L'intero approccio può essere formalizzato nelle seguenti equazioni:

$$B_t(i_x) = (1 + g)^t \cdot \frac{1}{(1 + r)^t} \cdot P_t(H_{j,x}) \cdot ASC_x(i)$$

dove g è il tasso di crescita annuale del reddito e r il tasso di attualizzazione sociale; $P_t(H_x)$ denota la probabilità che si verifichi il pericolo j per il progetto x e ASC il costo evitato relativo ai danni strutturali per il progetto x

$$B_t(i_x) = (1 + g)^t \cdot \frac{1}{(1 + r)^t} \cdot P_t(H_x) \cdot AFC_x(i)$$

dove AFC si riferisce al costo evitato della perdita di funzione per gli attori interessati dal progetto x

$$B_t(i_x) = (1 + g)^t \cdot \frac{1}{(1 + r)^t} \cdot P_t(H_x) \cdot ADC_x(i)$$

dove ADC si riferisce al costo evitato dovuto allo scoraggiamento dei turisti affrontato dal progetto x

$$B_t(i_x) = (1 + g)^t \cdot \frac{1}{(1 + r)^t} \cdot P_t(H_x) \cdot ACC_x(i)$$

dove ACC si riferisce al costo evitato delle vittime (morti e feriti) affrontato dal progetto x

$$P_t(H_x) = P_0(H_x) + \Delta_{t,x}P_x(H_x)$$

L'ASC può riferirsi ai costi di riparazione di edifici e tratti stradali, così come ai costi di sgombero di edifici, aree edificate e strade, essendo una cifra singola o un costo unitario tipico moltiplicato per il numero di unità che si prevede saranno colpite (abitazioni, tratti di strade, ecc.). Rientrano in questo gruppo anche il ricollocamento di edifici o le nuove costruzioni sostitutive.

AFC si riferisce alle perdite causate dalla temporanea indisponibilità o inaccessibilità, come il numero stimato di giorni di non accesso per il fatturato medio giornaliero dei ristoranti interessati. I costi della temporanea non accessibilità alle abitazioni sono rappresentati dai costi di alloggio alternativo e dai costi del servizio di consegna speciale per le persone bloccate a casa. Va notato che la diminuzione del fatturato dei servizi turistici in una località sarà in parte compensata da un aumento del fatturato in altre località dell'isola. Questo effetto è stato calcolato in modo provvisorio. Tale compensazione è difficilmente possibile tra la metà di luglio e l'inizio di settembre, quando i servizi turistici lavorano a pieno regime o quasi.

ADC indica il costo evitato della dissuasione dei turisti che vengono sull'isola o almeno nell'area in cui si trova il progetto x. Eventi estremi molto grandi possono causare brevi periodi di grande riduzione dell'afflusso di turisti per l'intera isola, ma per lo più le riduzioni saranno localizzate, il che significa che a livello dell'intera isola le spese turistiche diminuiscono solo di qualche punto percentuale nello stesso anno o in quello successivo nella maggior parte dei casi. La parte del PIL attribuita ai servizi turistici ammonta a circa 341 milioni di euro. Ciò significa che anche piccole riduzioni percentuali del numero di pernottamenti possono comportare una perdita di reddito di molti milioni per l'isola. Va notato che una diminuzione del turismo a Ischia può essere in parte compensata da un aumento del turismo altrove in Italia.

Gli ACC sono il costo evitato delle vittime, siano esse morti o feriti. Frane e alluvioni possono causare morti e feriti. Inoltre, le limitazioni nel funzionamento dell'ospedale e/o dell'eliporto possono far sì che ferite o malattie diventino in alcuni casi fatali o si trasformino in lesioni con impatti più gravi e duraturi, il che implica che il costo per lesione aumenti significativamente, ad esempio decuplicando la media di 45.000 euro.

4.4.2 Sistema di allarme multirischio rapido

Si tratta di una serie di misure che prevedono una capacità di osservazione distribuita in situ delle condizioni pedologiche e idrologiche e della stabilità dei pendii, un sistema centralizzato di raccolta ed elaborazione dei dati, strumenti analitici a supporto della creazione di avvisi, un sistema di allarme automatizzato. Diversi componenti di questo sistema dovranno essere sostituiti più volte durante i 25 anni del progetto. Inoltre, è necessario tenere conto del regolare aggiornamento e della manutenzione del sistema, nonché della formazione e dell'addestramento del personale. Per questi motivi si prevede che i costi operativi nel corso della durata del progetto saranno quasi pari ai costi di investimento. Tuttavia, ne vale la pena, perché solo un sistema di allerta rapido affidabile può effettivamente salvare vite umane. La riduzione prevista delle vittime e dei feriti implica un VAN significativamente positivo. Poiché il BCR e il VAN sono così fortemente positivi, un'analisi di sensibilità non influisce sul giudizio finale secondo cui questo è un oggetto di investimento raccomandabile.

In questo caso, la stima dei benefici si basa esclusivamente sugli incidenti mortali e i feriti (gravi) evitati. Se in un periodo di 25 anni il SAR evita 1 decesso in 5 anni e 3 lesioni gravi in 5 anni, il VAN dei benefici ammonta a 16,4 milioni di euro. Se l'efficacia fosse di 2 vittime in meno ogni 5 anni e di 4 feriti gravi in meno ogni 5 anni, il VAN dei benefici salirebbe a 29,6 milioni di euro. La stima tiene conto di un tasso di crescita annuo del reddito (e quindi del VoSL) dell'1% e di un tasso di sconto del 4% (si vedano i paragrafi 4.3 e 4.4.1 per le spiegazioni).

4.4.3 Gestione forestale e delle acque

Nelle aree naturali, situate per lo più nelle zone più elevate dell'isola, gli apparati radicali degli alberi più grandi spesso non aiutano a stabilizzare i terreni sui pendii. È quindi necessario gestire la crescita per ottenere una predominanza di arbusti, piante e piccoli alberi. Questa misura comporta uno sforzo maggiore

nei primi anni, seguito da una manutenzione annuale. Dalle esperienze fatte altrove e dall'analisi di letteratura, si può dedurre che questa misura sarà efficace per quanto riguarda una migliore ritenzione delle acque meteoriche, rendendo le aree gestite e le immediate vicinanze chiaramente meno soggette a frane. L'attività di adattamento è specificata per aree più ampie, il che significa che non è possibile quantificare il contributo alla riduzione del rischio di località coperte da altri progetti. Di conseguenza, non è possibile condurre un'analisi costi-benefici specifica. Considerando i costi moderati, è molto probabile che questa misura sia vantaggiosa.

I progetti idrici sono suddivisi in tre sottogruppi:

integrazione delle reti di acqua potabile per migliorare la resilienza dell'approvvigionamento idrico dopo frane e alluvioni (progetti 29 e 32)

soluzioni di drenaggio localizzato a Casamicciola Terme (progetti 16, 26)

un insieme di misure che comportano la separazione delle reti fognarie e delle acque piovane e la deviazione delle condotte dell'acqua potabile in molte aree dell'isola. I benefici e i costi sono stati valutati per ogni raggruppamento. (progetti 30, 31, 33, 34)

Per il terzo raggruppamento, che comprende molte località dell'isola, la probabilità di accadimento è più alta (0,1 nell'anno 1). Dai dati storici e dall'analisi del rischio riportata nel capitolo precedente si può dedurre che le frane e le alluvioni sono gli eventi più rischiosi per l'isola, con eventi più gravi in media una volta ogni cinque anni, che comportano danni fisici significativi e diverse vittime. In una certa misura le vittime possono essere prevenute grazie al sistema di allerta rapida, ma rimarrà un rischio residuo se non verranno apportati miglioramenti fisici al sistema idrico. Tutti i progetti di gestione idrica sembrano raggiungere valori attuali netti positivi del bilancio dei costi e dei benefici, anche se uno dei progetti di gestione idrica di Casamicciola Terme e uno di quelli generali potrebbero in realtà non superare il test del VAN.

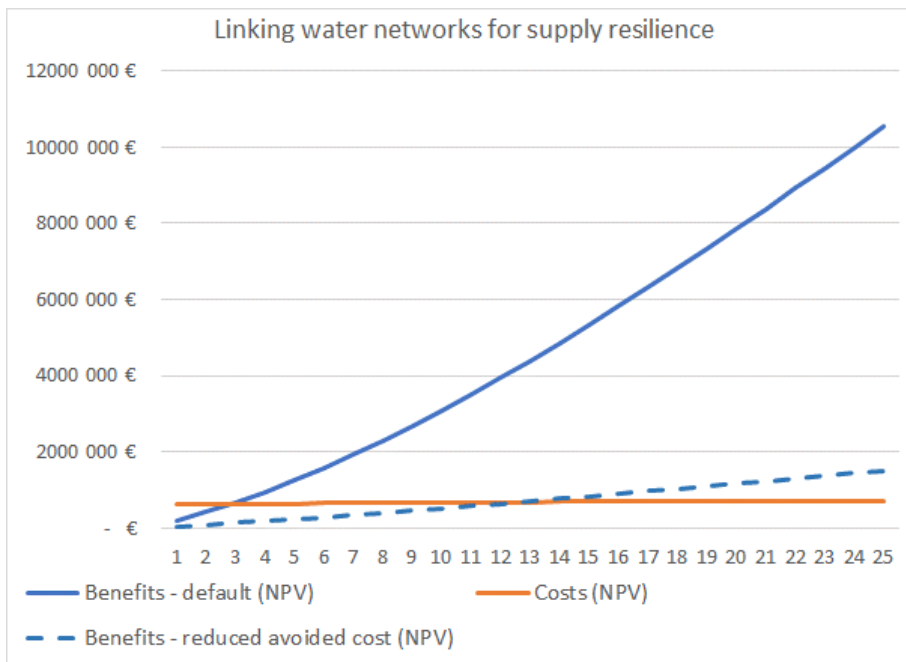
I progetti di potenziamento dell'acqua potabile raggiungono punteggi elevati, soprattutto perché si presume che limitazioni significative nella disponibilità di acqua potabile scoraggino i turisti attraverso i media e/o perché le autorità locali cerchino di porre un limite temporaneo al numero massimo di persone che risiedono contemporaneamente sull'isola.

Tabella 4-4. Dati chiave dei progetti di gestione idrica inclusi.

29
32
16
26
30
31
33
34

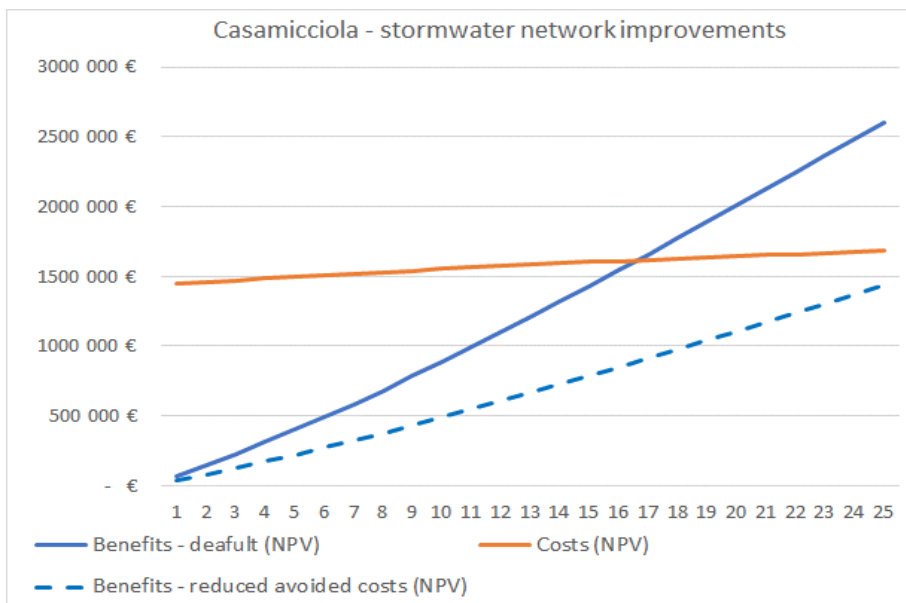
Tabella 4-5. Assunzioni chiave per l'ACB specifica del progetto per la gestione delle acque

					building damage cost	direct cost of functionality loss	tourism deterrence effect	VoSL* 3.5 mln N fatality	VoSL* 0.045 mln N injured
project	income growth	discount rate	specific event probability (SEP)	annual change in SEP	clearing cost; structural damage	cost of temporary substitutes	341 000 000 €	3 500 000 €	45 000 €
29, 32	1	4	0,01	0,002		2 400 000 €	5,0 %	0	0
16, 26	1	4	0,01	0,002	500 000 €		0,5 %	0	0
31, 31, 33, 34	1	4	0,1	0,002	1 400 000 €	140000	3,0 %	1	2



Le figure 4.2 - 4.4 mostrano i costi e i benefici cumulativi dei progetti nell'arco dei 25 anni di vita degli stessi. Nella valutazione alternativa dei benefici denominati costi evitati ridotti, le ipotesi di base per categoria di costi evitati (cfr. §4.4.1 e tabella 4.5) vengono ridotte di proposito in modo significativo (ridotte del 50% o dei 2/3). Di solito non ci sono informazioni sufficienti per produrre intervalli di sensibilità specifici per progetto, adeguatamente supportati, per i fattori chiave.

Se la curva dei benefici derivanti dalla riduzione dei costi evitati interseca la curva dei costi, significa che anche con ipotesi significativamente moderate sui costi evitabili il progetto dovrebbe comunque generare un beneficio sociale netto.



Se la curva dei benefici derivanti dalla riduzione dei costi evitati non interseca la curva dei costi, ma si avvicina ad essa, mentre la curva dei benefici di default sale ben oltre la curva dei costi, ciò indica che c'è ancora una buona probabilità di ottenere un beneficio sociale netto positivo. Ulteriori analisi possono chiarire meglio queste possibilità e identificare le opzioni per ridurre i rischi di perdite sociali nette. Le figure 4.3 e

Figura 4-1. Benefici e costi nell'arco di vita dei progetti 16 e 26

4.4 sono esempi di tali situazioni. Le spiegazioni di cui sopra valgono anche per i grafici simili mostrati per gli altri progetti.

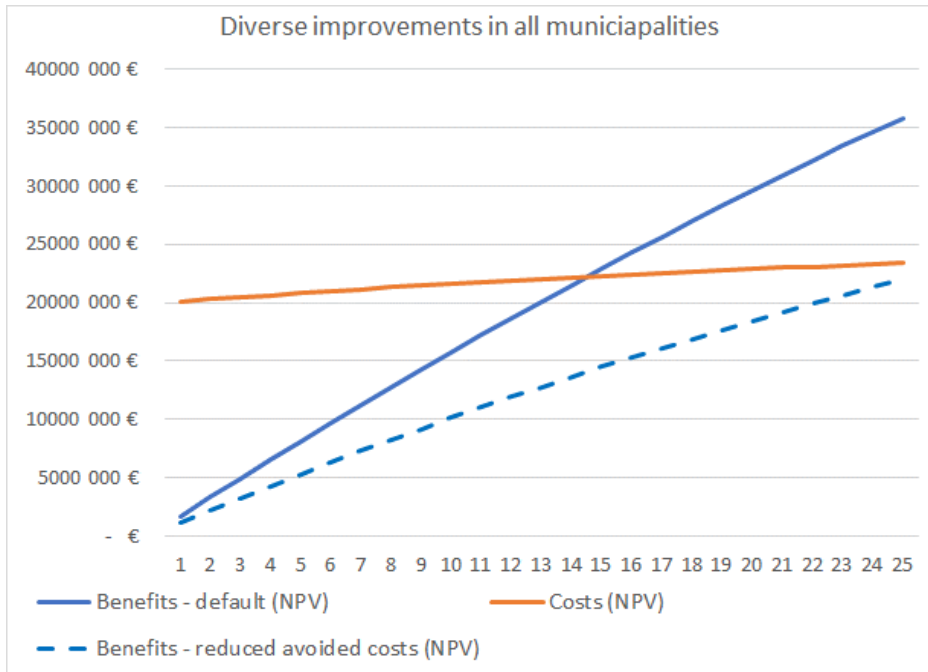


Figura 4-4. Benefici e costi nell'arco di vita dei progetti 30, 31, 33 e 34

4.4.4 Porto di Ischia resiliente al clima

Gli effetti della sommersione del porto di Ischia sono valutati sulla base del numero previsto di giorni in cui lo sbarco dai traghetti non è possibile a causa dell'acqua alta. Questo numero è attualmente di circa 4 giorni all'anno, mentre potrebbe salire a circa 10 giorni annui nei prossimi 25 anni. Ipotizzando che gli arrivi giornalieri si dimezzino e applicando la spesa giornaliera tipica per visitatore, è possibile calcolare il valore dei giorni persi. Ovviamente, i turisti già presenti sull'isola potrebbero essere costretti a fermarsi più a lungo, ma nel complesso ci aspettiamo che questo influisca negativamente sul numero di pernottamenti sull'isola, dato che ci si aspetta che i turisti e le autorità si muovano sulla base delle previsioni meteorologiche. Inoltre, ciò significa che i traghetti per Ischia abbiano meno entrate, anche se ciò può essere in parte compensato da un maggior numero di viaggi verso altre isole. Evitare le perdite di vendita dei biglietti dei traghetti e la riduzione della spesa dei turisti spiega la maggior parte dei benefici. Il rapporto benefici-costi (5,39) è elevato per questo caso. Sembra quindi che rendere il porto resiliente ai cambiamenti climatici sia una misura economicamente valida, e anche se i benefici dovessero risultare significativamente inferiori a quelli ipotizzati nel caso base (ipotesi di default) il progetto produrrà benefici sociali netti. I costi di investimento e di gestione possono probabilmente essere finanziati con un prelievo supplementare sui biglietti dei traghetti.

Tabella 4-6. Nuova banchina (progetto 18) - costi evitati per componente e VAN del progetto

building damage cost	direct cost of functionality loss	tourism deterrence effect	VoSL* 3.5 mln / fatality 0.045 mln /	Net NPV (B-C) mln. €
clearing cost or area and restaurants	losses for ferry companies; extra cost for ad-hoc solutions;	limited arrival capacity + deterrence effect	not relevant	16 480 000 €
686 433 €	6 167 796 €	13 373 442 €		5,394

Tabella 4-7. Aspetti chiave del progetto 18

ID	Municipality	Main Hazard	Adaptation activity description	inv.cost	OPEX
18	Ischia	Sea level	Raise of the quay level in Ischia Porto with a protective concrete wall along the edge of the actual quays on the restaurants section, with wooden deck on top.	3,00	0,75

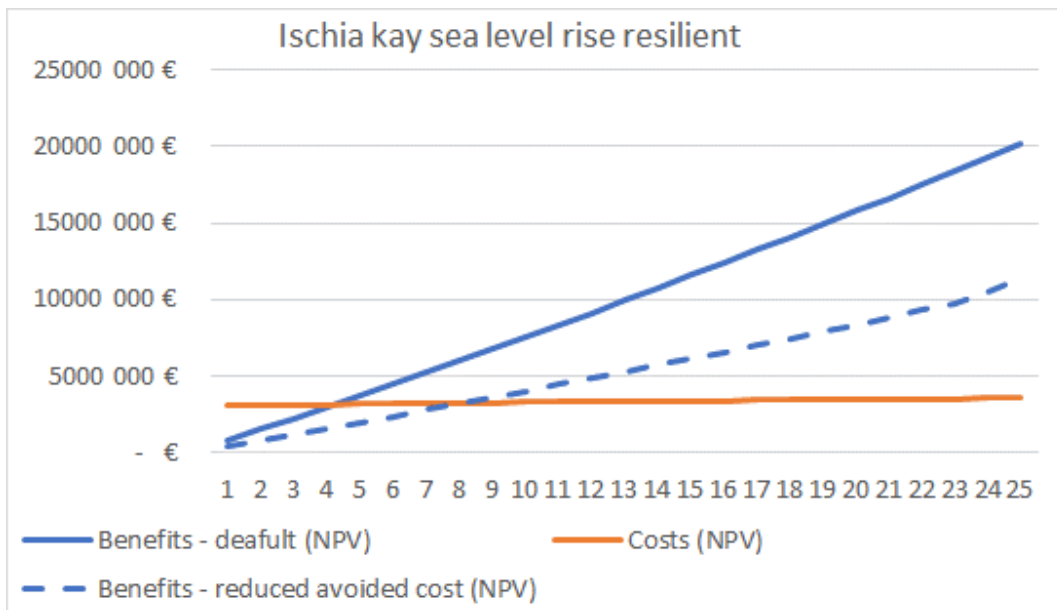


Figura 4-5. Benefici e costi nell'arco di vita del progetto 18

Dati di base del servizio traghetti

- Tariffa del traghetto: 16 € per viaggio
- Viaggi di andata e ritorno dei turisti: 1,6 milioni che producono 51,2 milioni di euro di entrate dal servizio del traghetto
- Viaggi dei residenti (10 volte l'anno): produzione di 6,7 milioni di euro di entrate da traghetti
- Ricavo medio dei traghetti al giorno: 158.685 €

- Entrata massima stimata per il traghetto al giorno: 238.027 €
- Entrate minime stimate per traghetto al giorno: 95.211 €

Nei calcoli sono stati utilizzati i ricavi giornalieri più bassi, poiché i rischi di inondazione sono tipicamente al di fuori della stagione turistica. Si presume che la metà degli arrivi giornalieri possa comunque essere gestita utilizzando altre strutture portuali dell'isola.

4.4.5 Progetti stradali

Tre dei quattro progetti stradali riguardano la riduzione del rischio di ostruzioni e danni alla strada ad anello principale dell'isola. Due di queste località (n. 14 e 15) sono vicine tra loro sul lato nord dell'isola, in prossimità dell'eliporto. Le ostruzioni provocate dalle frane su questi tratti di strada ostacolerebbero l'accessibilità dell'eliporto. Inoltre, creerebbero notevoli ritardi nei viaggi, che potrebbero durare diverse settimane, per molti residenti e visitatori dell'isola. Potrebbero anche creare un sovraffollamento delle strade secondarie, poiché i veicoli più piccoli cercherebbero percorsi alternativi. La terza località (n. 19) si trova sulla costa occidentale di Forio, dove c'è il rischio di danni diretti sostanziali dovuti al crollo del sostegno costiero e quindi anche di un tratto stradale. Il ripristino di questa situazione dopo il crollo richiederebbe molto tempo, forse fino a un anno. In questo caso sono disponibili percorsi alternativi, ma il crollo causerebbe comunque ritardi nel traffico.

Il quarto progetto (n. 17) riguarda l'unica strada di accesso a un'area montana ad uso residenziale e agricolo. Si prevede che l'ostruzione della strada richiederebbe residenze alternative temporanee e restrizioni operative e perdite per i vigneti della zona.

I progetti 14 e 15 sembrano decisamente vantaggiosi. I risultati del progetto 19 indicano che l'efficienza dei costi è molto importante per fornire maggiore certezza che il progetto sia complessivamente vantaggioso. Il progetto 17 sembra ancora più critico. È possibile che gli attori coinvolti debbano accettare misure piuttosto semplici per mantenere la ragionevolezza socio-economica del progetto, il che implica che la località è economicamente meno attraente a causa dei rischi. Al contrario, potrebbero esserci costi evitati che non sono stati presi in considerazione in questa analisi di alto livello.

Tabella 4-8. Dati chiave delle attività di adattamento stradale incluse.

ID	Municipality	Main sector	Main Hazard	Adaptation activity description	Lat	Lon	inv. Cost	OPEX
14	Casamicciola Terme	Roads	Landslide	Steel nets need to be replaced near the heliport, possible partially with retaining walls. Length 150m, height 15m. Hydraulic structures (drainage system) will be needed, if wall is chosen.	40.75069102092889	13.898638733077789	1 000 000 €	250 000 €
15	Casamicciola Terme	Roads	Landslide	Steel nets need to be replaced, possible partially with retaining walls. Length 250m, height 10-15m. Hydraulic structures	40.75167852987871	13.896214016129749	1 500 000 €	375 000 €
17	Forio	Roads	Landslide	Slope stability. Using Biotextile and steel nets in various location in the Forio mountain area. Only access to various farms, lodges and houses	40.7266377	13.8778768	500 000 €	125 000 €
19	Forio	Roads	Sea level	Stabilization of the cliff in Forio against coastal erosion with retaining wall coupled with the installation of natural rocks breakwater at the toe of the wall	40.7311291	13.8555942	15 000 000 €	3 750 000 €

Tabella 4-9. Ipotesi chiave per l'ACB specifica del progetto per la protezione delle strade.

				structural damage cost	direct cost of functionality loss	tourism deterrence effect	VoSL* 3.5 mln N fatality	VoSL* 0.045 mln N injured
income growth	discount rate	specific event probability (SEP)	annual change in SEP	road clearing and repair	cost of detours and congestion	341 000 000 €	3 500 000 €	45 000 €
1	4	0,13	0,001	2 500 000 €	2 600 000 €	0,25 %	0	0
1	4	0,13	0,001	2 500 000 €		0,25 %	0	0
1	4	0,05	0,001	220 000 €	135 000 €	0,00 %	0	0
1	4	0,05	0,001	1 050 000 €	2 600 000 €	2,00 %	0,1	1

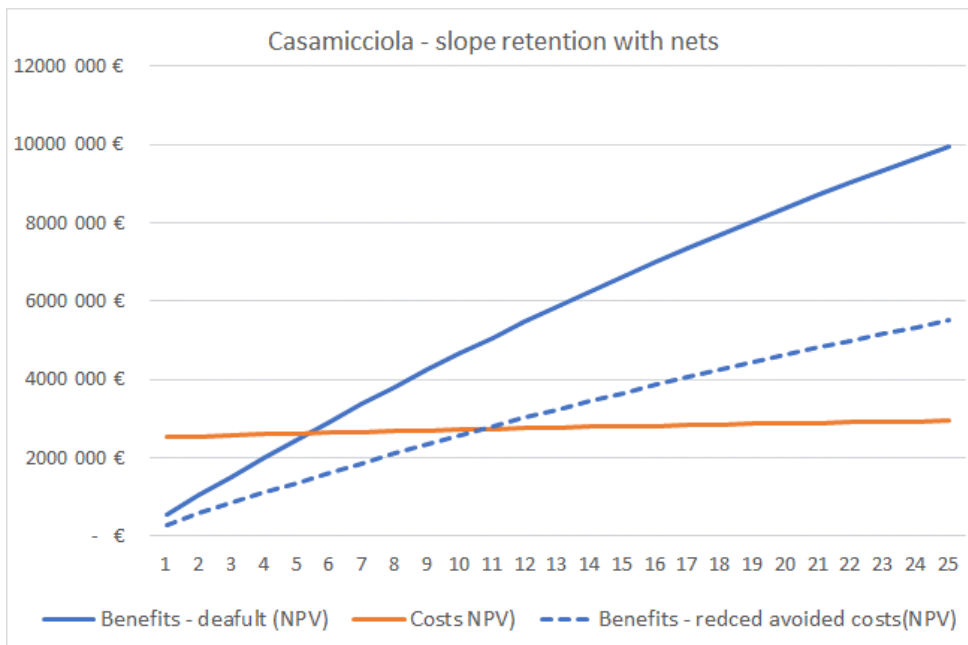


Figure 4-2. Benefici e costi nell'arco di vita dei progetti 14 e 15

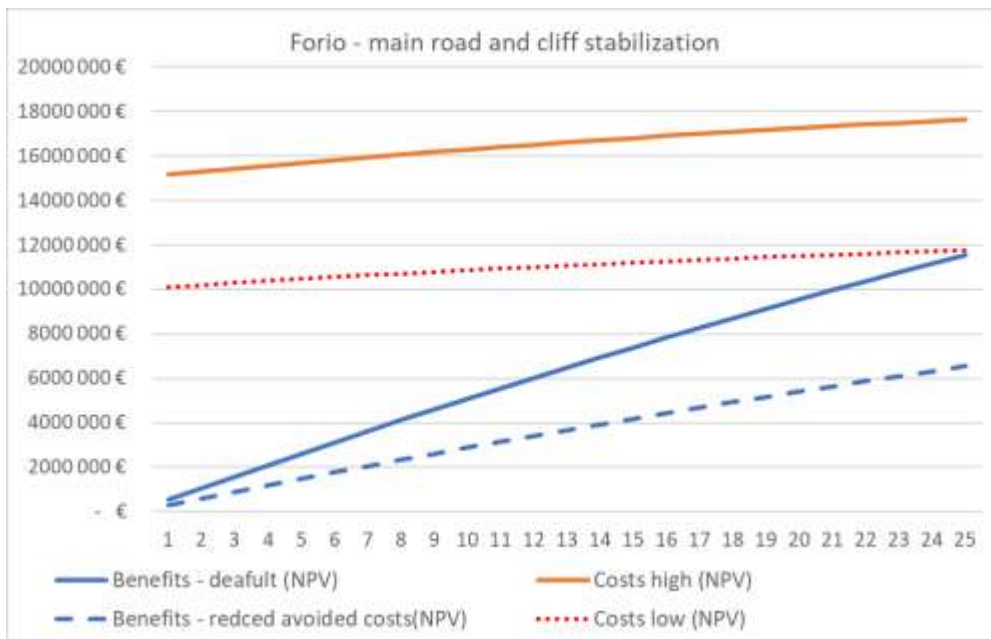


Figura 4-7. Benefici e costi nell'arco di vita del progetto 19

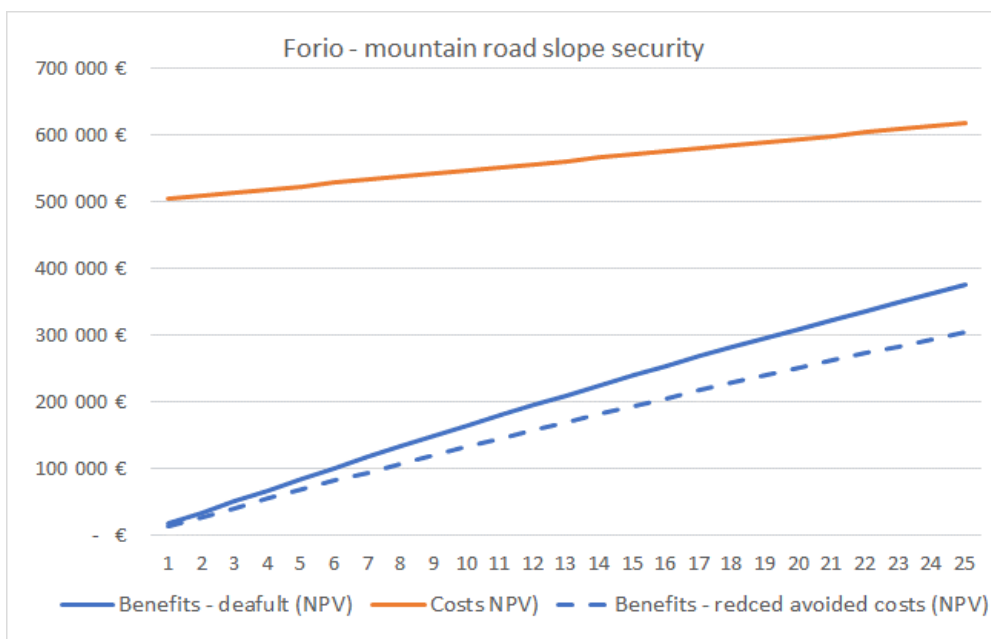


Figura 4-8. Benefici e costi nell'arco di vita del progetto 17

Dati di input dettagliati e calcoli:

	lunghezza in km	% senza ridondanza	costo di costruzione/km	costo asfalto nuovo/km
strade principali	30,5	50%	5,00 mln.€	2,00 mln.€
strade secondarie	163,7	-	1,75 mln.€	1,00 mln.€
strade terziarie	148,6	-	0,88 mln.€	0,50 mln.€

	numero nel 2011
Popolazione	68.400*
numero di autovetture immatricolate	36.178
numero di furgoni e autocarri registrati	19.219
numero di motocicli e scooter immatricolati	6.823
numero stimato di auto in visita al giorno	~300 (inverno) - ~2.000 (estate)

- Ipotesi e calcoli di deviazione
- Tasso salariale medio ipotizzato: 20 €/ora (residenti e turisti); tasso di crescita reale annuo dell'1%.
- Costo km-veicolo: 0,60 € (stessa tariffa applicata ad auto, furgoni e camion)

Nota: non si prevede che il progetto stradale in quanto tale possa salvare vite o lesioni. Questi effetti sono stimati all'interno di altre misure (in particolare i sistemi di allarme rapido).

4.4.6 Progetti edilizi

Il ruolo cruciale dell'eliporto e dell'ospedale nel ridurre i rischi di mortalità e morbilità implica che anche solo limitazioni temporanee della funzionalità di queste strutture creano un elevato costo sociale. In particolare, la disponibilità dell'eliporto è essenziale per salvare vite umane, sia di residenti che di turisti. Anche se i benefici potenziali derivanti dalla riduzione delle vittime e dalla dissuasione dei turisti si dimezzano o si riducono ulteriormente, i benefici netti rimangono sostanziali. Il numero potenziale di vittime si basa sulle informazioni relative alla frequenza dei voli in elicottero, non contando i voli per i visitatori facoltosi.

Nelle attività di adattamento per l'ospedale, non necessariamente tutte le misure proposte vengono realizzate, in particolare perché la maggior parte degli edifici dell'ospedale non ha una vita residua molto lunga. Pertanto, per questa attività di adattamento si distinguono un alto e un basso livello di costi di investimento (3,2 contro 6,5 milioni di euro). I costi operativi differiscono di conseguenza (1% del costo di investimento all'anno). Non è stato possibile valutare in che misura i costi evitati diminuiranno se non verranno realizzate tutte le misure.

Tabella 4-10 Dati chiave dei progetti di protezione degli edifici inclusi

					building damage cost	direct cost of functionality loss	tourism deterrence effect	VoSL* 3.5 mln N fatality	VoSL* 0.045 mln N injured
ID	income growth	discount rate	specific event probability (SEP)	annual change in SEP		cost of temporary substitutes	341 000 000 €	3 500 000 €	45 000 €
20	1	4	0,01	0,002	500 000 €	600000	10 %	1	12
25	1	4	0,01	0,004		350000	10 %	6	24
21	1	4	0,03	0,001	1 600 000 €	140000	3 %	0	20
22	1	4	0,03	0,001					

Tabella 4-11. Ipotesi chiave per l'ACB specifica del progetto per la protezione degli edifici

ID	Municipality	Main sector	Main Hazard	Adaptation activity description	Lat	Lon	inv.cost min	OPEX min	inv. Cost max	OPEX max
20	Casamicciola Terme	Buildings	Landslide	Several activities for the Ischia Hospital	40.7502345	13.8958620	3,20	0,8	6,50	1,6
25	Casamicciola Terme	Buildings	Sea level	Island heliport structures are crumbling (new info 30.11.2023). Coastal erosion protection as adaptation	40.7509654	13.89881242	5,00	1,25	5,00	1,25
21	Ischia	Buildings	Wildfire	Vegetation control to create a buffer zone next to populated areas of Ischia	40.7372875	13.9342380	0,50	0,125	0,50	0,125
22	Barano d'Ischia	Buildings	Wildfire	Vegetation control to create a buffer zone next to populated areas	40.7147082	13.907706218	0,50	0,125	0,50	0,125

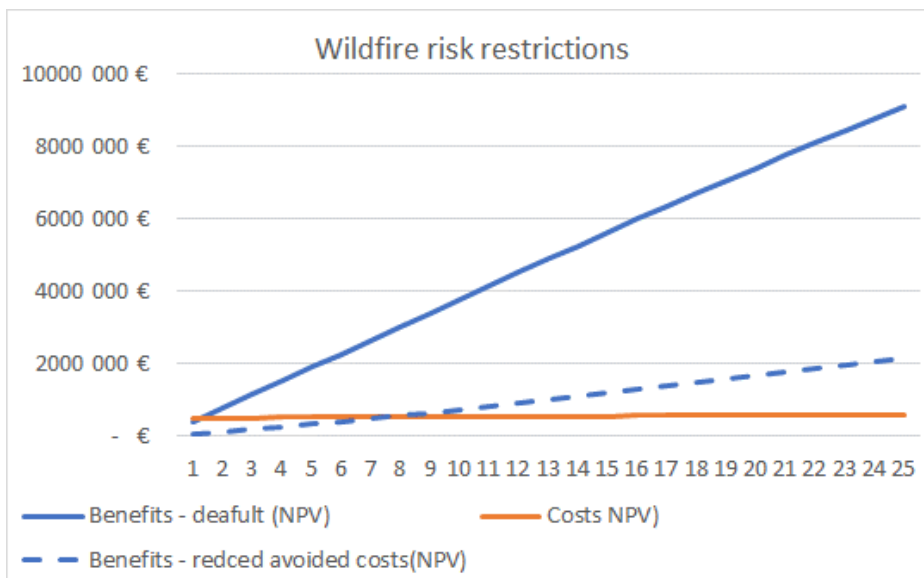


Figure 4-3. Benefici e costi nell'arco di vita del progetto 25

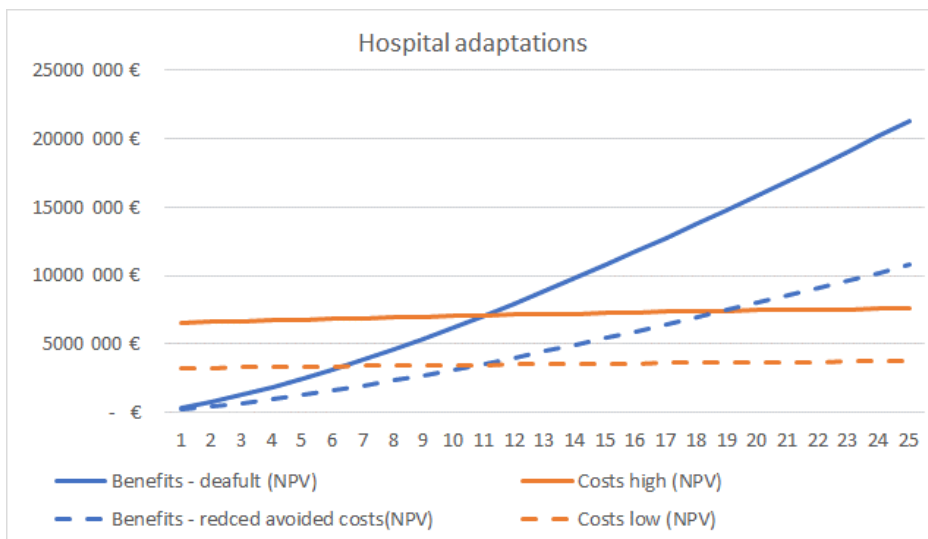


Figure 4-4. Benefici e costi nell'arco di vita del progetto 20

4.4.7 Progetti legati al turismo

I progetti di investimento per le località turistiche hanno tutti a che fare con attrazioni significative o gruppi di hotel sul mare, tutti minacciati da frane e caduta massi o da inondazioni che possono comportare anche frane. Il progetto 10 non ha potuto essere valutato per mancanza di informazioni sugli impatti. I progetti 8 e 9 sono strettamente correlati in termini di impatti e probabilmente anche di eventi (ad esempio in relazione alle precipitazioni estreme). I progetti 23 e 24 sono molto simili e riguardano la protezione contro la caduta di massi e la stabilità dei pendii di località termali costiere circondate da ripidi pendii e scogliere.

Entrambe le località termali attraggono un numero piuttosto elevato di visitatori, molti dei quali non solo pagano un biglietto d'ingresso, ma usufruiscono anche dei servizi benessere e dei ristoranti o bar. La chiusura temporanea comporta quindi una significativa perdita di fatturato, che sarà solo in parte compensata da consumi turistici sostitutivi. Data la popolarità dei centri termali, i pericoli possono avere anche un effetto deterrente relativamente significativo sul turismo. Nel complesso, la protezione di queste località sembra avere una solida aspettativa di benefici sociali netti positivi.

Il range di impatto per l'area della spiaggia e per gli hotel da proteggere dei progetti 8 e 9 è ampio, il che significa che gli impatti potrebbero essere disastrosi con conseguenze economiche significative, ma le minacce potrebbero rivelarsi meno gravi, causando notevoli costi di riparazione e perdite di entrate a causa della chiusura temporanea, tuttavia con perdite limitate relative alle vittime e agli effetti di deterrenza sul turismo in generale. Ciò rende l'esito dell'ACB per questo progetto (gemello) altamente incerto. In pratica, questo significa che sarebbe utile valutare attentamente ciò che deve essere fatto e come può essere fatto in modo efficiente dal punto di vista dei costi.

Table 4-1. Dati chiave dei progetti di tutela delle attrazioni turistiche inclusi

ID	Municipality	Main sector	Main Hazard	Adaptation activity description	Lat	Lon	inv.cost	OPEX
10	Barano d'Ischia (not urgent in water section)	Tourism	Flooding	Extremely urgent works to restore the hydraulic functionality of the Cava Rosato/Cavone Martocchio riverbed	40.709154	13.924109	1,60 M€	0,400
9	Barano d'Ischia	Tourism	Flooding	Extremely urgent works to make the ribs safe and restore the hydraulic functionality of the Alveo Cava Ponte/Nitrodi/Olmietello	40.701605	13.907080	6,08 M€	1,520
8	Barano d'Ischia	Tourism	Landslide	Works to improve the safety of the Maronti beach ridges	40.702045	13.903111	4,47 M€	1,118
23	Forio	Tourism	Landslide	Poseidon hot spring resort site erosion protection	40.7157454	13.86128035	1,67 M€	0,418
24	Lacco Ameno	Tourism	Landslide	Negombo hot spring resort erosion protection	40.7581041	13.8782674	1,00 M€	0,250

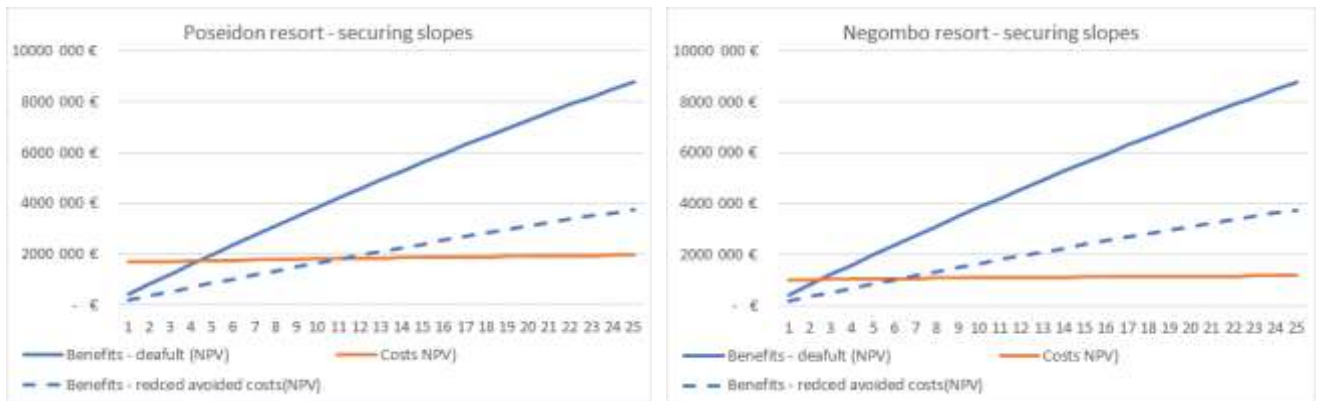


Figure 4-6. Benefici e costi nell'arco di vita del progetto 23

Figure 4-5. Benefici e costi nell'arco di vita del progetto 24

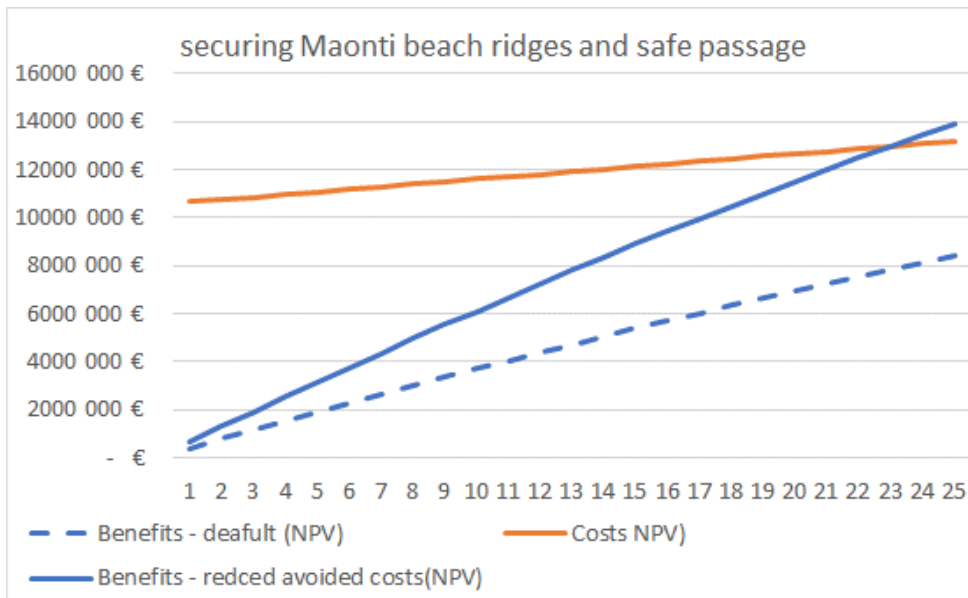


Figura 4-14. Benefici e costi nell'arco di vita dei progetti 8 e 9

4.5 Sforzi di adattamento per sostenere la produzione di uva e vino

Anche se non è stato proposto dagli stakeholders di Ischia coinvolti, in qualità di esperti abbiamo identificato che il sostegno alla produzione di vino in un'ottica di resilienza ai cambiamenti climatici possa avere effetti economici positivi significativi sull'isola, anche grazie al legame con il turismo. Anche se gli investimenti di adattamento in questo settore sono decisioni in capo al settore privato, i rischi relativi alla selezione di misure appropriate per quest'area (Ischia) sono significativi. Da questo punto di vista è stato identificato un compito che spetta al settore pubblico per migliorare le modalità di gestione dei cambiamenti climatici grazie a un adattamento innovativo a livello locale.

Il sostegno a progetti pilota di adattamento, in questo caso di appezzamenti pilota di vigneti per testare varie soluzioni di adattamento per alcuni anni, potrebbe favorire un adattamento più tempestivo nella corretta direzione per questa regione. Di conseguenza, la possibile riduzione del valore di produzione del vino verrebbe fermata o attenuata. Viene fatto notare che un miglioramento dell'1% nella produzione di

uva di tutti i vigneti equivale a circa 0,5-0,7 milioni di euro di valore aggiunto annuo⁵⁹. I progetti pilota dovrebbero essere uno sforzo coordinato, i risultati e gli insegnamenti relativi dovrebbero essere disponibili per l'intero settore dell'isola (e non solo). Contrariamente, il sostegno pubblico non è giustificato.

⁵⁹ La stima dell'impatto sul valore aggiunto aggregato del settore sull'isola si basa sulla produzione di vino dichiarata (1800 tonnellate di uva = 10,2 milioni di litri di vino = 13,6 bottiglie di vino), un prezzo all'ingrosso per bottiglia di 6-8 euro e una quota di valore aggiunto del 65% per il produttore.

5 Raccomandazioni sulle opzioni di investimento per l'adattamento ai cambiamenti climatici

Le raccomandazioni sugli investimenti per l'adattamento sono presentate in dettaglio nel capitolo 3 del presente rapporto. Pertanto, gli investimenti raccomandati per le attività di adattamento sono qui solamente richiamati. Sono stati suddivisi in due categorie, investimenti a breve e a lungo termine, in base alla valutazione della criticità effettuata dall'esperto settoriale e al punteggio ottenuto dall'analisi dei costi e dei benefici del capitolo 4.

Le raccomandazioni di investimento contenute in questo rapporto si concentrano su schemi di progetto che attualmente non sono gestiti dalla Struttura Commissariale. Come già detto, si può affermare che, in generale, le misure attualmente gestite dalle Strutture Commissariali sono in grado di mitigare i rischi naturali sia nelle condizioni attuali che in quelle di cambiamento climatico, qualora siano adeguatamente progettate. Pertanto, in questo rapporto vengono presentate solo poche attività di adattamento per Casamicciola Terme, oltre ai progetti descritti dalle Strutture Commissariali nel "Piano commissariale di interventi urgenti", ma si raccomanda di seguire i criteri di progettazione proposti nel capitolo 3.10 per i suddetti progetti. Alcuni degli investimenti raccomandati non sono stati inclusi nell'analisi costi-benefici per mancanza di informazioni o perché non adatti all'analisi costi-benefici, come nel caso degli ulteriori studi necessari per ottenere informazioni aggiuntive per una più precisa pianificazione delle attività di adattamento e dei progetti pilota sui vigneti.

Nei casi in cui il punteggio dell'ACB è risultato inferiore a 2, si è fatto ricorso al giudizio di esperti per determinare se gli investimenti previsti nelle attività di adattamento dovessero essere inclusi negli investimenti a breve o a medio-lungo termine. Il giudizio degli esperti è stato utilizzato anche nei casi in cui l'ACB non è stata effettuata per una determinata raccomandazione di attività di adattamento.

Va notato che alcuni investimenti possono essere combinati per ottenere sinergie, ma le possibili sinergie non sono state considerate in questo studio. Ad esempio, un investimento stradale potrebbe fornire una sinergia per altre infrastrutture associate, come le reti fognarie, i pendii adiacenti o la protezione costiera.

5.1 Investimenti a breve termine

Gli investimenti a breve termine sono considerati i più critici e vantaggiosi per l'isola di Ischia sulla base della valutazione della criticità di ogni attività di adattamento da parte degli esperti settoriali e dell'analisi costi-benefici delle attività di adeguamento raccomandate. Gran parte di queste soluzioni sono proposte al livello di dettaglio in cui i loro costi, dettagli e progettazioni sono inclusi in questo rapporto, ma molti siti richiedono ancora ulteriori valutazioni per chiarire i rischi e determinare le esatte attività di adattamento necessarie. Gli studi raccomandati per valutazioni del rischio più precise, spesso a livello locale, e per la pianificazione e la progettazione delle attività di adattamento sono presentati in Tabella 5-1. Questi dovrebbero essere eseguiti con la massima priorità per consentire un'ulteriore identificazione delle possibili vulnerabilità climatiche e la conseguente pianificazione dettagliata delle attività di adattamento raccomandate o di altre attività condotte dalla Struttura Commissariale.

Tabella 5-1. Raccomandazione di ulteriori studi per fornire informazioni per una più precisa valutazione del rischio e per la pianificazione e progettazione delle attività di adattamento.

ID	Comune	Settore principale	Pericolo principale	Descrizione dell'attività di adattamento	Stima dei costi [M€]	Commenti
39	Tutti	Studio	Multiplo	Modello digitale di elevazione	0,05 M€	Una volta completato, può rivelare una quantità significativa di esigenze di

						adattamento, soprattutto nelle aree costiere.
41	Tutti	Studio	Multiplo	Catasto, inventario e documentazione degli eventi di rischio naturale	0,3 M€	
36	Tutti	Studio	Alluvione	Modello alluvionale	0,25 M€	
37	Tutti	Studio	Frana	Valutazione delle frane	0,25 M€	
40	Tutti	Studio	Aumento del livello del mare	Modello costiero	0,2 M€	Stima dei costi 50 k€/sito, 4 siti di interesse. Una volta completato, può rivelare un numero significativo di esigenze di adattamento, soprattutto nelle aree costiere.
42	Tutti	Studio	Frana	Studi di fattibilità per gli investimenti 4,5,6 (aree ad alto rischio di frana)	0,3 M€	
43	Tutti	Studio	Multiplo	Inventario delle strade per la mappatura delle condizioni e del rischio granulare. Dovrebbe includere le dimensioni e le quantità di traffico delle strade.	0,1 M€	

La Tabella 5-2 presenta tutte le attività di adattamento raccomandate che dovrebbero essere considerate come investimenti a breve termine. Anche se il punteggio ACB dell'adattamento della strada di Forio (19) è basso, è stato comunque considerato un investimento critico dal punto di vista della protezione della costa e per il fatto che, in caso di chiusura di questa strada principale nella zona costiera di Forio, le strade alternative non sarebbero in grado di assorbire il traffico della zona. Ciò avrebbe pesanti ripercussioni anche sui resort e sugli alberghi della zona.

Tabella 5-2. Attività di adattamento raccomandate per gli investimenti a breve termine ordinate in base all'ACB, con il numero maggiore che ha la massima priorità.

ID	Comune	Settore principale	Pericolo principale	Descrizione dell'attività di adattamento	Stima dei costi [M€]	ACB	Requisiti
21	Ischia	Edifici	Incendi boschivi	Controllo della vegetazione per creare una zona cuscinetto accanto alle aree popolate di Ischia	0,50 M€	15,5	
22	Barano d'Ischia	Edifici	Incendi boschivi	Controllo della vegetazione per creare una zona cuscinetto accanto alle aree popolate	0,50 M€	15,5	
29	Barano d'Ischia	Acqua	Multiplo	Combinare la rete idrica esistente in una rete circolare	0,31 M€	14,6	
32	Tutti	Acqua	Inondazioni	Collegamento delle due principali linee di rete dell'acqua potabile in un'unica rete circolare	0,31 M€	14,6	

31	Tutti	Acqua	Frana	Reindirizzare le condotte dell'acqua potabile dalle aree soggette a frane a quelle a minor rischio.	3,78 M€	14,6	36
25	Casamicciol a Terme	Edifici	Livello del mare	Protezione dall'erosione costiera per l'eliporto dell'isola, le cui strutture si stanno sgretolando.	5 M€	8,7	39, 40
24	Lacco Ameno	Turismo	Frana	Protezione dall'erosione della stazione termale di Negombo	1,00 M€	7,5	
18	Ischia	Porti	Livello del mare	Innalzamento del livello della banchina di Ischia Porto con un muro di protezione in calcestruzzo lungo il bordo delle banchine attuali nel tratto dei ristoranti, con ponte in legno sulla sommità.	3,00 M€	5,4	39, 40
23	Forio	Turismo	Frana	Protezione dall'erosione del sito della stazione termale Poseidon	1,67 M€	4,5	
38	Tutti	Multiplo	Multiplo	Sistema di monitoraggio, allerta e allarme dei pericoli naturali	2,8 M€	4,2	
14	Casamicciol a Terme	Strade	Frana	Le reti in acciaio devono essere sostituite in prossimità dell'eliporto; è possibile sostituirle parzialmente con muri di contenimento. Lunghezza 150 m, altezza 15 m. In caso di scelta del muro, saranno necessarie strutture idrauliche (sistema di drenaggio).	1 M€	3,4	
15	Casamicciol a Terme	Strade	Frana	Le reti in acciaio devono essere sostituite; è possibile sostituirle parzialmente con muri di contenimento. Lunghezza 250 m, altezza 10-15 m. Strutture idrauliche	1,5 M€	3,4	
20	Casamicciol a Terme	Edifici	Frana	Diverse attività per l'Ospedale di Ischia	6,50 M€	2,8	
11	Ischia	Silvicoltura	Frana	Gestione dell'area forestale di Monte Vezzi	0,11 M€	2,0	
12	Ischia, Barano d'Ischia	Silvicoltura	Frana	Gestione delle aree forestali del Cretaio	0,14 M€	2,0	
13	Casamicciol a Terme, Barano d'Ischia	Silvicoltura	Frana	Casamicciola Terme Monte Epomeo gestione forestale	0,41 M€	2,0	
16	Casamicciol a Terme	Acqua	Inondazioni	Potenziamento del drenaggio, trasformando la fognatura mista in separata. Aumento della capacità delle acque meteoriche.	1,00 M€	1,5	36
26	Casamicciol a Terme	Acqua	Inondazioni	Riprogettazione di un collettore di scarico a Casamicciola Terme	0.43 M€	1,5	36

30	Tutti	Acqua	Inondazioni	Ampliamento di 50 mm del sistema di drenaggio delle acque piovane che attraversa le aree soggette a inondazioni.	11,9 M€	1,5	36
33	Tutti	Acqua	Frana	Trasformazione della rete fognaria mista ad alto rischio di frana in una rete fognaria separata	2,77 M€	1,5	36
34	Tutti	Acqua	Frana	Trasformazione della rete fognaria mista a medio rischio di frana in una rete fognaria separata	1,45 M€	1,5	36
19	Forio	Strade	Livello del mare	Stabilizzazione della scogliera di Forio contro l'erosione costiera con un muro di contenimento e l'installazione di frangiflutti in rocce naturali sulla punta del muro.	15,0 M€	1,0	40

5.2 Investimenti a medio-lungo termine

Anche se le raccomandazioni per l'attività di adattamento 4,5,6 (Tabella 5-3) sono considerate importanti, sono presentate negli investimenti a medio-lungo termine, poiché non è possibile fornire sufficienti dettagli per confermarle all'interno di questo studio. Si raccomandano comunque ulteriori studi, poiché le aree corrispondenti sono riconosciute, sia dalla popolazione locale sia dalle analisi GIS di questo studio, come aree a rischio di frana. Anche gli studi sulle inondazioni e sul livello del mare di questo studio non presentano un grado di dettaglio tale da confermare pienamente la necessità di proteggere ulteriormente le stazioni elettriche dell'Isola di Ischia (investimenti 27 e 28).

Gli investimenti 1,3,7,8,9,17 e 35 non sono stati considerati critici e/o la loro ACB era bassa; quindi, sono stati raccomandati per investimenti a lungo termine con priorità inferiore.

Tabella 5-3. Investimenti a medio/lungo termine per la resilienza climatica dell'Isola di Ischia

ID	Comune	Settore principale	Pericolo principale	Descrizione dell'attività di adattamento	Stima dei costi [M€]	ACB	Requisiti
4	Ischia	Multiplo	Frana	Varie opere relative a frane e idrologia nell'area di Monte Vezzi. La stima dei costi si basa sui dati locali.	14,6 M€	-	42
5	Casamiccio la Terme, Ischia, Barano d'Ischia	Multiplo	Frana	Varie opere relative a frane e idrologia nell'area del Cretaio. La stima dei costi si basa sulla copertura approssimativa dell'area rispetto alla stima dell'investimento di Monte Vezzi.	15 M€	-	42
6	Casamiccio la Terme, Serrara Fontana, Forio	Multiplo	Frana	Varie opere relative a frane e idrologia nell'area di Forio. La stima dei costi si basa sulla copertura approssimativa dell'area rispetto alla stima dell'investimento di Monte Vezzi.	30 M€	-	42

28	Lacco Ameno	Energia	Inondazioni	Possibile protezione dalle inondazioni del punto di connessione del cavo di Lacco Ameno	Non definito	-	39,40
27	Ischia	Energia	Livello del mare	Possibile protezione dalle inondazioni della sottostazione elettrica di Ischia	Non definito	-	36,39
3	Lacco Ameno	Strade	Frana	Messa in sicurezza e consolidamento del crinale che sovrasta via Cava Pannella	1,59 M€	-	
7	Lacco Ameno	Turismo	Frana	Sicurezza e consolidamento del crinale che si affaccia sulla spiaggia di Varulo	1,23 M€	-	
1	Lacco Ameno	Turismo	Livello del mare	Completamento dell'intervento di messa in sicurezza e consolidamento della dorsale est di Montevico - dorsale nord	2,00 M€	-	
35	Tutti	Acqua	Frana	Trasformare la rete fognaria mista nelle aree a basso o nullo rischio di frana in una rete fognaria separata.	5,53 M€	-	
17	Forio	Strade	Frana	Stabilità dei pendii. Utilizzo di biostuoie e reti d'acciaio in varie località della zona montana di Forio.	0,50 M€	0,6	
9	Barano d'Ischia	Turismo	Inondazioni	Lavori di estrema urgenza per la messa in sicurezza delle centine e il ripristino della funzionalità idraulica dell'Alveo Cava Ponte/Nitrodi/Olmitello	6,08 M€	1,1	
10	Barano d'Ischia	Turismo	Inondazioni	Lavori di estrema urgenza per il ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo di Cava Rosato/Cavone Martoccio	1,60 M€	1,1	
8	Barano d'Ischia	Turismo	Frana	Opere di miglioramento della sicurezza delle dune della spiaggia dei Maronti	4,47 M€	1,1	

6 Raccomandazioni per rafforzare la gestione dei progetti

6.1 Competenze del team della Struttura Commissariale

Nel corso dell'incarico, i consulenti hanno avuto diversi incontri con il team della Struttura Commissariale di Ischia. Durante gli incontri, è stato osservato che il team della Struttura Commissariale è altamente qualificato in materia di ingegneria strutturale (edifici) (Tabella 6.1.) ed è supportato dall'Università degli Studi di Napoli Federico II e dall'Università degli Studi del Sannio di Benevento in materia di geologia, idrologia, idraulica, frane e soluzioni naturalistiche (silvicoltura).

Tabella 6-1. Competenze settoriali del personale della Struttura Commissariale.

Ingegnere geotecnico idraulico
Esperto di ambiente
Ingegnere edile
Ingegnere strutturale
Ingegnere civile
Ingegnere edile strutturale e project manager
Ingegnere civile e strutturale
Ingegnere strutturale

Poiché questa valutazione ha preso in considerazione anche altri settori al di fuori di quelli sopra citati, ci siamo resi conto che il team della Struttura Commissariale potrebbe essere rafforzato con esperti in materia di approvvigionamento idrico e trattamento delle acque reflue, strutture costiere e reti di trasporto (strade, porti) ed energetiche.

Il team incaricato è a conoscenza di un progetto di assistenza tecnica, fornito dalla BEI, che copre già i problemi di competenza in materia di appalti e gare d'appalto.

Un esperto tecnico di adattamento climatico potrebbe essere aggiunto al team della Struttura Commissariale o fornire una consulenza per assicurarsi che tutti gli investimenti seguano i criteri di progettazione appropriati, considerando le condizioni climatiche future e le vulnerabilità climatiche sull'Isola di Ischia.

Si raccomanda che anche eventuali progetti futuri siano gestiti dalla Struttura Commissariale, in quanto ha l'autorità per svolgere i compiti richiesti; sembra invece difficile per gli stakeholder locali svolgere le indicazioni richieste in quanto gli interventi richiedono input e approvazioni da parte di diversi settori e livelli di autorità comunali e regionali. L'Isola di Ischia è inoltre divisa in 6 comuni, il che fornisce un ulteriore livello decisionale, soprattutto quando gli investimenti di adattamento riguardano più comuni.

Dovrebbe essere istituito un piccolo gruppo di persone, preferibilmente un'unità tecnica, per dirigere gli investimenti relativi all'adattamento al rischio climatico. L'unità potrebbe lavorare alle dirette dipendenze del commissario straordinario e sotto la sorveglianza del vice-commissario.

6.2 Monitoraggio

L'unità tecnica sopra descritta dovrebbe creare una tabella di marcia per gli investimenti in base alla loro priorità, per consentire la loro attuazione per l'adattamento climatico. Questa tabella di marcia per l'adattamento climatico dovrebbe anche indicare gli enti responsabili per l'attuazione degli investimenti con

relativi orizzonti temporali ed indentificare i possibili altri soggetti coinvolti nel dialogo decisionale. Il team dovrebbe anche sviluppare gli obiettivi di un programma di monitoraggio e seguire i progressi dell'implementazione sulla base di indicatori appropriati a supporto di detti obiettivi. Gli indicatori potrebbero includere, ad esempio, l'ammontare del denaro investito, il numero di investimenti o il numero di beneficiari. Il monitoraggio dei progressi dovrebbe anche garantire che i risultati delle indagini condotte per fornire una base migliore per la progettazione delle attività di adattamento, come ad esempio valutazioni più dettagliate del rischio di alluvioni o frane, siano effettivamente presi in considerazione nel processo di progettazione tecnica.

Oltre a monitorare i progressi nell'implementazione delle attività di adattamento, l'unità tecnica dovrebbe anche monitorare gli sviluppi generali in materia di rischio climatico, come ad esempio nuovi metodi per la mitigazione del rischio o nuovi sviluppi nella modellazione climatica. Se tali nuove metodologie potessero migliorare la conoscenza del rischio climatico a Ischia o la progettazione delle attività di adattamento al clima, l'unità tecnica dovrebbe prendere in considerazione l'aggiornamento della presente valutazione del rischio climatico o di considerazioni più specifiche per settore o per progetto. Per il monitoraggio delle attività scientifiche, si raccomanda di assegnare la responsabilità a una persona specifica all'interno dell'unità tecnica che mantenga stretti contatti con le istituzioni scientifiche.

Il programma di monitoraggio dovrà anche descrivere la frequenza di raccolta dei dati e a chi questi saranno comunicati. Si raccomanda di effettuare una revisione annuale e, a seconda della durata del programma di investimento, anche una revisione intermedia ed una finale. I risultati delle revisioni dovrebbero essere utilizzati per orientare i progressi degli investimenti verso gli obiettivi prefissati.

APPENDICI

1 Eventi di precipitazioni estreme osservati a Ischia

1.1 Introduzione

L'uso di modelli e rianalisi climatiche ad altissima risoluzione dovrebbe fornire vantaggi rilevanti in climatologia, in particolare per quanto riguarda la comprensione e quindi la riproduzione accurata di modelli atmosferici localizzati nel tempo e nello spazio. Oggi ci si aspetta anche che questi modelli miglioreranno la capacità dei modelli numerici all'avanguardia (che funzionano a circa 10 km) di riprodurre le caratteristiche climatiche all'interno di aree geograficamente vincolate e/o complesse (come le aree urbane con un microclima influenzato dalle attività umane). La motivazione principale di questo progetto è legata a tre fattori principali:

- una migliore rappresentazione della complessità e dell'eterogeneità dell'interfaccia suolo-atmosfera;
- Minore uso di parametrizzazione fisica per emulare processi (come le precipitazioni di convezione) che sono direttamente simulati dal modello numerico;
- la semplice presenza di una maggiore risoluzione consente anche una migliore rappresentazione degli estremi, limitando (ma non escludendo del tutto) gli effetti di sottostima dei fenomeni estremi, dovuti all'operazione di mediazione su una griglia computazionale a risoluzione finita.

In questo modo, facilitano una comprensione più approfondita dei sistemi climatici regionali e delle influenze microclimatiche, consentendo una previsione più precisa delle tendenze climatiche e dei loro potenziali impatti.

Inoltre, la loro capacità di ricreare eventi meteorologici estremi, spesso localizzati, rappresenta una svolta cruciale, che migliora la capacità di studiare la frequenza, l'intensità e la distribuzione spaziale di tali eventi e la loro evoluzione a causa dei cambiamenti climatici.

Sulla base di questa premessa, si è deciso di tentare di riprodurre la distribuzione spaziale delle precipitazioni sull'isola di Ischia utilizzando i dati recentemente generati dalla Fondazione CMCC ad una risoluzione di 2km, nello specifico la rianalisi nota come ERA5@2km⁶⁰.

Purtroppo, le stazioni meteorologiche locali in situ (Figura 1-1) hanno fornito osservazioni solo per un periodo limitato⁶¹ (Figura 1-2). Non è quindi possibile valutare le prestazioni di ERA5@2km su quest'area e valutare la tendenza locale o rimuovere il bias del modello⁶².

⁶⁰ ERA5@2km è un nuovo dataset di precipitazioni ad alta risoluzione oraria, ottenuto dal downscaling della rianalisi ERA5 (fornita da Copernicus (in questa prima versione non include il processo di assimilazione dei dati) che include il processo di assimilazione dei dati ad altissima risoluzione): <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
I dati sono disponibili per il download sul DSS del CMCC: <https://dds.cmcc.it/#/dataset/era5-downscaled-over-italy/hourly>. Il dataset copre l'intero territorio italiano in modo da fornire un dataset molto dettagliato (in termini di risoluzione spazio-temporale) e completo (in termini di campi meteorologici) di dati climatologici per almeno gli ultimi 30 anni (01/1989-10/2020).

⁶¹ Una corretta valutazione dei modelli climatici medi ed estremi richiede un'analisi climatica che copra un periodo minimo di 30 anni.

⁶² errori o distorsioni sistematiche del modello si riferisce a errori sistematici o imprecisioni nella rappresentazione delle condizioni atmosferiche da parte di un modello numerico o computazionale. Le distorsioni possono derivare da varie fonti, tra cui l'immissione di dati imperfetti, le semplificazioni nelle equazioni del modello o le limitazioni nella risoluzione del modello. In sostanza, si tratta di una discrepanza consistente tra le previsioni del modello e le osservazioni atmosferiche reali, che può influire sull'accuratezza e sull'affidabilità complessiva del modello nella simulazione di fenomeni meteorologici o climatici. Può essere valutata attraverso confronti sistematici tra le simulazioni del modello e le osservazioni, laddove disponibili.

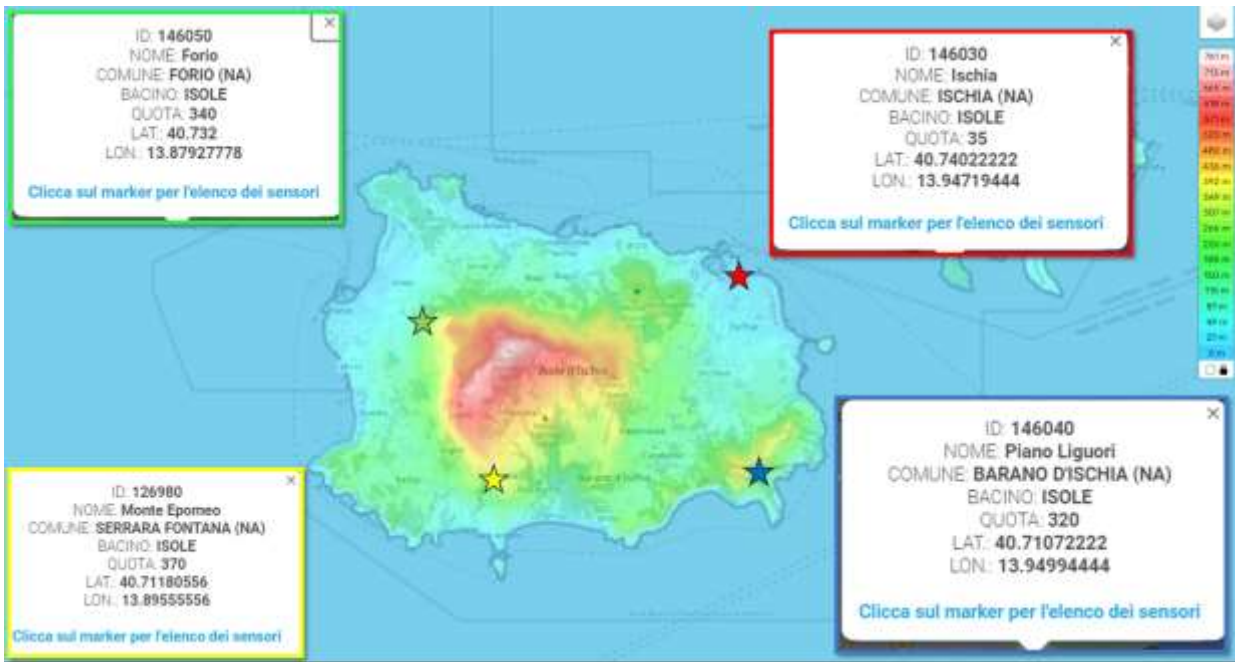


Figura 1-1: Orografia di Ischia e localizzazione della stazione metereologica in situ (fonte della mappa: <https://it-ch.topographic-map.com/map-4wg6nh/Ischia/?center=40.72723%2C13.91145>)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Complete years (among the ones available)						
FORIO	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	59	16/18					
Monte Epomeo	80	100	1	0	0	0	0	0	1	0	0	4	1	0	0	0	0	2	6	0	0	0	0	59	21/24
Piano Liguori	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	16/18
Porto							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	11/12

Figura 1-2 Analisi delle osservazioni in situ in termini di qualità e completezza. Nei casi in cui nel dataset manchi più del 25% dei dati (NaN) per un determinato anno, quell'anno specifico è contrassegnato come non valido e di conseguenza deve essere escluso dall'analisi. Questi anni non validi sono evidenziati visivamente in rosso per una facile identificazione. Questa analisi rigorosa serve a salvaguardare l'integrità dei risultati statistici, evitando qualsiasi influenza indebita da parte di dati incompleti o inaffidabili. L'analisi applicata è stata proposta da Fioravanti et al. nel 2016 (Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., Desiato F.: Controlli di qualità delle serie di temperatura e precipitazione, ISPRA, 2016).

Inoltre, partendo dall'analisi della posizione e dell'elevazione dei punti della griglia ERA5@2km (Figura 1-3) risulta che i modelli numerici hanno ancora una sottostima dell'orografia reale dell'isola. Tuttavia, è facile notare che c'è un significativo valore aggiunto nella rappresentazione dell'orografia rispetto alla rianalisi ERA5, prodotto da Copernicus, con una risoluzione di circa 31 km (Figura 1-3a destra).

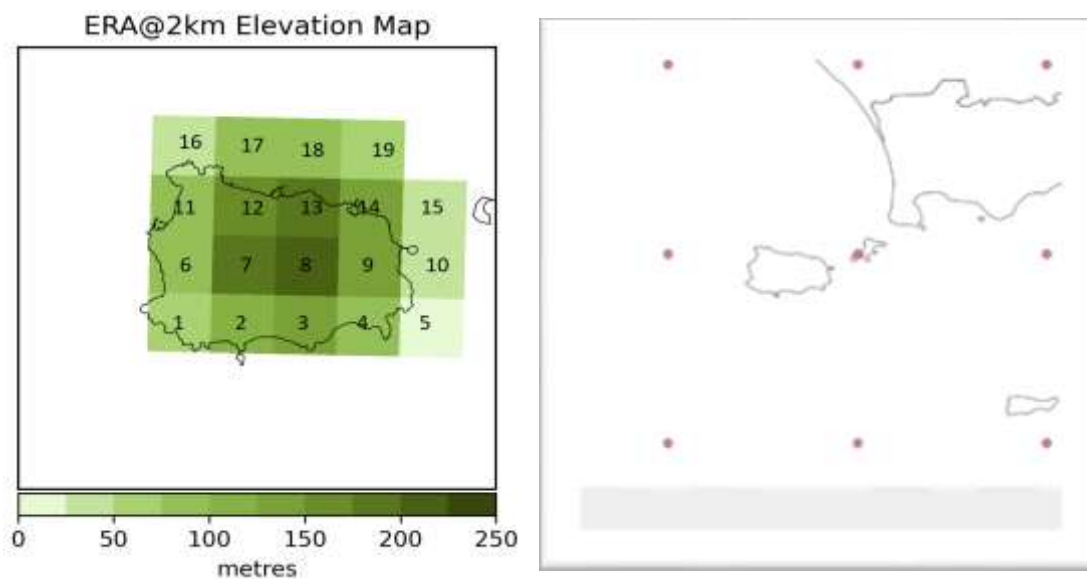


Figura 1-3: Associazione elevazione e colore-posizione per i punti della griglia ERA5@2km (sinistra) e posizione dei punti della griglia ERA5 (destra).

Sulla base di tutte queste limitazioni esistenti, ma volendo determinare se è possibile utilizzare questo prodotto per ottenere una migliore comprensione della distribuzione spaziale delle precipitazioni durante gli eventi estremi, è stata condotta un'analisi dettagliata per due eventi considerati estremi, in termini di impatto, entrambi verificatisi alla fine di novembre.

1.2 Evento del 26 novembre 2022

Il grafico seguente riporta le precipitazioni orarie osservate durante il 26 novembre 2022 utilizzando:

- Rianalisi ERA5 fornita da Copernicus;
- Rianalisi ERA5@2 km;
- Precipitazioni orarie per stazione in situ fornite dal Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile Regione Campania (localizzazione riportata in Figura 1-1).

La Figura 1-4 illustra una rilevante sottostima in entrambe le rianalisi rispetto ai dati osservati. Questa sottostima è particolarmente sorprendente nel caso della rianalisi a 2 km, che in diversi contesti geografici⁶³ ha dimostrato il suo valore aggiunto rispetto alle rianalisi a più bassa risoluzione, come ERA5, soprattutto nell'identificazione dei massimi di precipitazione oraria.

⁶³ Reder, A.; Raffa, M.; Padulano, R.; Rianna, G.; Mercogliano, P. (2022). Caratterizzazione dei valori estremi di precipitazione ad altissima risoluzione: Un esperimento su venti città europee. *Weather and Climate Extremes*, doi: 10.1016/j.wace.2022.100407

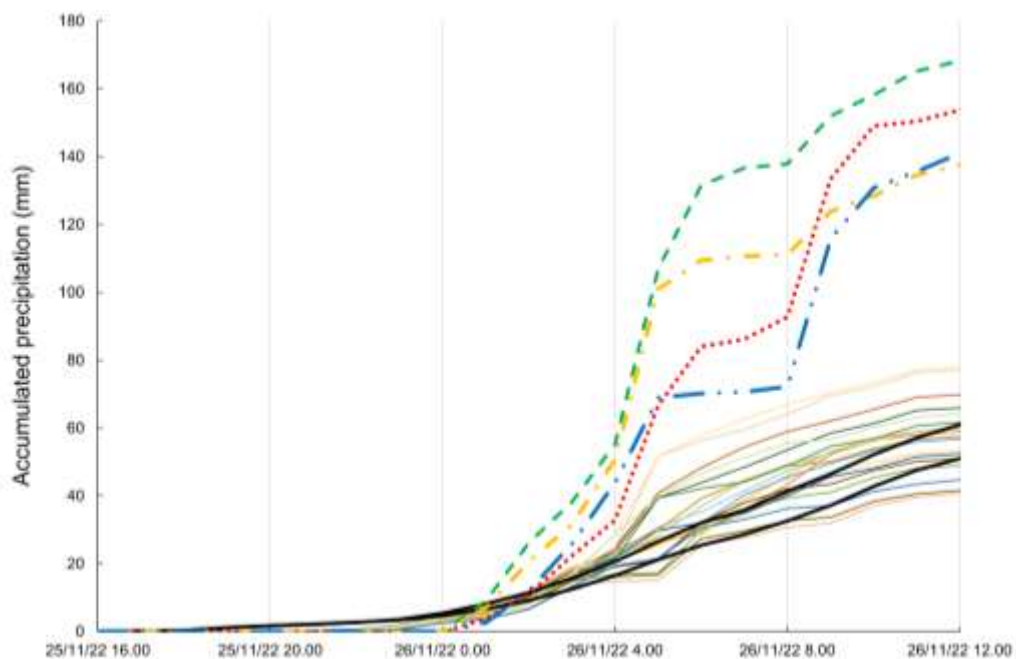
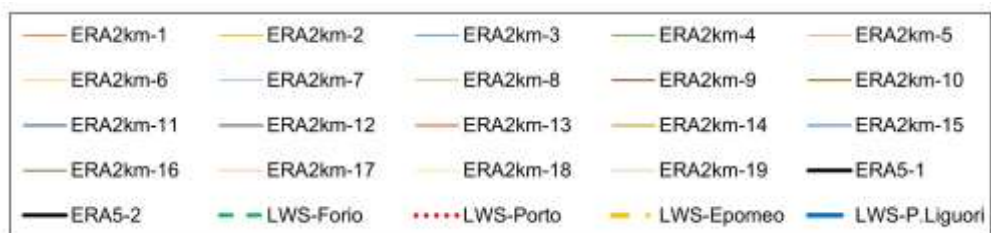


Figura 1-4: Le precipitazioni cumulate orarie di ERA5@2km sono rappresentate da linee piene. Ogni punto della griglia è numerato da 1 a 19 e a ciascuno di essi è associato un colore distinto. La corrispondenza tra la posizione e il numero è mostrata in Figura 1-3a destra. Le stazioni di precipitazione in situ sono rappresentate con linee tratteggiate e l'associazione colore-posizione è riportata nella Figura 2.1. I dati ERA5 sono rappresentati da linee nere. I dati di precipitazione oraria sono riportati fino alle 12 UTC per dare maggiore risalto all'evento avvenuto al mattino.

Per questo evento, che interessa un'area particolarmente complessa e spazialmente limitata come l'Isola di Ischia, le rianalisi, faticano a determinare con precisione i quantitativi di pioggia. La sottostima della precipitazione può essere spiegata da diversi fattori:

- Eccezionalità dell'intensità delle precipitazioni rispetto alla normale climatologia dell'area. In genere, i modelli non sono calibrati e validati a tal punto da poter riprodurre questi eventi rari; ciò può influire sulla capacità del modello di rappresentare quantità accurate.
- I risultati di precipitazione generati dai dati di rianalisi sono mediati su celle di una griglia di 2 km x 2 km, il che potrebbe portare ad abbassare il valore di un picco altamente localizzato.
- A causa della risoluzione discreta, le rianalisi faticano a replicare fedelmente le reali caratteristiche orografiche della regione. Questo porta a una significativa sottostima dei picchi della montagna e, più in generale, a una valutazione errata dell'orografia e, di conseguenza, della componente orografica nelle precipitazioni.

Nonostante questo problema di sottostima, è importante notare che, confrontando il valore della quantità giornaliera di precipitazione di ERA5@2km ottenuto per ogni punto della griglia il giorno degli eventi, con la rispettiva climatologia, l'evento appare estremo in tutta l'isola.

Il test per classificare questo evento come estremo si basa sull'evidenza che, il 26 novembre, la precipitazione giornaliera in tutti i punti della griglia di Ischia di ERA5@2km ha superato il 99° percentile della climatologia delle precipitazioni per il periodo 1981-2010. Il valore di ogni punto sulla griglia viene confrontato con la climatologia rispettiva.

Inoltre, il valore della precipitazione oraria per ERA5@2km mostra spesso valori più elevati rispetto ai punti di rianalisi della griglia ERA5. Infine, nella Figura 1-4 è evidente che la maggior parte dei punti ERA5@2km riporta valori di precipitazione di maggiore entità rispetto a quelli di ERA5. Ciò dimostra che un certo valore aggiunto è generalmente presente anche in questo evento estremo.

Infine, si nota un notevole miglioramento in termini di rappresentazione spaziale del pattern di precipitazione confrontando le mappe di precipitazione oraria delle rianalisi ERA5 e di ERA5@2km (Figura 1-5 e Figura 1-6, rispettivamente) con l'andamento temporale dell'osservazione riportato in Figura 1-4.

A proposito di questa caratteristica, si può osservare, nelle mappe in Figura 1-5 che il modello riproduce abbastanza bene la tempistica delle precipitazioni collocando il massimo delle precipitazioni nell'area di Casamicciola tra le 5 UTC e le 6 UTC del mattino, dove si sono registrati i maggiori impatti.

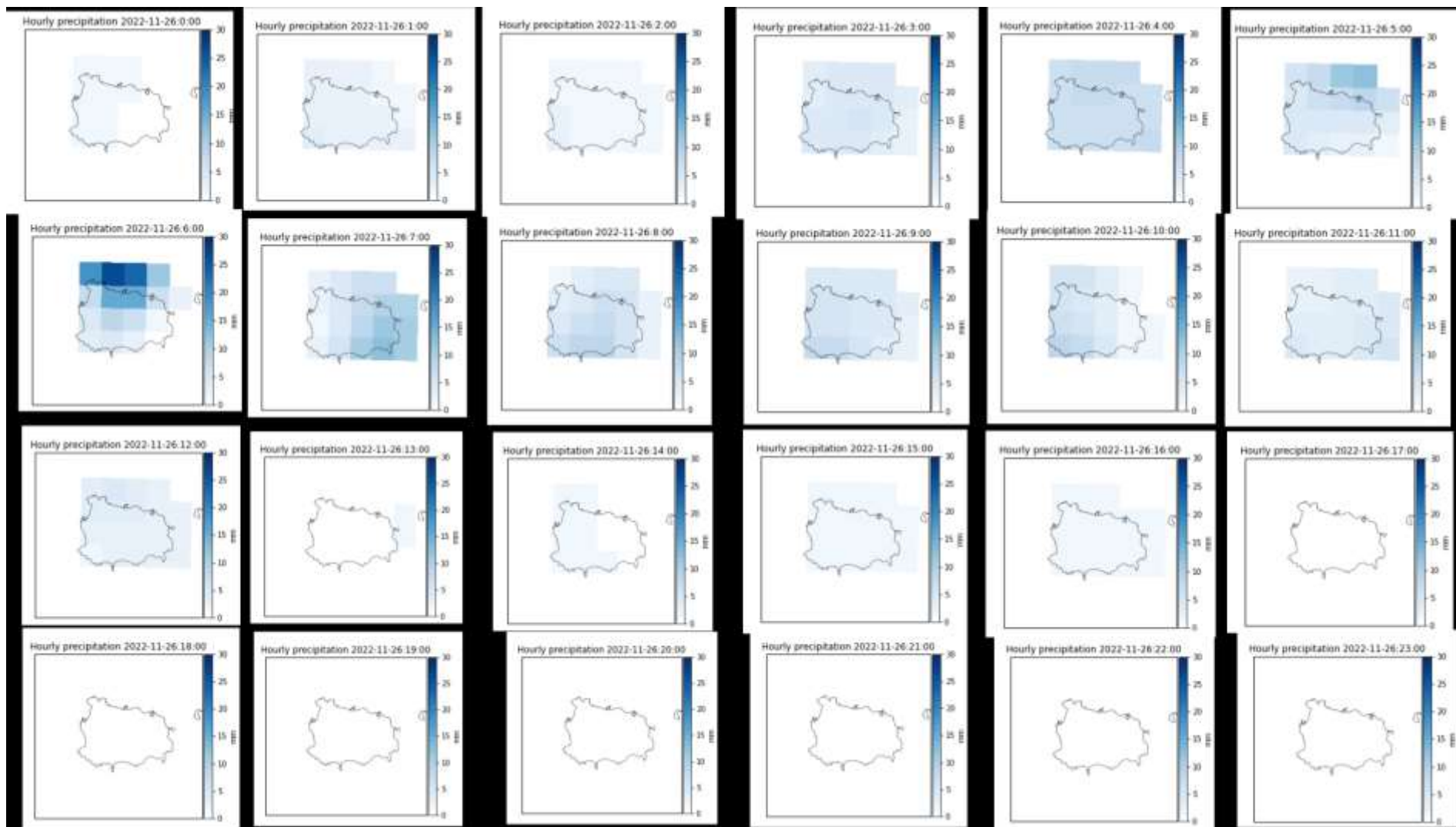


Figura 1-5: Mappa delle precipitazioni cumulate orarie con ERA5@2km-2022-11-26

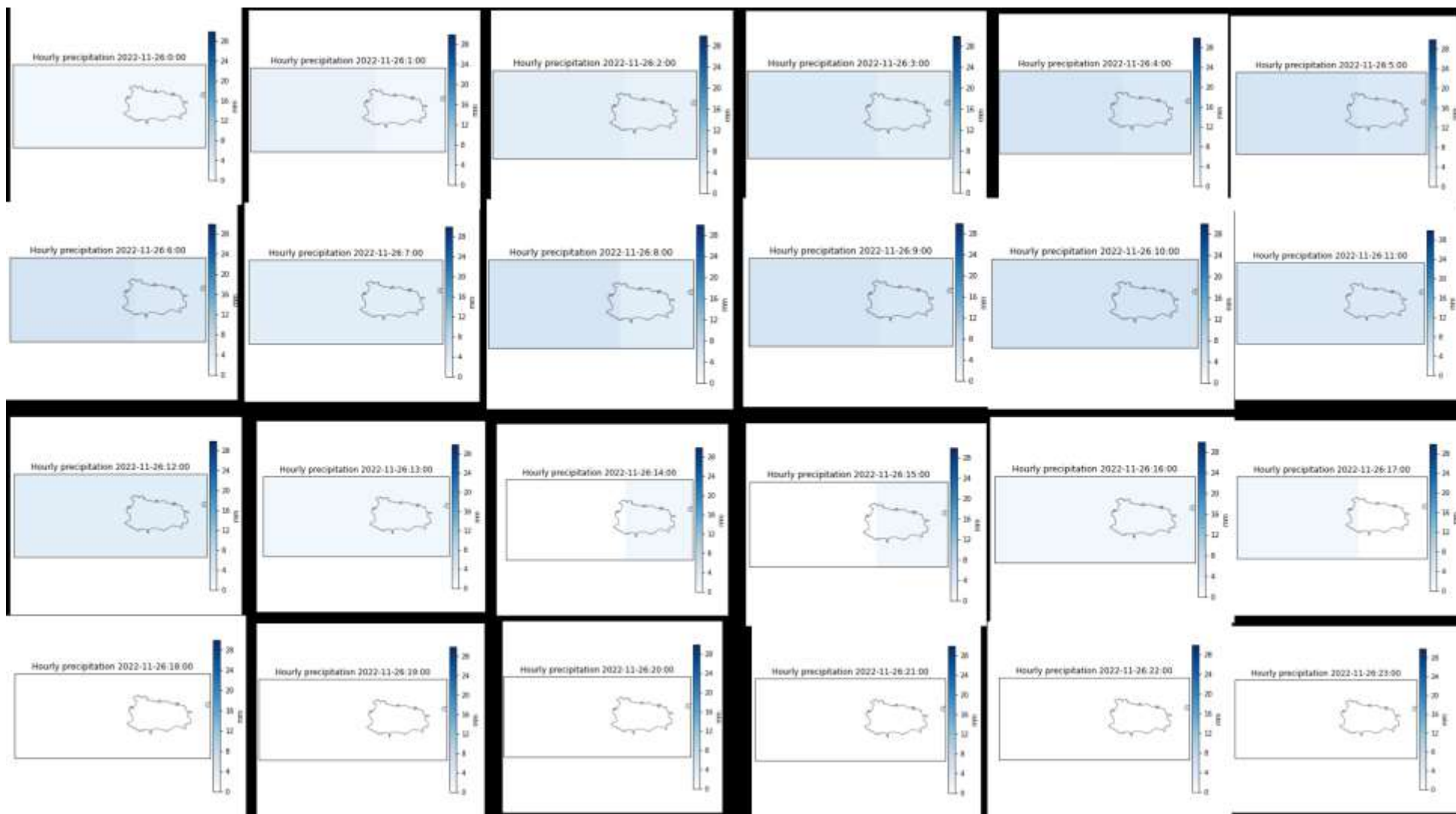


Figura 1-6: Mappa delle precipitazioni cumulate orarie con ERA5-2022-11-26

1.3 Evento del 25 novembre 2016

Questo secondo evento ha causato danni e disagi significativi sull'isola, con frane, strade allagate e disagi per i residenti. Per questo evento è stata emessa un'allerta gialla. I danni più ingenti sono stati segnalati a Lacco Ameno e Forio d'Ischia.

L'evento del 25 novembre 2016, anche se l'intensità della precipitazione oraria riportata è stata molto meno intensa rispetto al primo evento, può essere considerato un evento estremo per la climatologia della rianalisi ERA5@2km perché ogni punto della griglia ha superato il 99° percentile giornaliero della distribuzione della precipitazione giornaliera nel periodo 1981-2010.

In questo caso il picco di precipitazione e il tempo sono abbastanza ben rappresentati rispetto ai pattern orari delle 4 stazioni *in situ* (Figura 1-17). La distribuzione spaziale delle precipitazioni orarie è riportata nelle figure successive (Figura 1-8 e Figura 1-9).

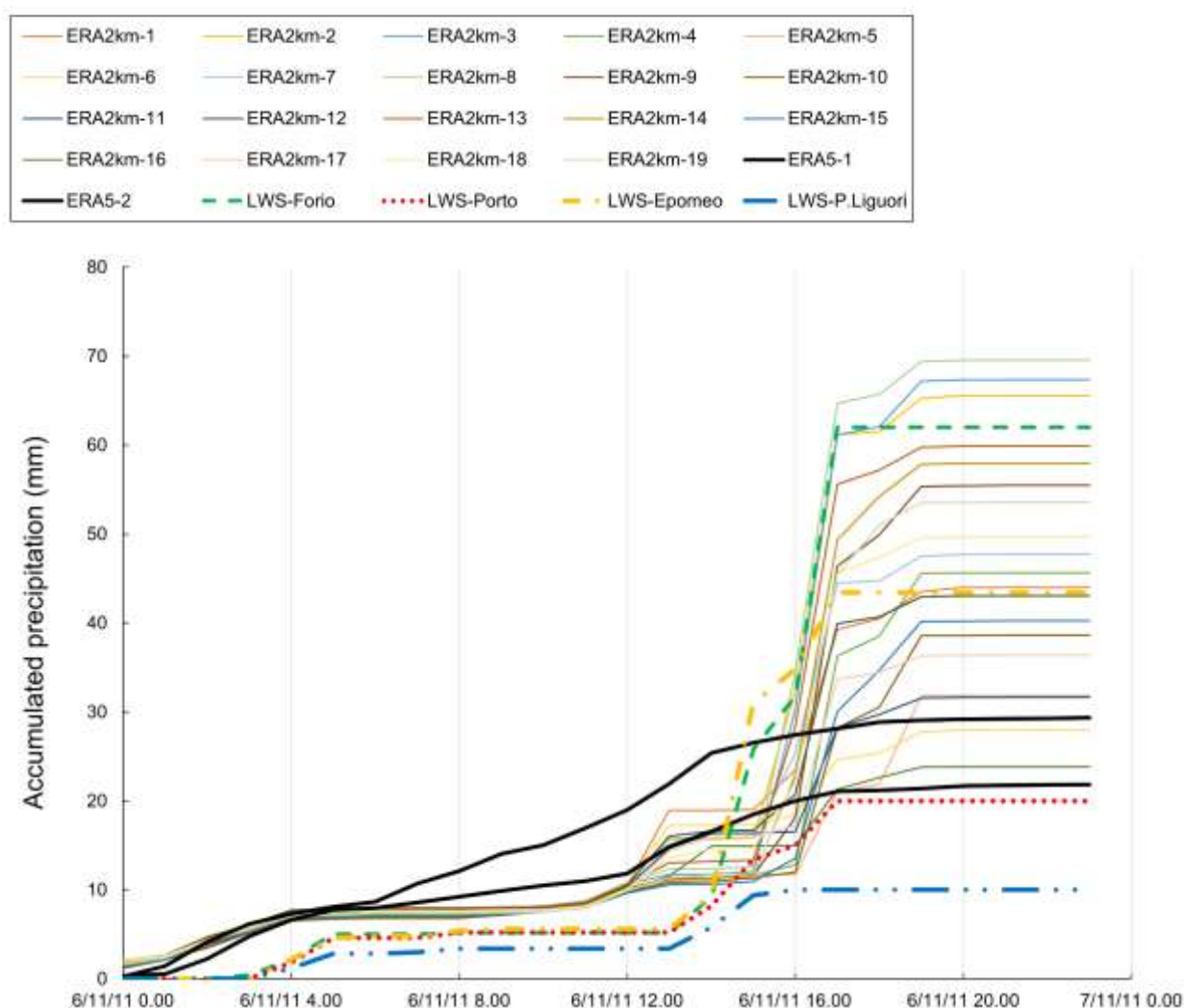


Figura 1-7: Le precipitazioni cumulate orarie di ERA5@2km sono rappresentate da linee solide. Ogni punto della griglia è numerato da 1 a 19 e a ciascuno di essi è associato un colore distinto. La corrispondenza tra la posizione e il numero è mostrata nella Figura 3. Le stazioni di precipitazione *in situ* sono rappresentate con linee tratteggiate e l'associazione colore-posizione è riportata in Figura 2. I dati ERA5 sono rappresentati da linee nere.

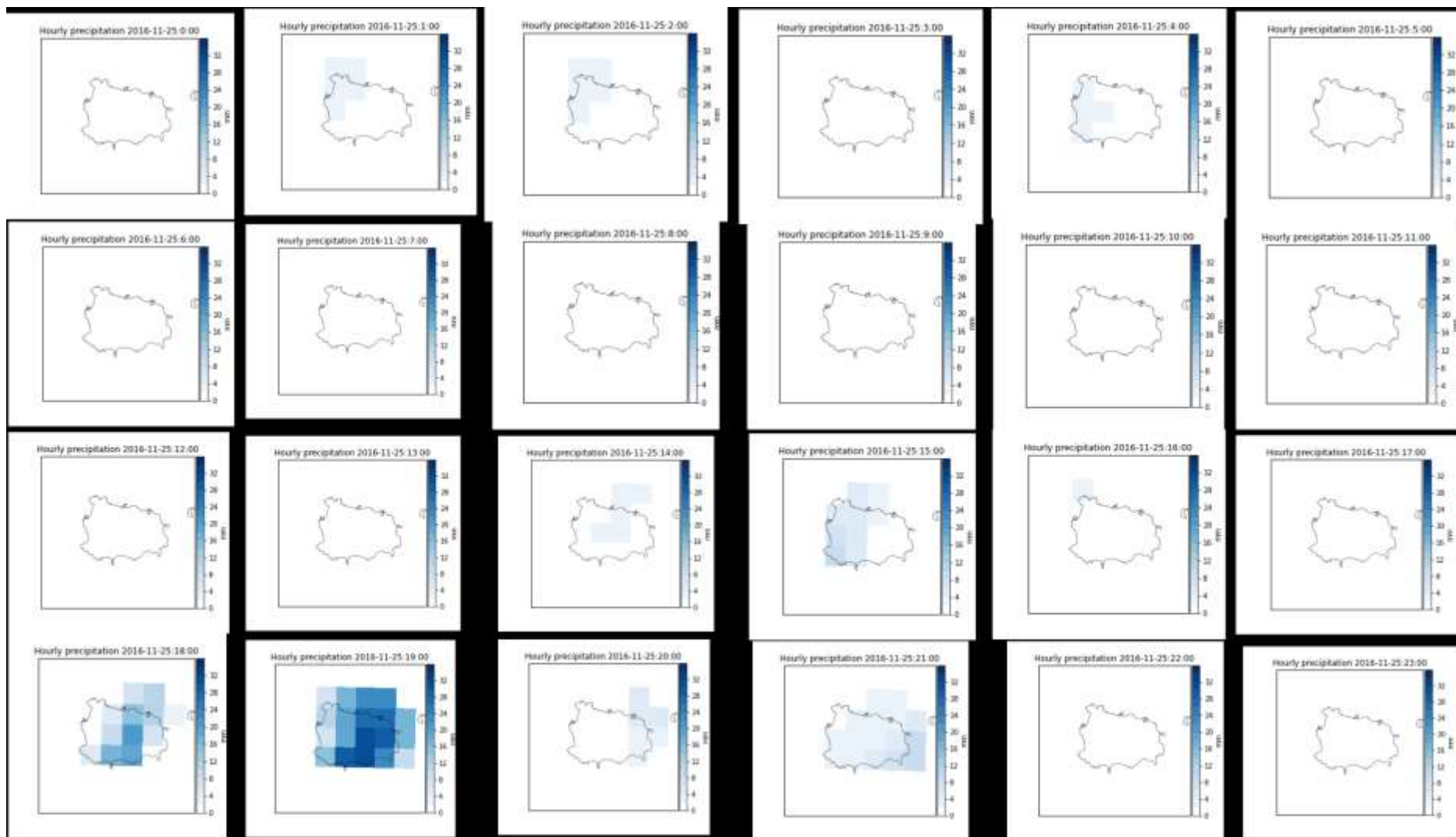


Figura 1-8: Precipitazioni cumulative orarie con ERA5@2km-2016-11-25

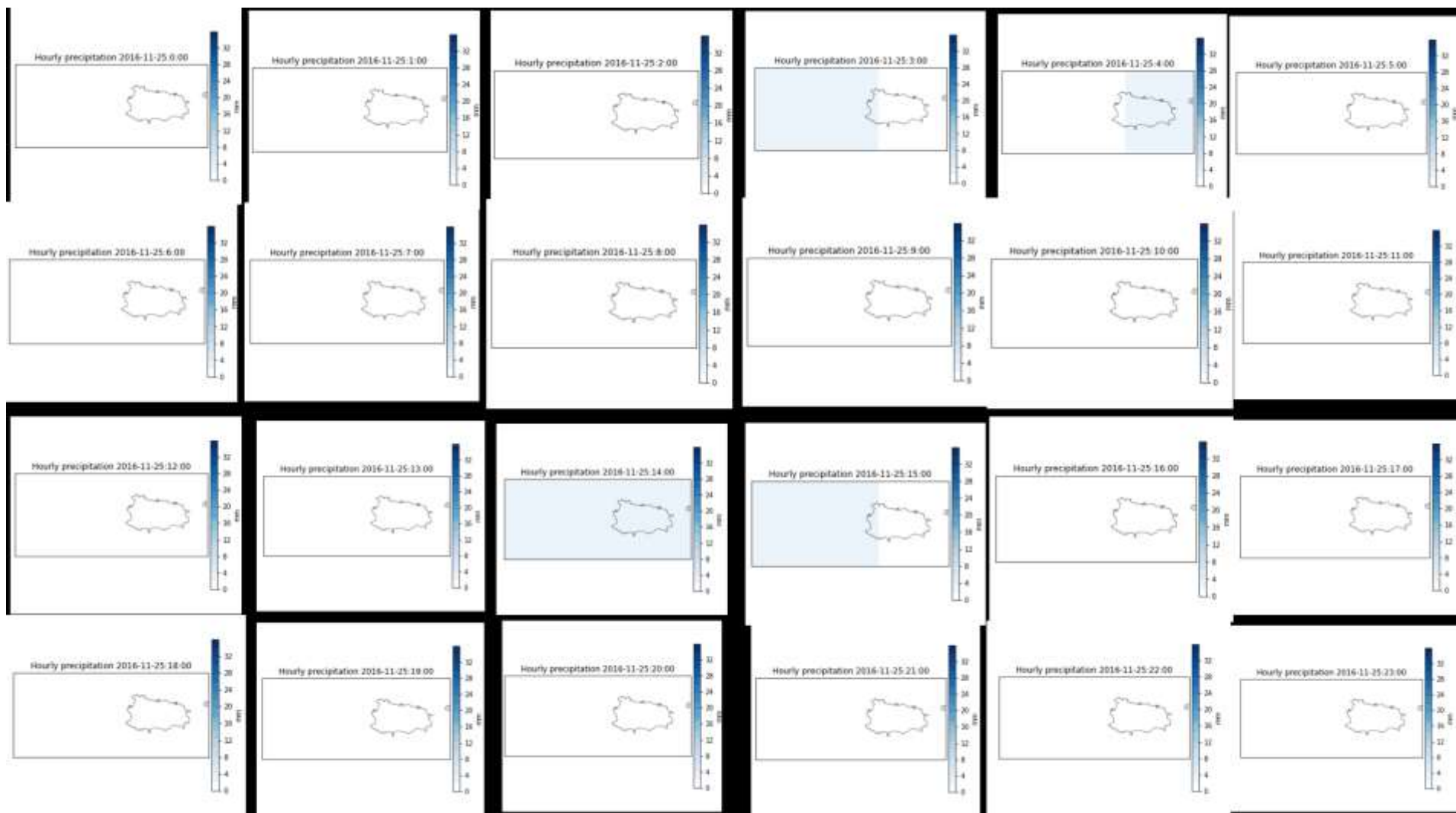


Figura 1-9: Precipitazioni cumulative orarie con ERA5-2011-11-25

1.4 Conclusioni

In generale, l'analisi di questi due eventi ha sottolineato le difficili sfide nella riproduzione di eventi precipitativi estremi sull'Isola di Ischia. Queste difficoltà persistono anche quando si utilizzano strumenti innovativi, come le rianalisi ad altissima risoluzione, che hanno dimostrato di avere successo in vari contesti. Questa complessità può essere in gran parte attribuita alle caratteristiche geografiche distintive dell'area.

Tuttavia, anche all'interno di questa regione complessa, il miglioramento della risoluzione spaziale delle rianalisi permette di identificare meglio le dinamiche degli eventi estremi rispetto ad altre rianalisi a bassa risoluzione. Tuttavia, questo risultato iniziale merita un'ulteriore convalida attraverso un'analisi completa che comprenda vari eventi.

Per quanto riguarda l'analisi di questi due eventi di precipitazione, è importante notare che lo studio è significativamente vincolato dalla limitata disponibilità di osservazioni a diverse quote e, soprattutto nel primo caso, dalla mancanza di dati provenienti dall'area più colpita dalle forti precipitazioni.

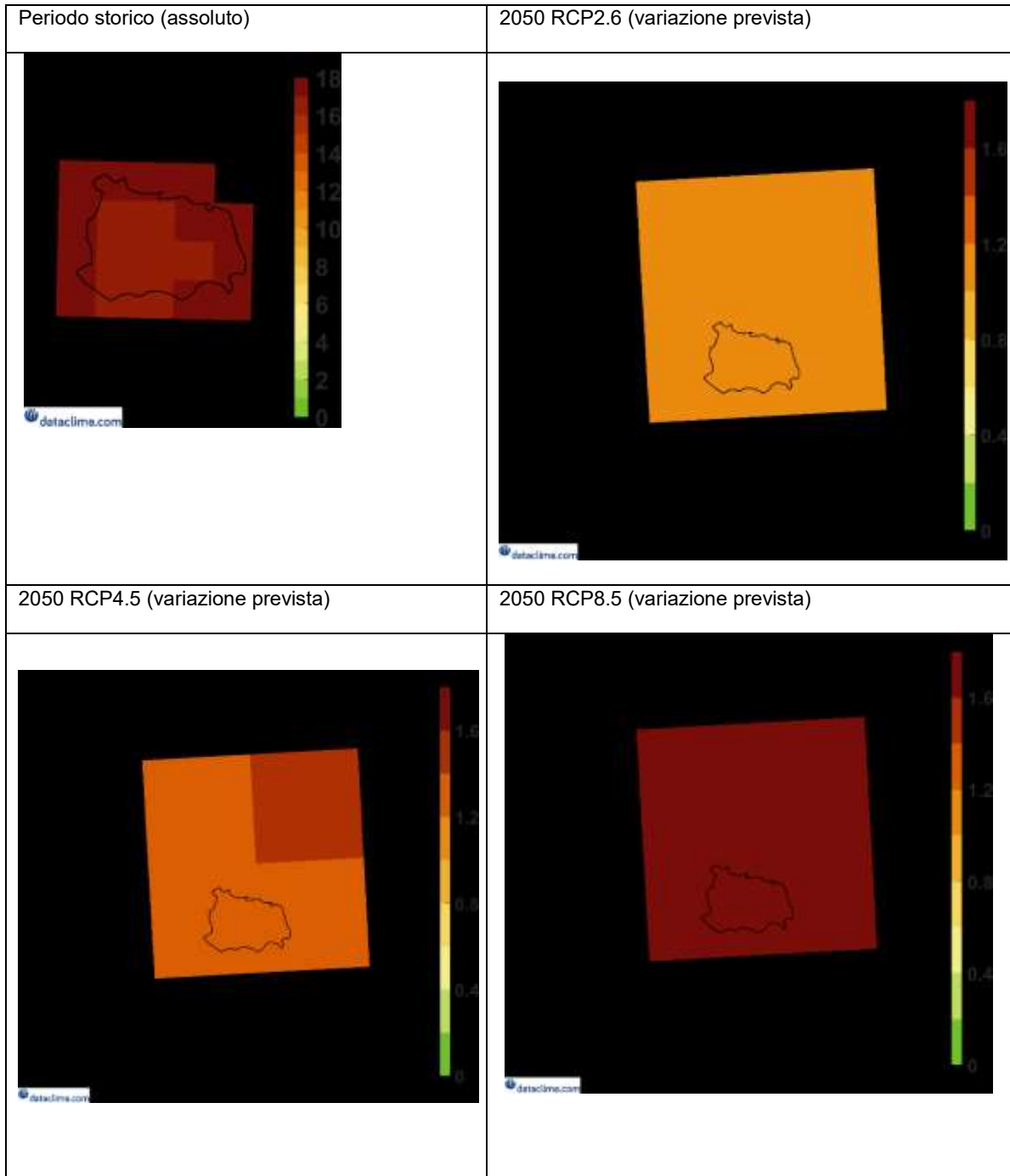
Per migliorare le prestazioni dei modelli numerici nella riproduzione dei modelli spaziali di precipitazione, si possono considerare diversi potenziali miglioramenti. Innanzitutto, è fondamentale ampliare la disponibilità di dati di monitoraggio meteorologico. Tali dati possono non solo migliorare le attuali rianalisi attraverso l'assimilazione di dati ad alta risoluzione, ma anche contribuire a ridurre le distorsioni dei modelli. Inoltre, la disponibilità di dati può avere un impatto positivo sul miglioramento dell'accuratezza delle previsioni meteorologiche.

È essenziale sottolineare che le osservazioni efficaci devono essere uniformemente distribuite nello spazio (comprendendo stazioni *in situ*, dati satellitari e dati radar) e comprendere il monitoraggio di diverse variabili atmosferiche.

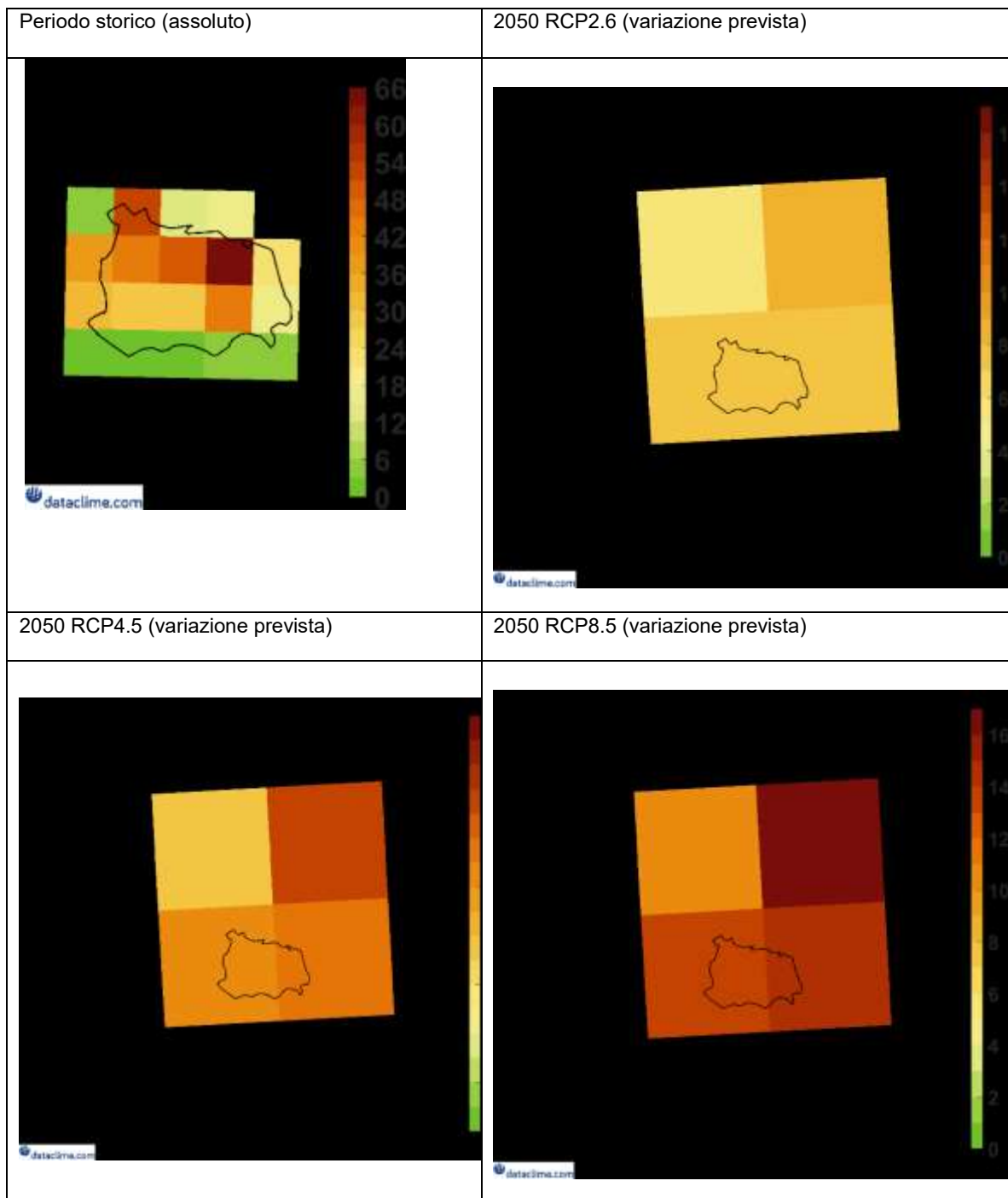
2 Mappe Climatiche

2.1 Temperatura

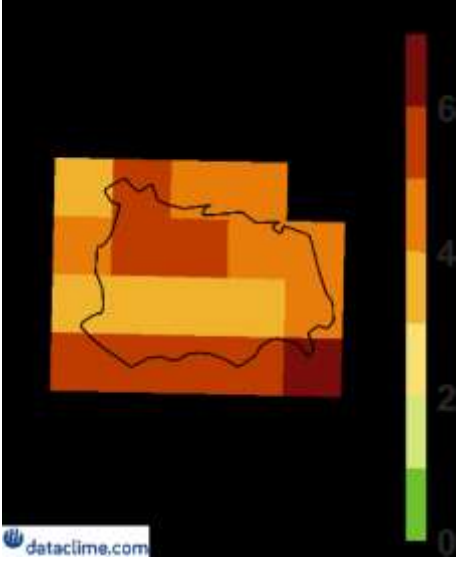
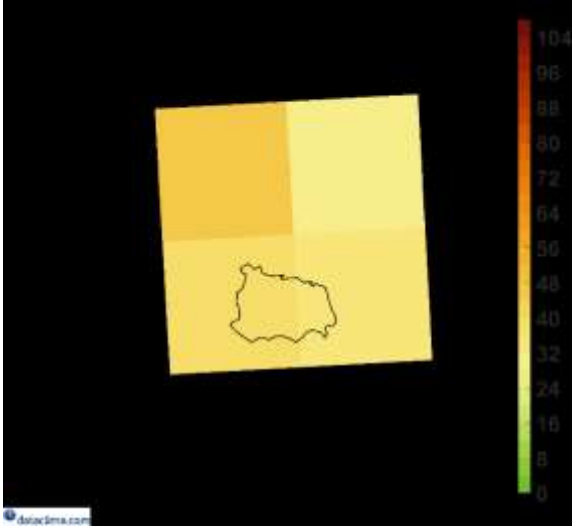


Temperatura media (°C)

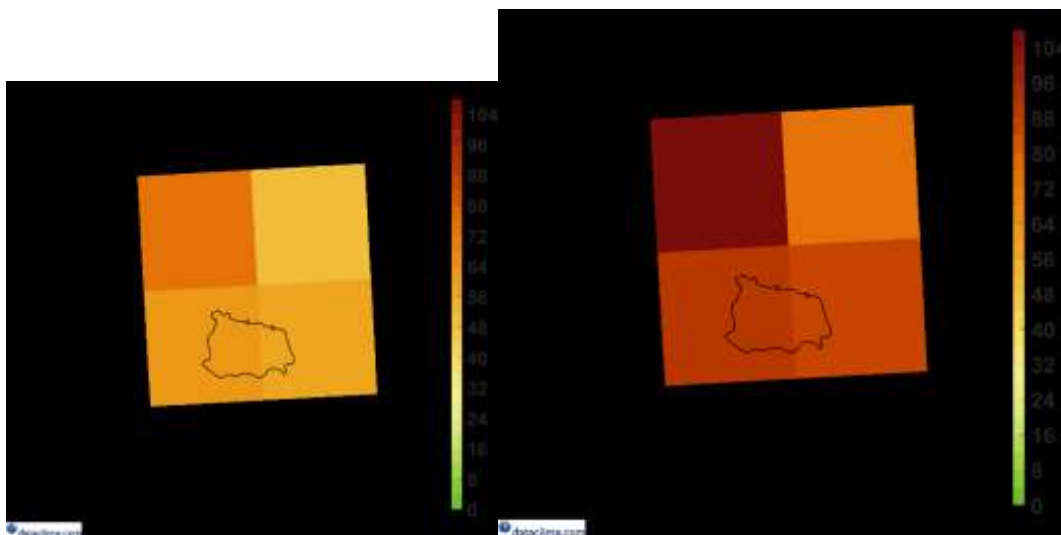


Giorni estivi

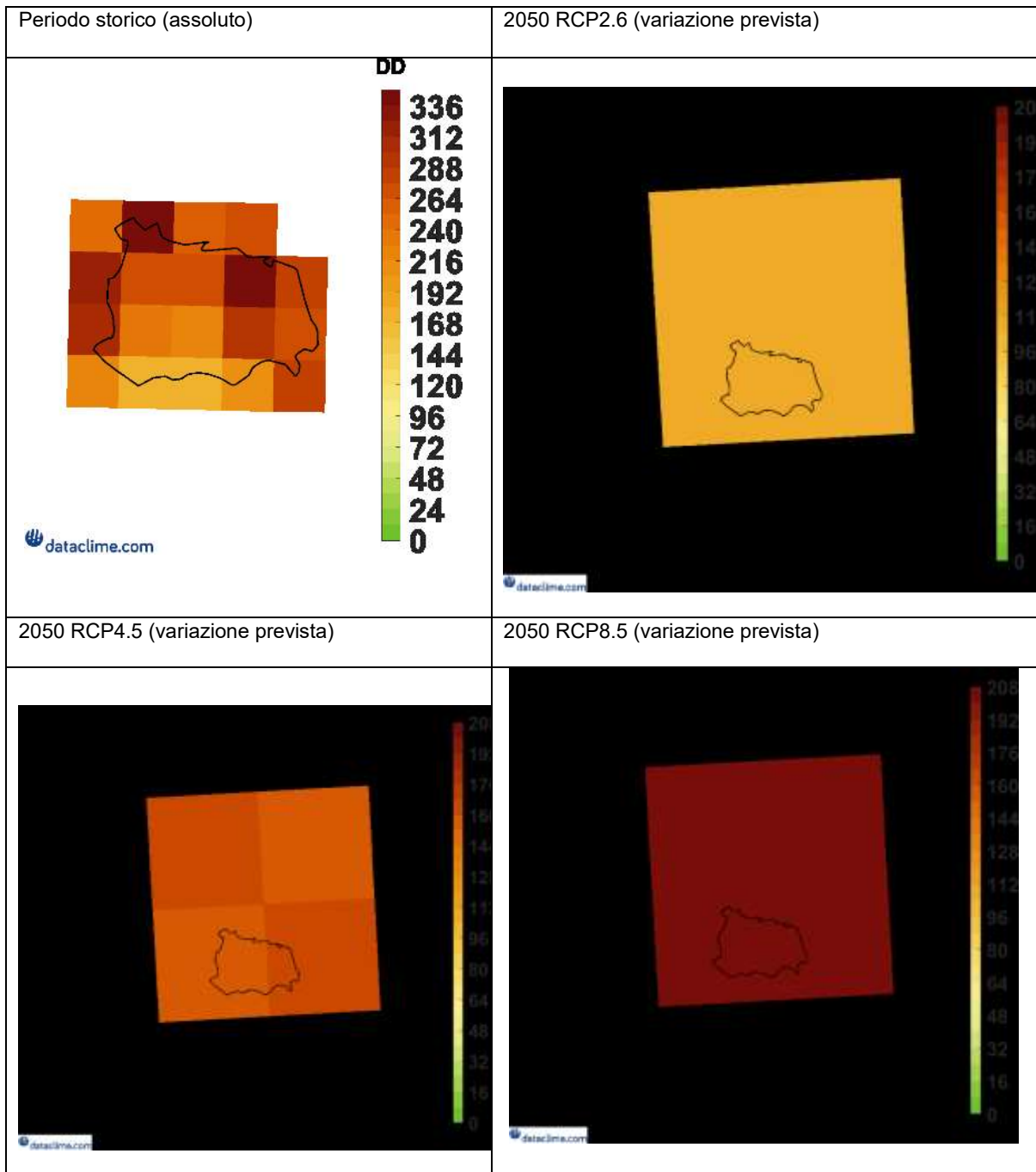


Warm Spell Duration Index (giorni)

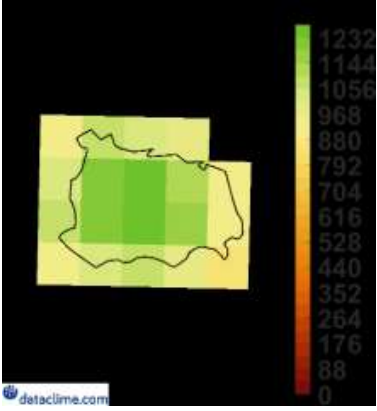
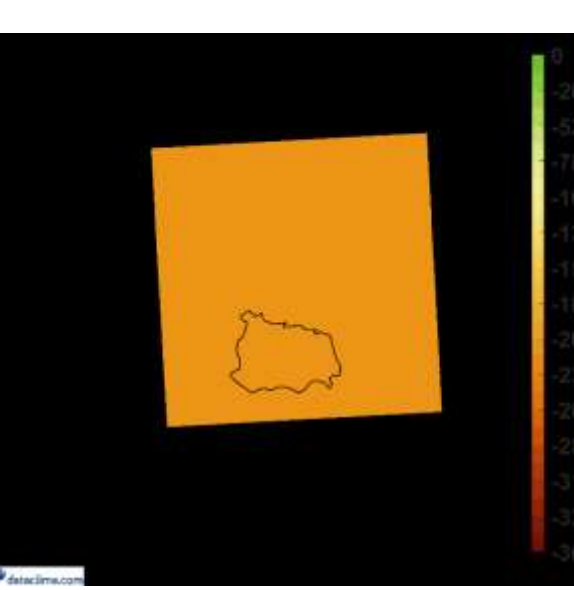
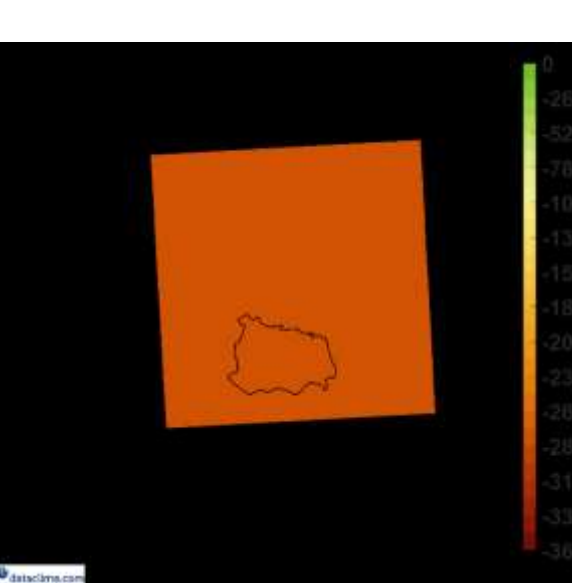
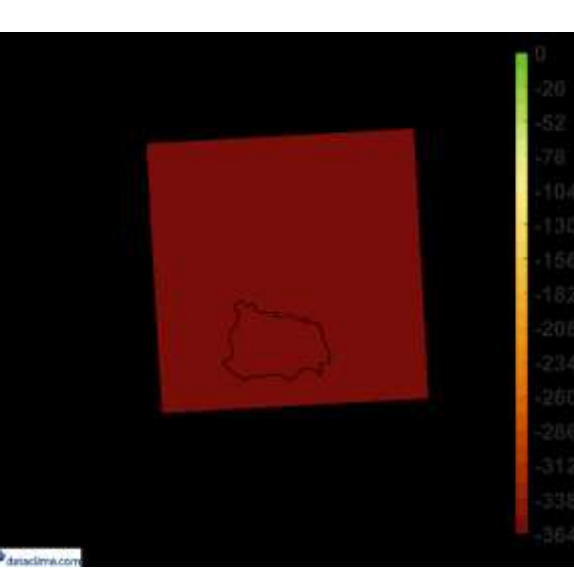
Periodo storico (assoluto)	2050 RCP2.6 (variazione prevista)
	
2050 RCP4.5 (variazione prevista)	2050 RCP8.5 (variazione prevista)
	



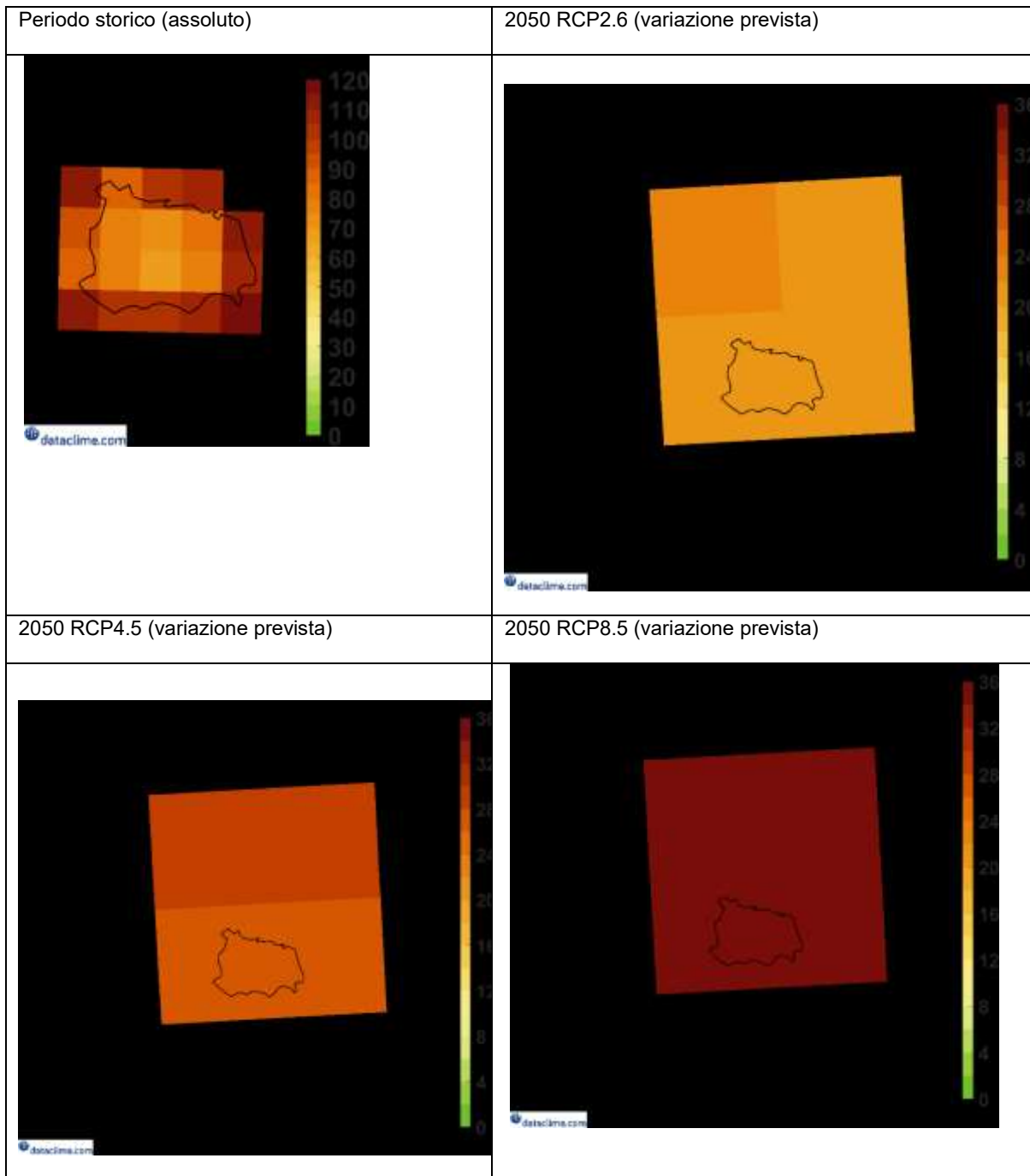
Gradi giorno di raffreddamento (DD)



Gradi giorno di riscaldamento (DD)

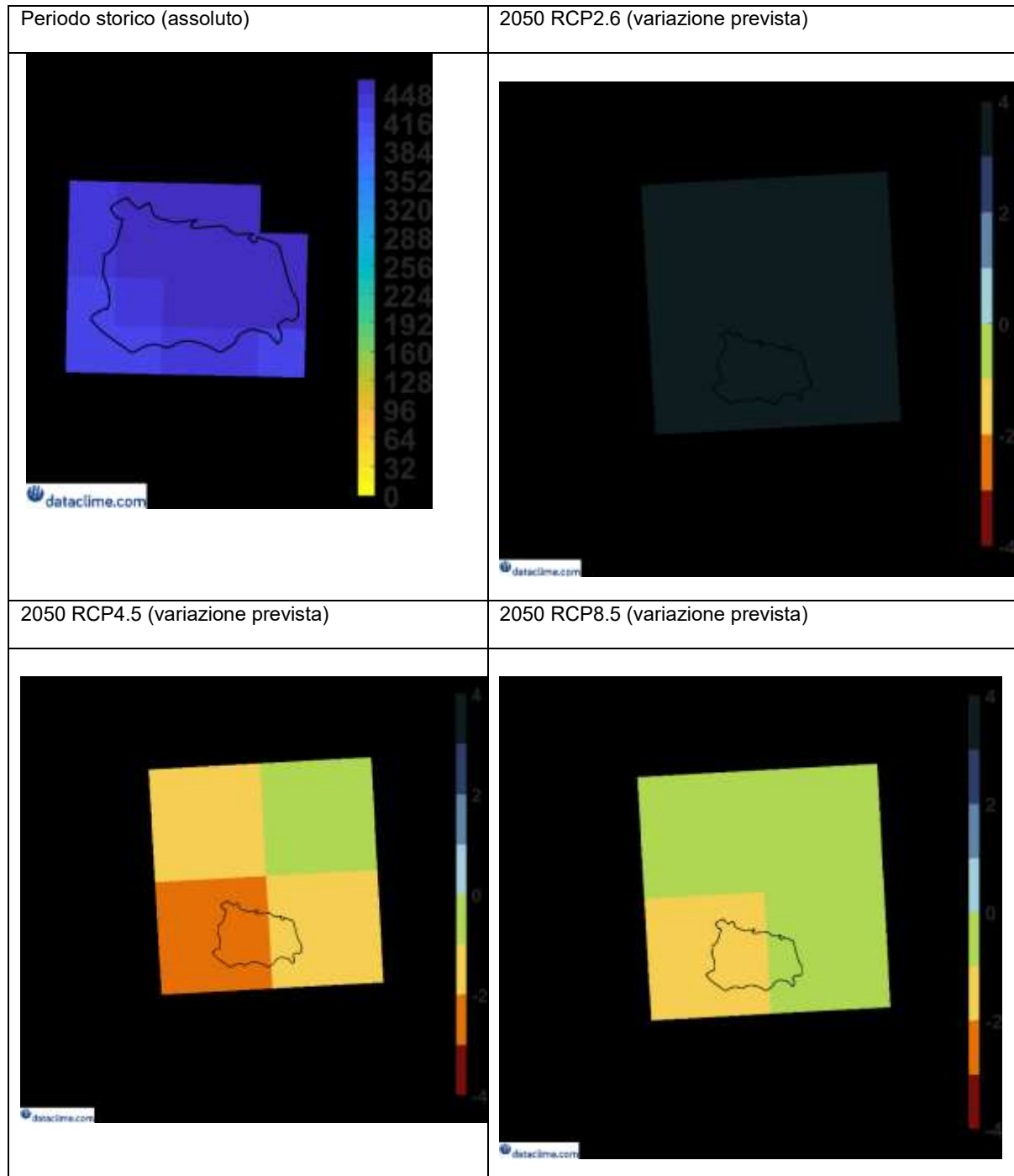
Periodo storico (assoluto)	2050 RCP2.6 (variazione prevista)
	
2050 RCP4.5 (variazione prevista)	2050 RCP8.5 (variazione prevista)
	

Notti tropicali (giorni)

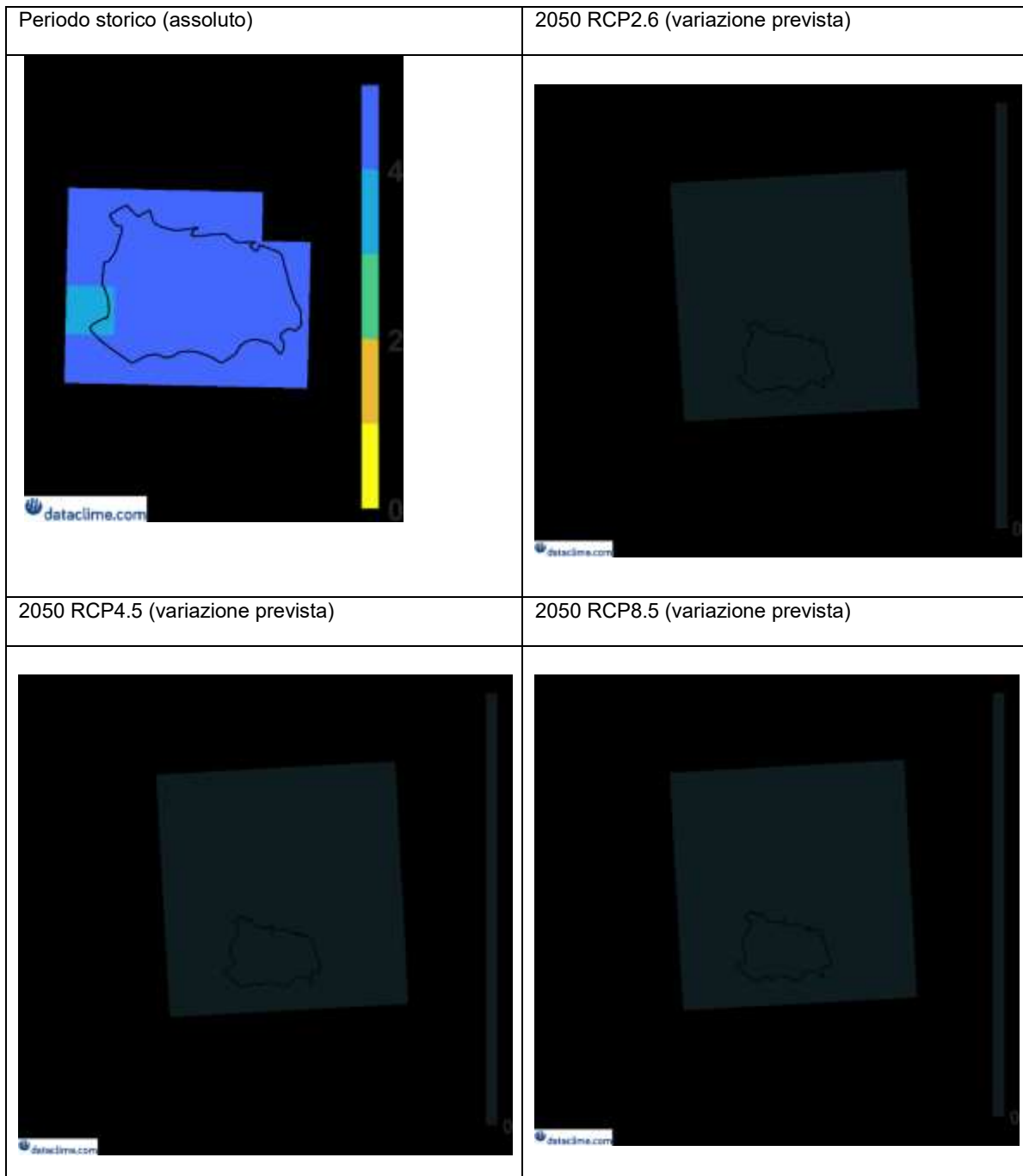


2.2 Precipitazioni

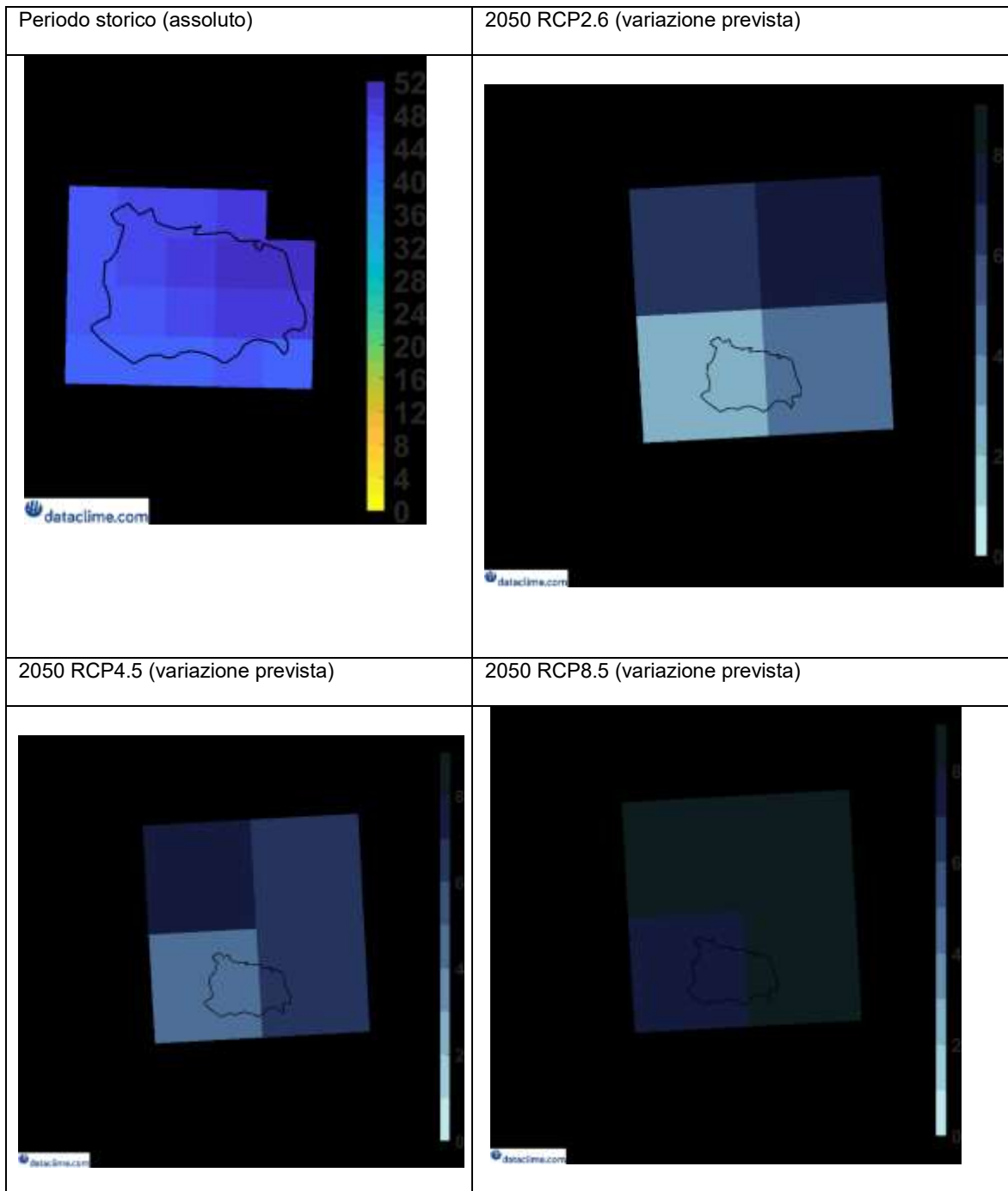
Precipitazioni medie nei giorni di pioggia (mm)



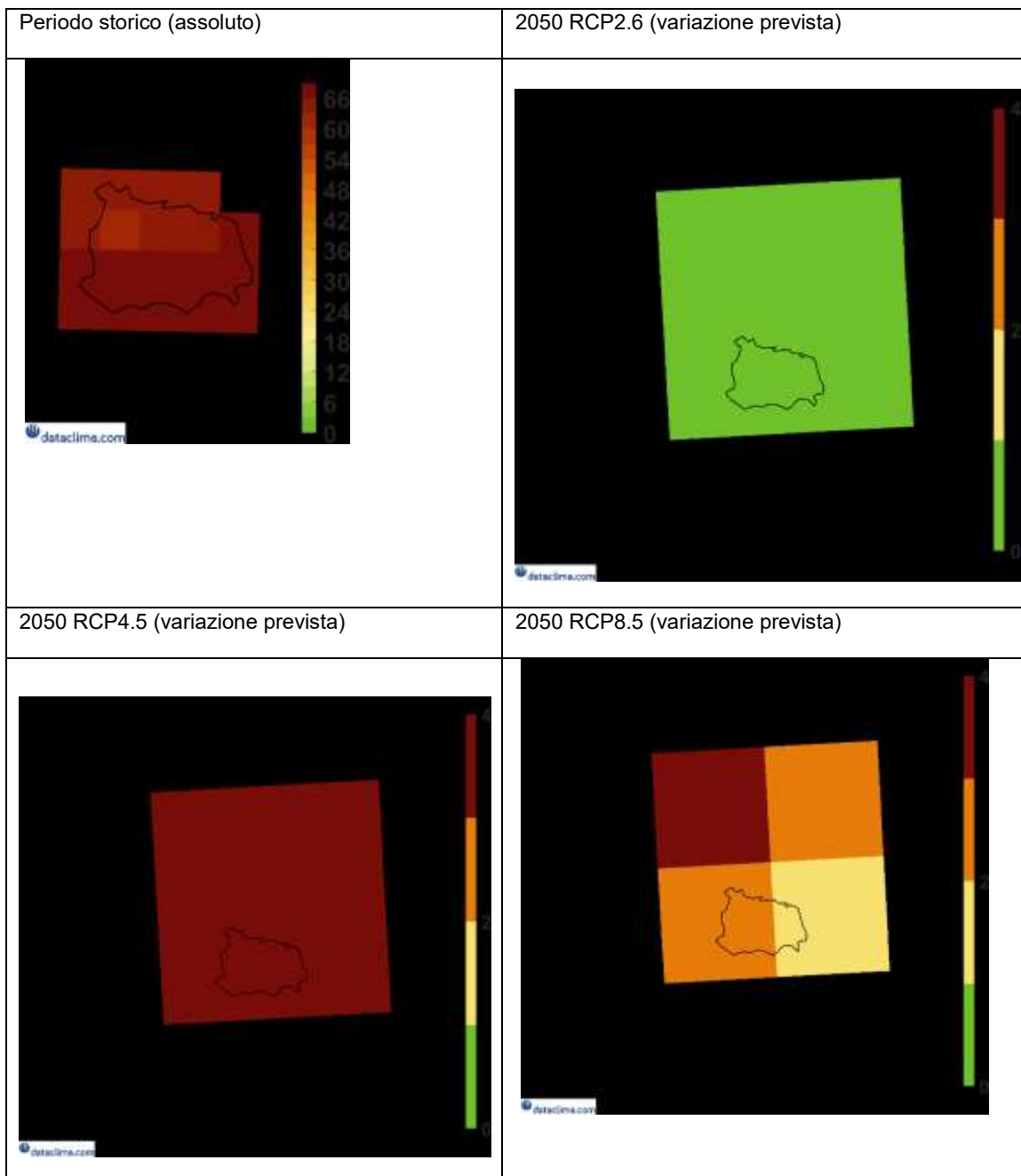
Giorni di precipitazioni molto intense (giorni)



Precipitazioni massime in un 1 giorno (mm/giorno)

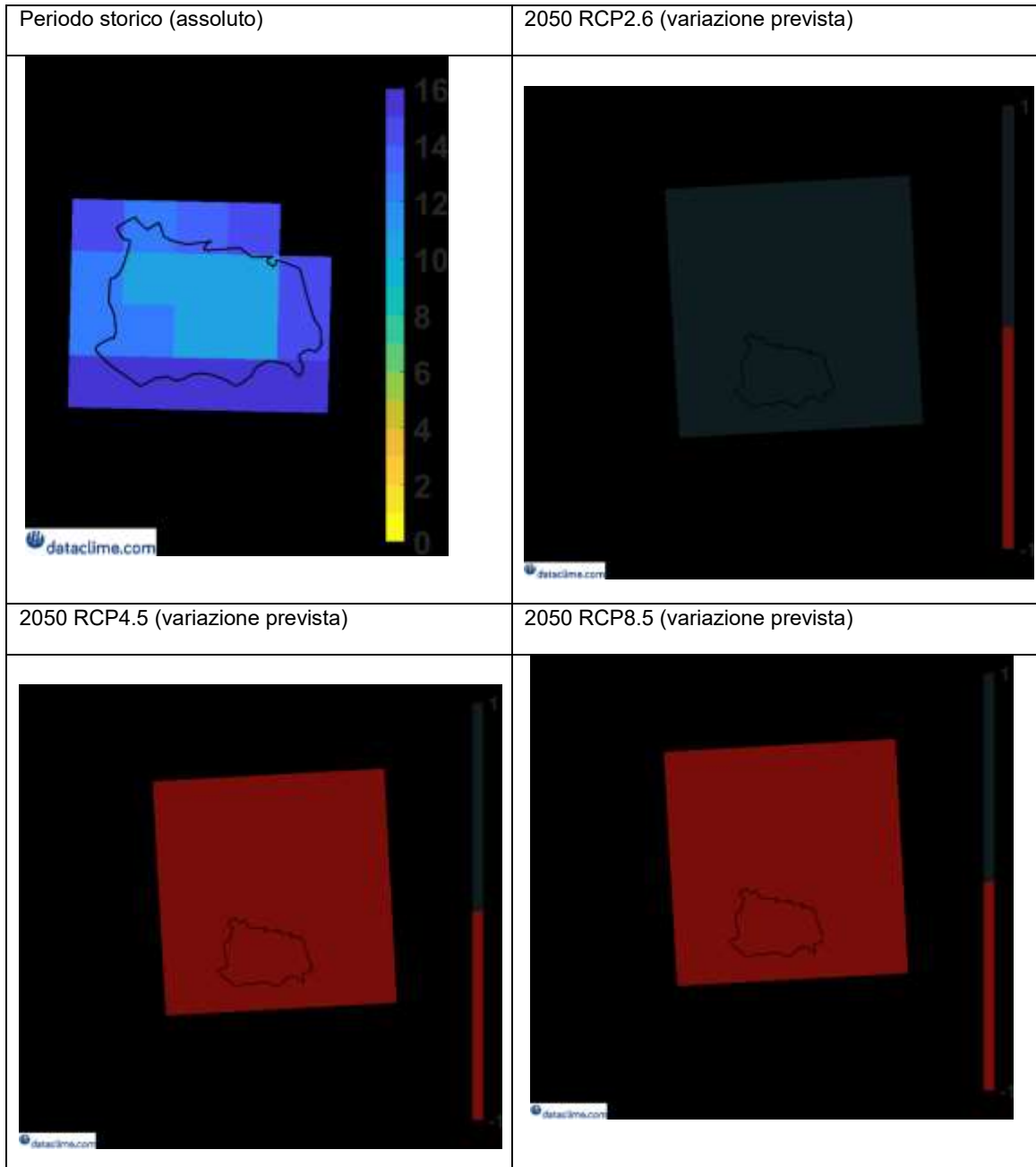


Giorni secchi consecutivi (giorni)



2.3 Vento

Velocità estrema del vento (m/s)



3 Valutazione dell'evento disastroso del 26 novembre 2022

Durante la prima missione in sito (3 - 5 maggio 2023), il Consulente ha avuto l'opportunità di visitare l'area che è stata pesantemente colpita da un evento disastroso il 20 novembre 2022. Questo sopralluogo ha fornito importanti indicazioni sul meccanismo in atto e sulle caratteristiche degli eventi franosi estremi a Ischia. Di seguito, viene documentata in dettaglio la valutazione durante e subito dopo il sopralluogo. Tuttavia, va ricordato che nel frattempo sono stati pubblicati due articoli scientifici che tracciano un quadro più dettagliato, ma simile, dell'evento.

3.1 Documentazione

Il 26 novembre, 2022, alle ore 05:00 circa, si è verificato nel Comune di Casamicciola, sull'Isola di Ischia, un evento disastroso di trasporto di massa gravitativo (TMG) (cioè una combinazione di caduta di massi, frana e colate detritiche). Lungo il suo percorso, l'evento ha causato ingenti danni a edifici, strade, automobili, terreni e, purtroppo, la tragica scomparsa di 12 persone, tra cui 4 bambini. Nel suo percorso, l'evento ha colpito abitazioni situate in via Celario, proseguendo il suo corso lungo piazza Maio, piazza Bagni e via Monte della Misericordia, arrivando infine fino al mare nei pressi del cosiddetto "Monumento dell'Ancora" (Struttura Commissariale, 2023).

Nelle ore precedenti l'evento si verificarono sull'Isola di Ischia precipitazioni estreme che portarono al distacco di diverse porzioni del crinale del Monte Epomeo (Strutt. Comm., 2023). La Figura 3-1 fornisce una panoramica di diverse località in cui si sono verificati TMG e alluvioni durante l'evento pluviometrico estremo. Si sono verificati diversi distacchi di materiale, mentre uno di questi è caduto per diverse decine di metri e ha innescato una frana detritica all'interno dei terreni piroclastici completamente intrisi d'acqua situati nelle aree ripide immediatamente sottostanti. Questa frana si è spostata più in basso, portando infine all'evento disastroso principale (Strutt. Comm., 2023). In totale, sono stati mobilitati circa 50.000 m³ di materiale solido.

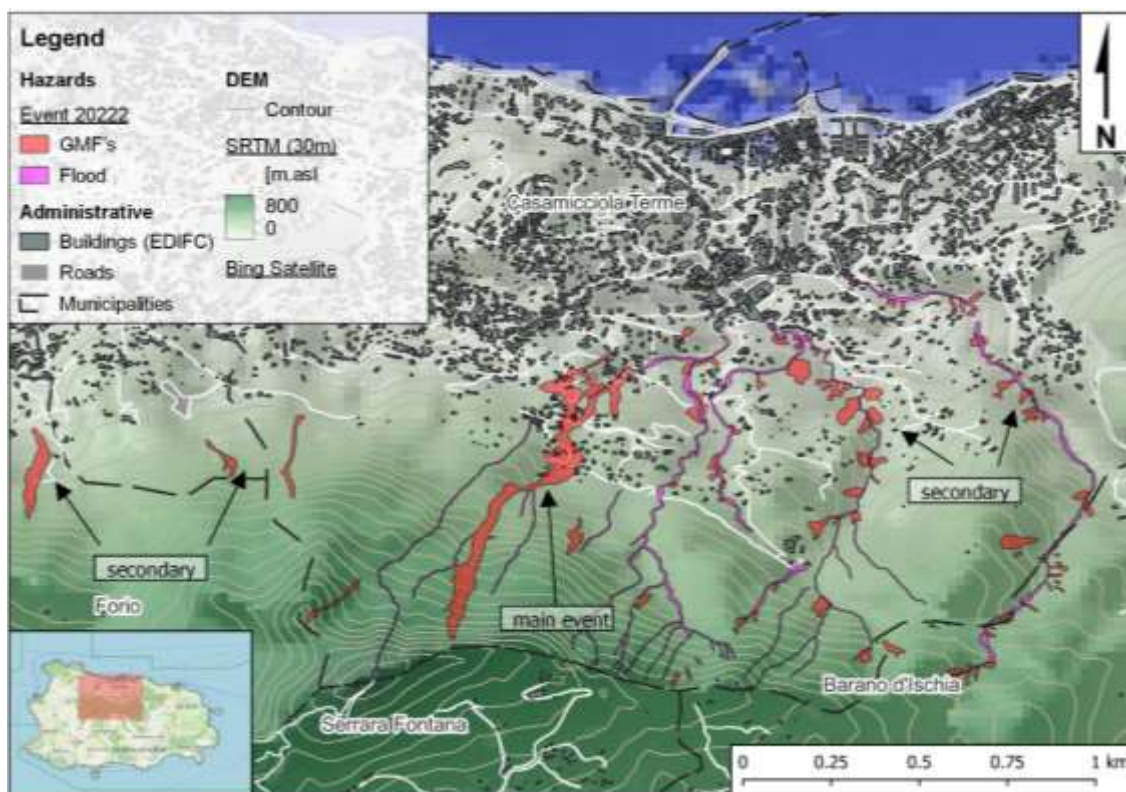


Figura 3-1 Mappa generale dei principali eventi disastrosi e secondari verificatisi il 26 novembre 2022. (Fonti di dati GIS per la mappatura degli eventi e delle infrastrutture: Strutt. Comm., 2023)

La Figura 3-2 mostra due immagini satellitari di Casamicciola prima (23 Nov.) e dopo il disastro (1 Dic. 2022). Anche in queste immagini a bassa risoluzione, è possibile vedere il percorso principale del flusso dell'evento principale (confrontare l'area grigia con quella rossa). Inoltre, l'acqua nel porto è intorbidita dai sedimenti entrati dopo l'evento (rettangolo rosso). Le immagini satellitari sono state ottenute da Sentinelhub.



Figura 3-2 Immagini satellitari Sentinel-2 di Casamicciola riprese il 23 Nov. (a sinistra) e il 1 Dic. 2022 (a destra); fonte: Sentinelhub

In sintesi, l'evento disastroso principale è stato un movimento di massa idrogeologico a cascata che ha comportato una caduta di massi/roccia che si è trasformata in una frana e in una colata detritica, sfociando infine in un'alluvione torrenziale fangosa verso il centro della città. Questi eventi complessi sono per lo più innescati da un evento pluviometrico estremo, mentre i fattori scatenanti sono di origine morfologica, geologica e sismica. Le condizioni di innesco di queste frane iniziali sembrano essere attribuibili a fenomeni di infiltrazione, deflusso sub-superficiale (throughflow) ed erosione che si verificano nel sottile strato di terreno. Inoltre, le precipitazioni antecedenti giocano un ruolo importante nello sviluppo di trasporti di massa gravitativi nei suoli piroclastici (Uzielli et. al., 2018). L'analisi delle precipitazioni effettive è discussa nel capitolo 3.2 di questa appendice. Il contesto morfologico, geologico e sismico è descritto nel capitolo principale della relazione 1.4.

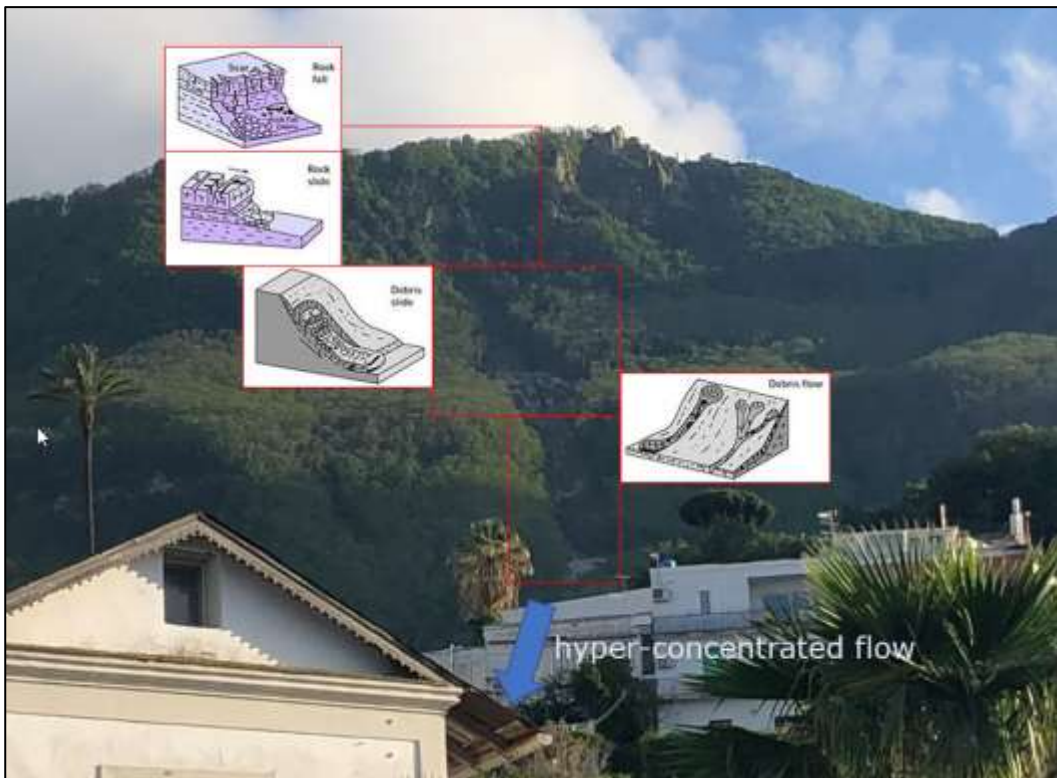


Figura 3-3 Documentazione dalla missione: analisi dei processi relativi all'evento a cascata (data della foto: 05/12/2023)

In dettaglio, una frana di materiali solidi con uno spessore di poche decine di centimetri ha innescato lo spostamento di un'enorme quantità di materiale. La frana si è staccata dalla montagna con un flusso rapido (circa 10-15 m³/s). Si è mossa sotto forma di una vera e propria valanga di sedimenti e alberi nei tratti a monte (Figura 3-4, Figura 3-5) trasformandosi in una colata detritica nel canale di scorrimento esistente. Il rapido scivolamento nella sezione a monte è stato rallentato da una piccola area pianeggiante con minore pendenza. In quest'area si sono depositati circa 40.000 m³ di materiale, con conseguenti ingenti danni alle infrastrutture esistenti. Alla fine, i detriti si sono trasformati in un flusso iperconcentrato di acqua mista ad alte concentrazioni di materiali fini nelle valli e pianure centrali (Figura 3-6, Figura 3-7). Le seguenti immagini sono state scattate durante la visita in sito (dal 10 al 12 maggio 2023).



Figura 3-4 Documentazione dalla missione: sezioni a monte (data della foto: 05/10/2023)



Figura 3-5 Documentazione dalla missione: area di pianura - vista a valle (data della foto: 05/10/2023)



Figura 3-6. Documentazione dalla missione: vista a monte della zona di pianura (data della foto: 05/10/2023).

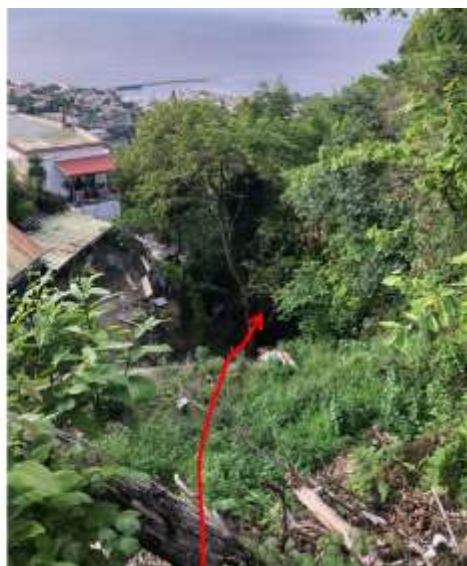


Figura 3-7 Documentazione dalla missione: vista a valle del percorso del flusso iperconcentrato (data della foto: 05/10/2023)

3.2 Evento di precipitazione scatenante

Sull'isola di Ischia esistono quattro stazioni pluviometriche (Monte Epomeo, Forio, Piano Liguori e Ischia). Una panoramica dettagliata delle località è visibile in Figura 1-15. Le quattro stazioni sono state in funzione prima dell'evento e le osservazioni sono state valutate da (Strutt. Comm., 2023).

La Figura 3-7 mostra le curve di probabilità di durata delle precipitazioni regionali e il confronto delle precipitazioni cumulative osservate che innescano l'evento disastroso. Le curve di probabilità pluviometrica regionale sono fornite per diversi periodi di ritorno (cioè $T=20, 50, 100, 200, 500$ anni). La figura mostra che la stazione di Forio ha ricevuto la quantità maggiore di precipitazioni, mentre Piano Liguori ha ricevuto in totale la quantità minore. Il confronto mostra che le durate più brevi (1-2 ore) delle precipitazioni sono state nell'intervallo di un evento di 20-50 anni, a seconda della stazione. Le durate da 4 a 6 ore sono risultate di periodi di ritorno più elevati, mentre le somme delle precipitazioni di 12 ore sono risultate chiaramente nell'intervallo di un evento estremo con periodi di ritorno compresi tra 200 e 500 anni.

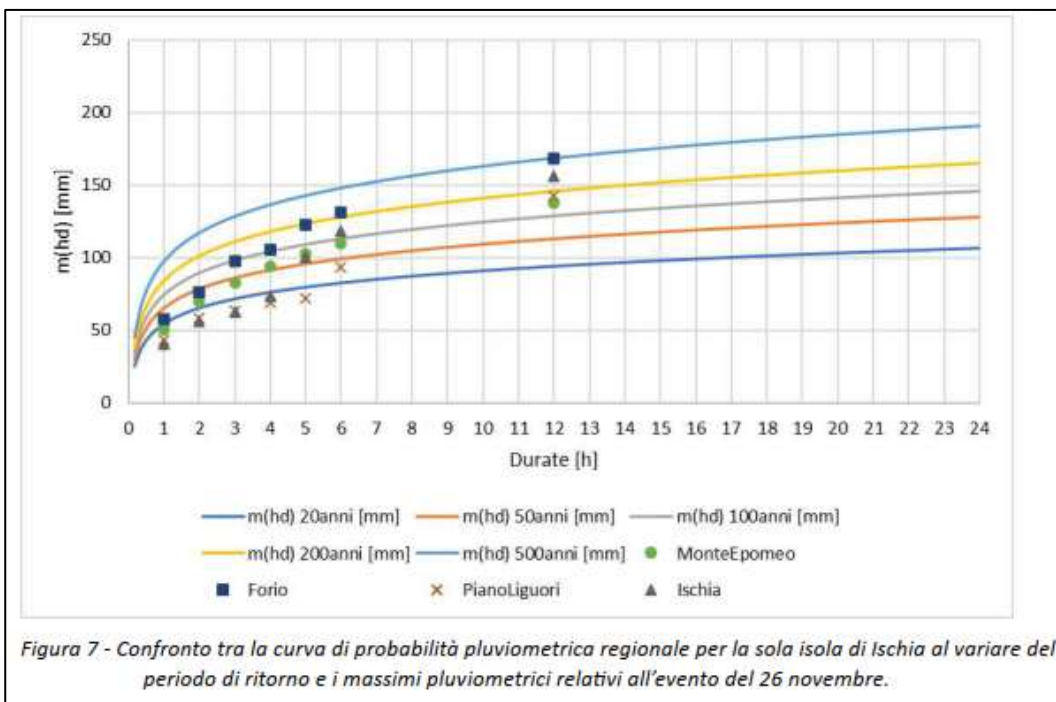


Figura 3-8 Curve di durata delle precipitazioni per l'Isola di Ischia e dati delle stazioni osservate (fonte: Piano commissariale di interventi urgenti)

La figura seguente mostra un grafico a violino degli eventi pluviometrici giornalieri per gli anni 2000-2022, basato sulla stazione di rilevamento del Monte Epomeo. Gli eventi pluviometrici sono definiti come giorni in cui la somma delle precipitazioni giornaliere è superiore a 1 mm/giorno. Il grafico mostra che la media degli eventi pluviometrici giornalieri è di circa 11 mm/giorno e il 90-quantile è di circa 24 mm/giorno. Il punto rosso nella figura indica l'evento registrato il 26 novembre, 2022, che è stato l'evento più alto osservato, e quindi definito un episodio pluviometrico estremo.

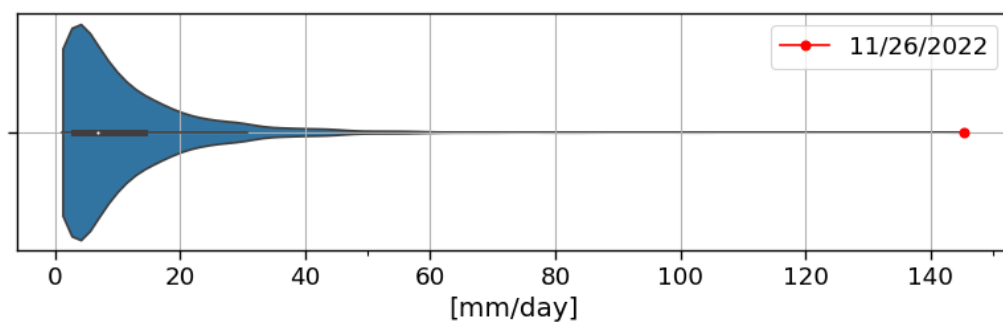


Figura 3-9 Violin plot che mostra la distribuzione degli eventi pluviometrici giornalieri (> 1 mm) dal 2000 al 2022 sulla base della stazione Monte Epomeo.

Berti et. al., 2012, Uzielli et. al., 2018 e i relativi riferimenti affermano che nei terreni piroclastici le precipitazioni antecedenti a una frana svolgono un ruolo fondamentale nel processo di innesco. La Figura 3-9 mostra le somme delle precipitazioni antecedenti a 30 giorni prima di ogni evento pluviometrico (> 1 mm) dal 2000 al 2022, basate sulla stazione di rilevamento del Monte Epomeo. Si può notare che la somma delle precipitazioni dal 25/10 al 25/11/2022 (un giorno prima dell'evento) è stata di 137 mm/30 giorni, che è nell'intervallo del 75%-quantile. Pertanto, la somma delle precipitazioni antecedenti era elevata, ma non molto estrema in questo caso.

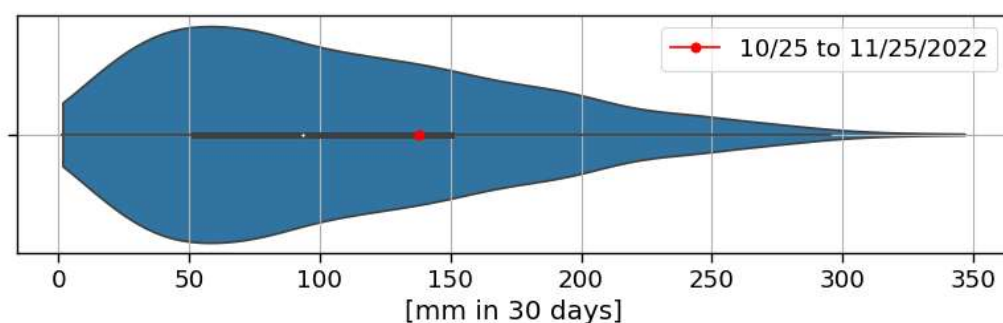


Figura 3-10 Violin plot che mostra la distribuzione delle precipitazioni antecedenti 30 giorni prima di un evento pluviometrico (> 1 mm) dal 2000 al 2022 sulla base della stazione Monte Epomeo.

3.3 Conclusioni

L'evento disastroso avvenuto il 26 novembre 2022 è stato un evento a cascata molto complesso, iniziato con una caduta di massi, trasformatosi in una frana e in una colata detritica e, infine, sfociato in una colata iperconcentrata con deflusso nel porto di Casamicciola.

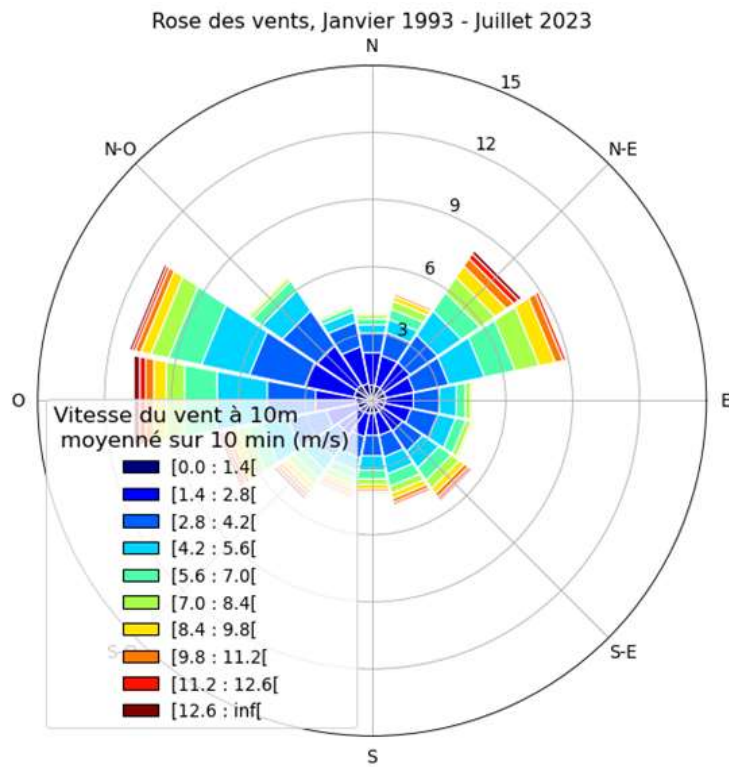
Questi eventi hanno un enorme potenziale distruttivo a causa delle elevate velocità di scorrimento e della natura del materiale trasportato (rocce, sedimenti, fango). Le cause di questi eventi sono molteplici e sono una combinazione di circostanze morfologiche, geologiche e sismiche, nonché di eventi di precipitazioni estremi. Le condizioni reali di innesco sono attribuibili ai processi di infiltrazione, deflusso sub-superficiale ed erosione che si verificano nel sottile strato di terreno.

Il verificarsi di questo evento specifico non può essere attribuito solo all'effettivo cambiamento climatico. In altre parole, l'ambiente geomorfologico sfavorevole dei versanti del Monte Epomeo è suscettibile a frane e altri movimenti di massa in generale, soprattutto sui versanti più ripidi. Eventi pluviometrici estremi, casualmente prossimi all'attività sismica, possono sempre verificarsi, indipendentemente dai cambiamenti climatici. Tuttavia, per quanto riguarda i cambiamenti climatici, si può affermare che la probabilità di attivazione di una frana potrebbe aumentare in futuro. Le variazioni delle precipitazioni e della temperatura potrebbero anche portare a maggiori tassi di erosione, aumentando la quantità potenziale di materiale mobilitato.

4 Ulteriori informazioni sull'oceanografia mediterranea

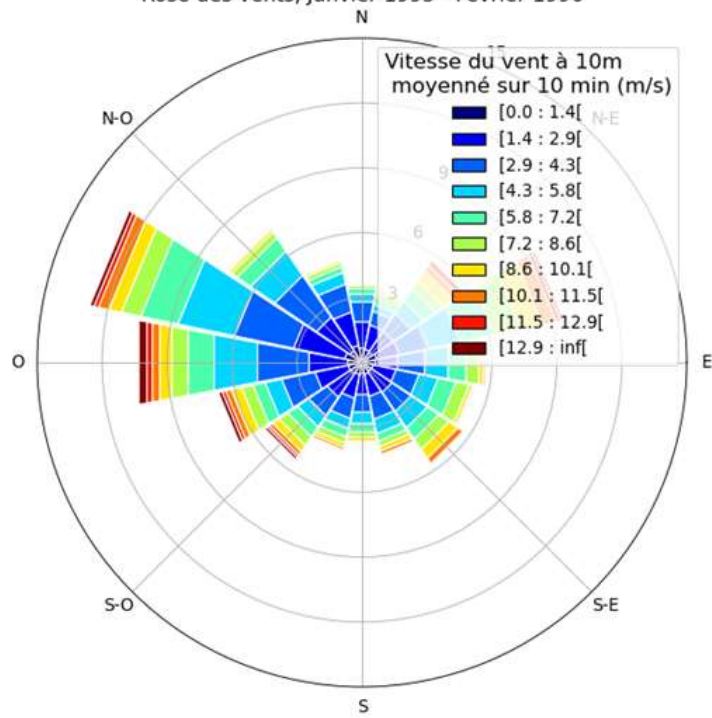
Questa appendice fornisce ulteriori informazioni grafiche sulle statistiche del vento e delle onde e sulle strutture artificiali di difesa costiera a Ischia.

4.1 Statistiche sul vento



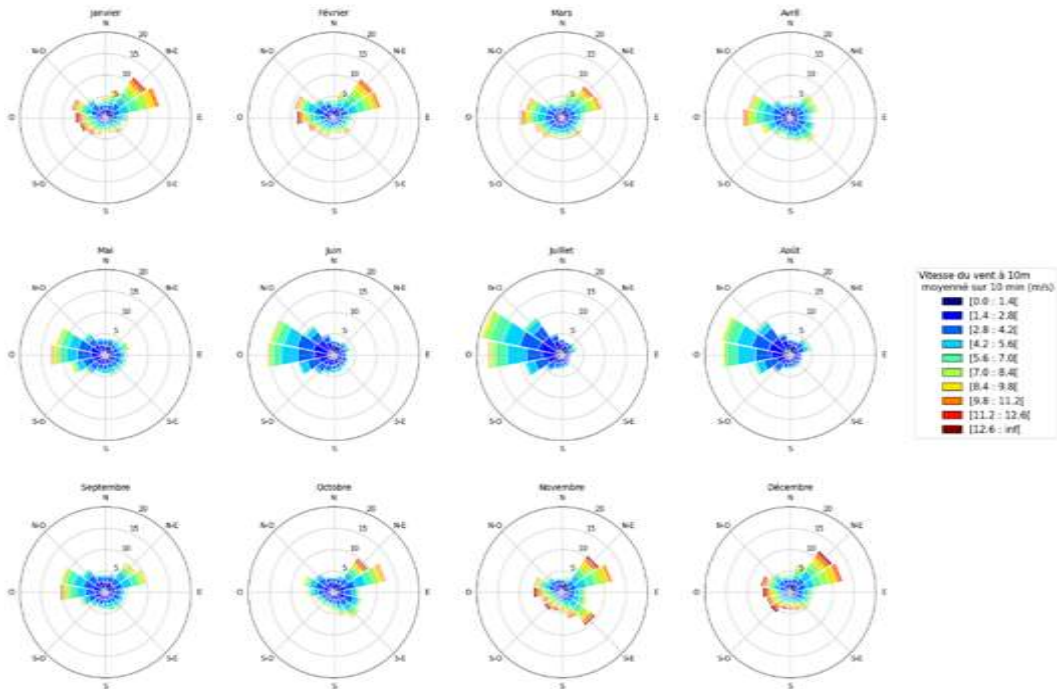
Rosa dei venti ad Est

Rose des vents, Janvier 1993 - Février 1996



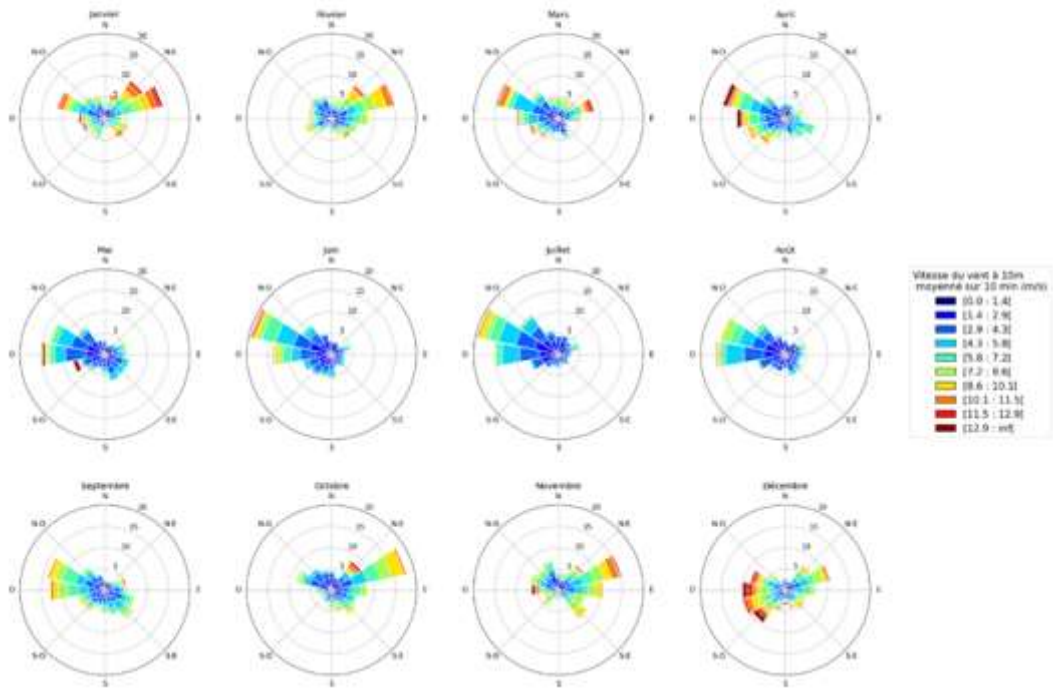
Rosa dei venti ad Ovest

Rose des vents, janvier 1993 - juillet 2023



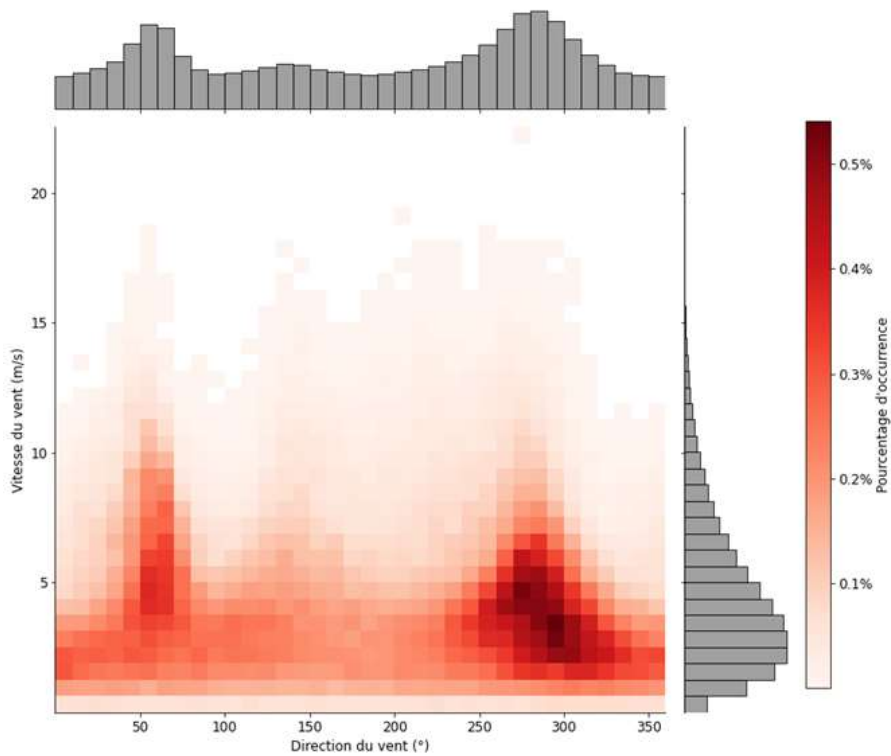
Rose dei venti mensili ad Est

Rose des vents, janvier 1993 - Février 1996 :



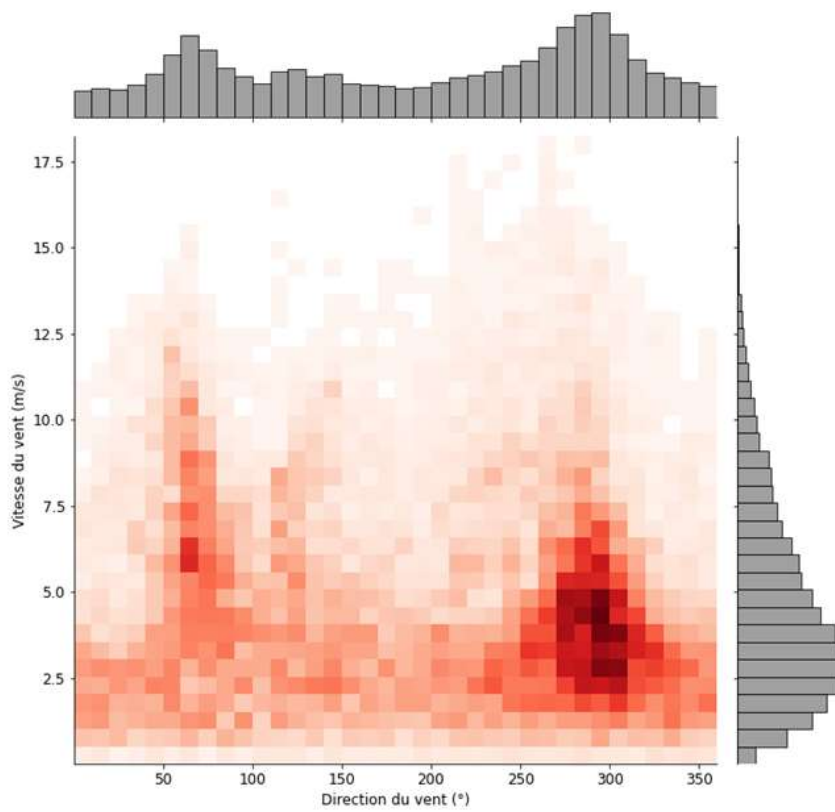
Rose dei venti mensili ad Ovest

Corrélogramme ws/wd, Janvier 1993 - Juillet 2023



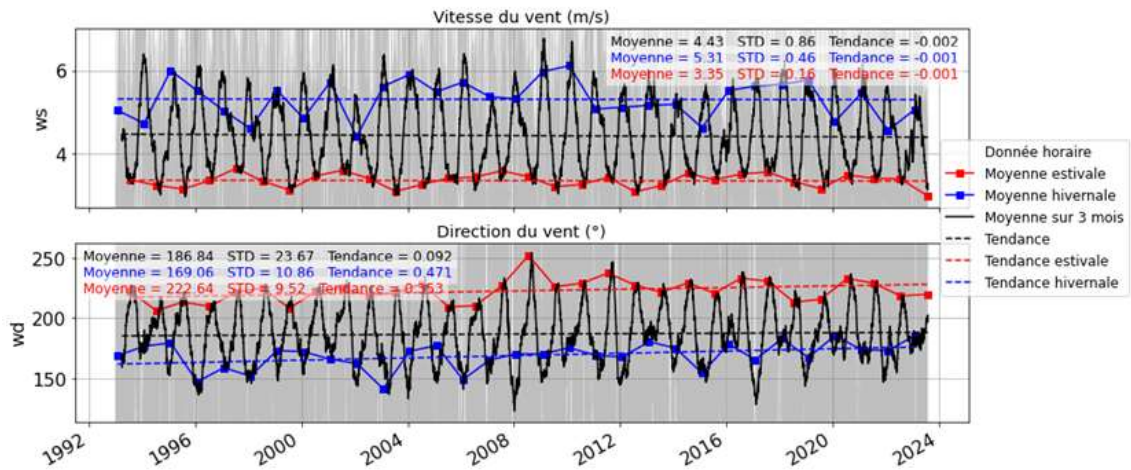
Correlogramma velocità e direzione del vento ad Est

Corrélogramme ws/wd, Janvier 1993 - Février 1996



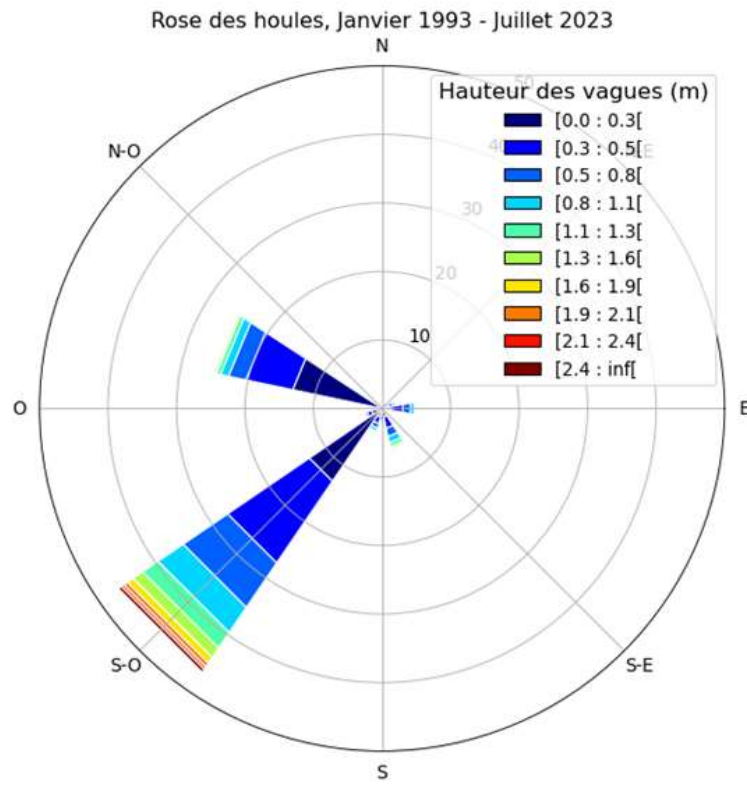
Correlogramma velocità e direzione del vento ad Ovest

Moyenne et tendance trimestrielle et saisonnière de vent, Janvier 1993 - Juillet 2023

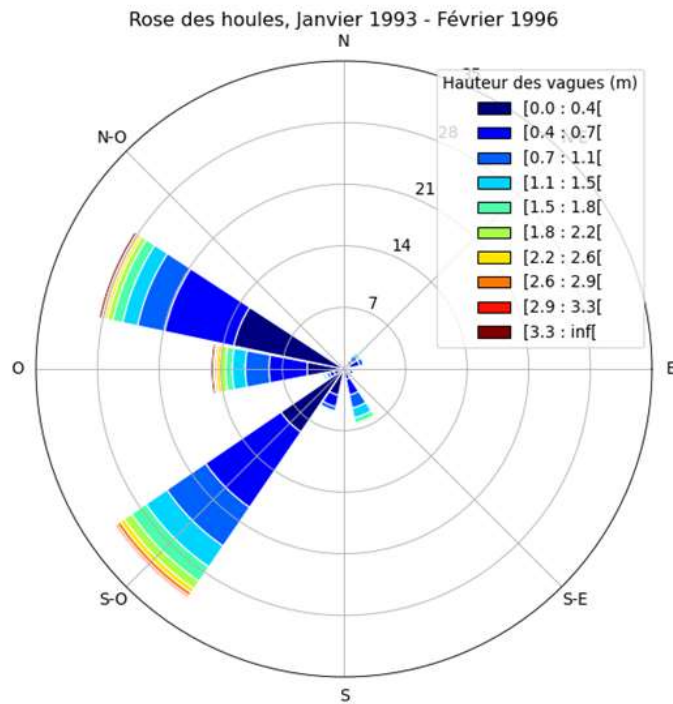


Andamento della media trimestrale del vento dal 1993 al 2023

4.2 Statistiche delle onde

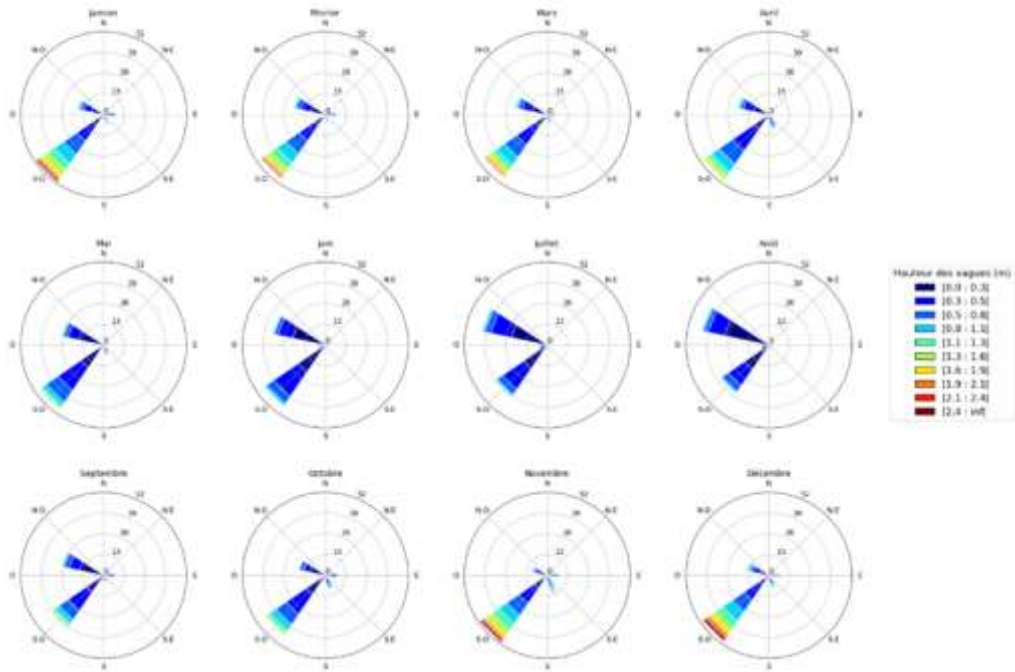


Rosa delle onde ad Est



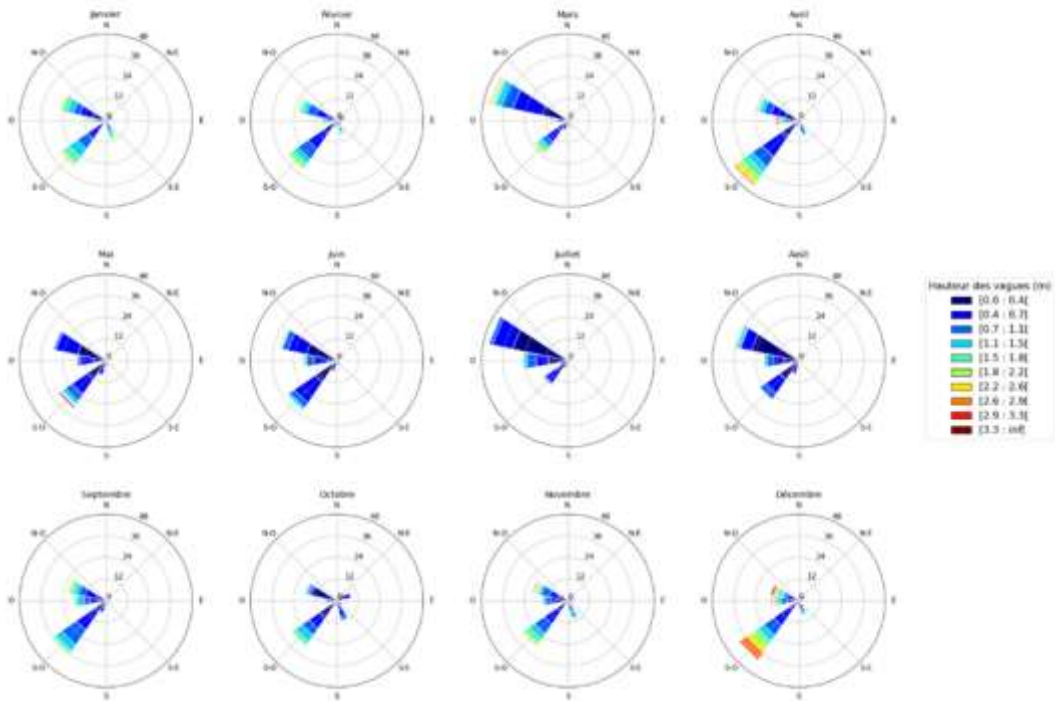
Rosa delle onde ad Ovest

Rose des houles, janvier 1993 - juillet 2023

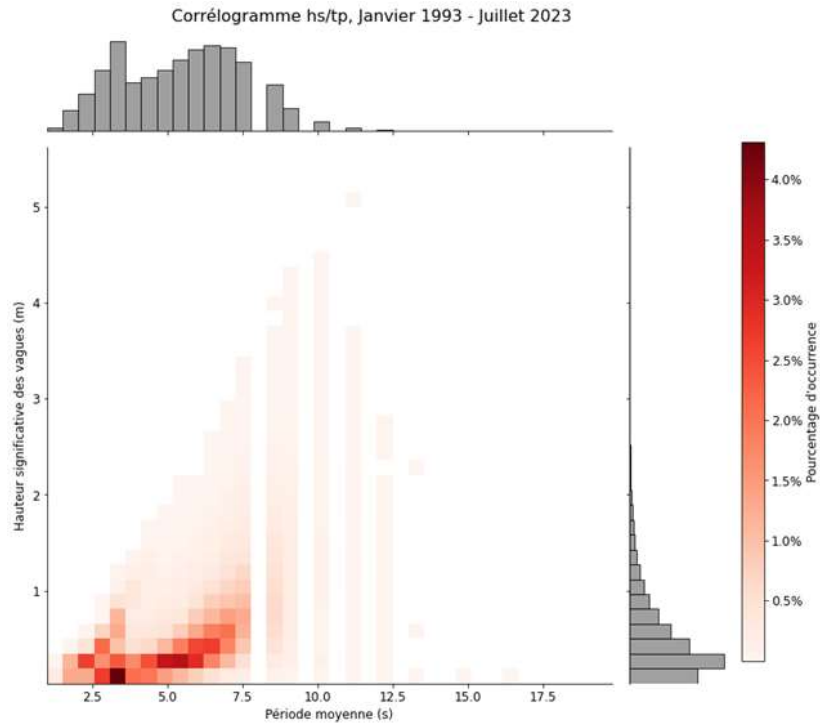


Rose delle onde mensili ad Est

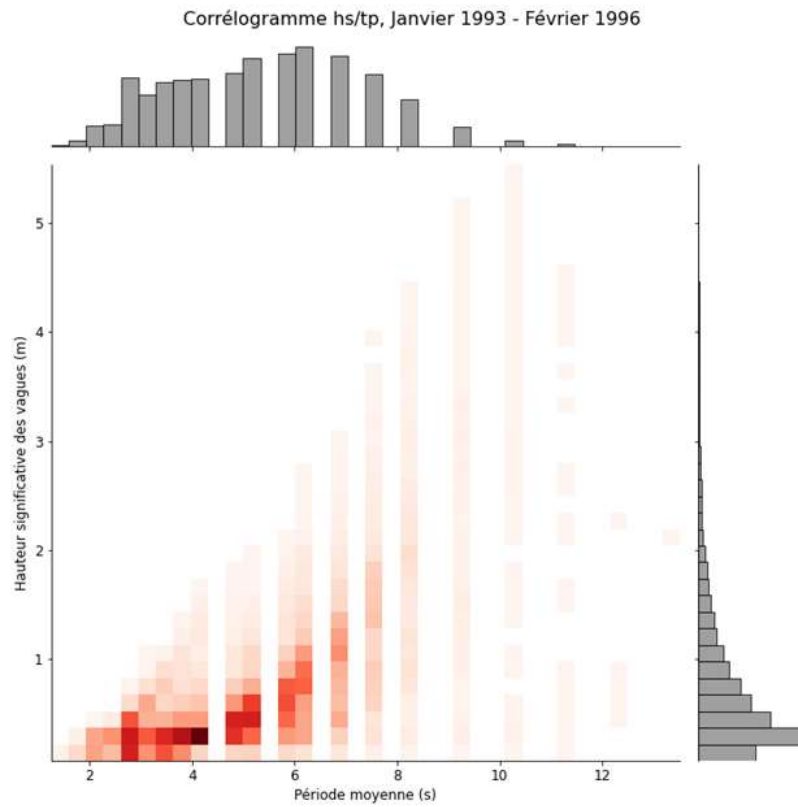
Rose des houles, janvier 1993 - Février 1996



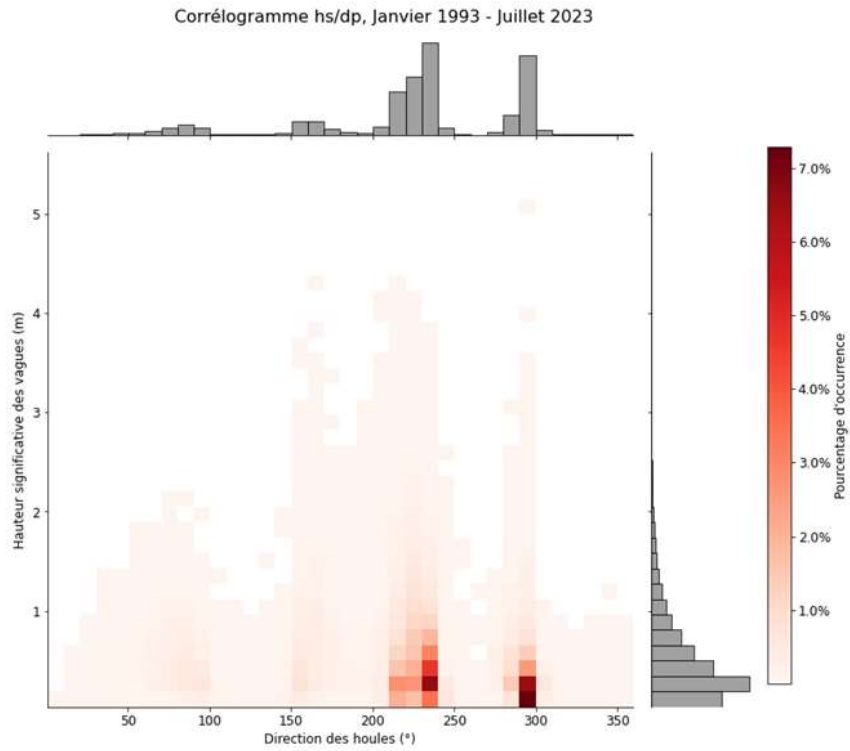
Rose delle onde mensili ad Ovest



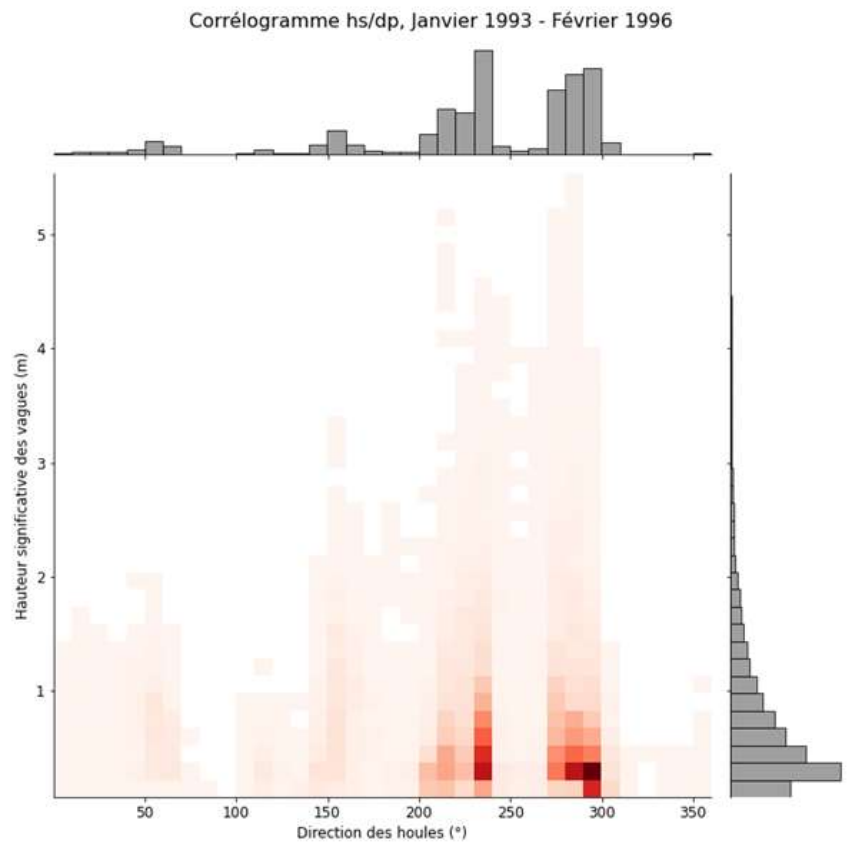
Correlogramma altezza d'onda e periodo ad Est



Correlogramma altezza d'onda e periodo ad Ovest

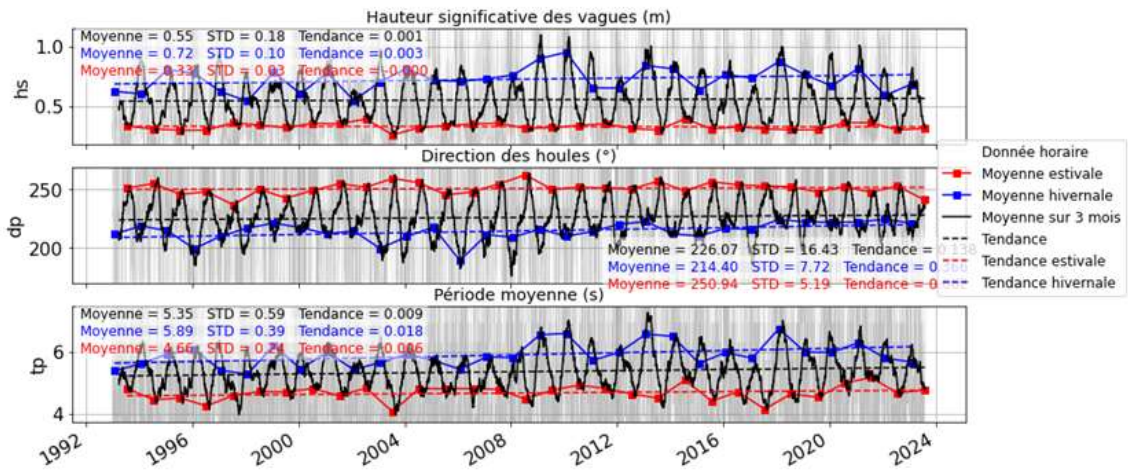


Altezza e direzione d'onda del correlogramma ad Est



Altezza e direzione dell'onda del correlogramma ad Ovest

Moyenne et tendance trimestrielle et saisonnière de houle, janvier 1993 - juillet 2023



Andamento medio trimestrale dell'onda dal 1993 al 2023

4.3 Strutture artificiali di difesa costiera

Oltre alla fotografia aerea di tutte le difese costiere dell'isola, come mostrato in Figura 3-21 nel capitolo 3.3 e riportate di seguito, in questo capitolo vengono fornite le immagini di tutte le singole strutture di difesa costiera.













5 Risultati dettagliati per le curve IDF in presenza di cambiamenti climatici

Tabella 5-1: Test del modello climatico CORDEX (combinazione di GCM e RCM) utilizzate per l'analisi delle curve IDF

ID	modello GCM	modello RCM
1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	r1i1p1_CNRM-ALADIN63_v2
2	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v2
3	ICHEC-EC-EARTH	r12i1p1_CLMcom-CCLM4-8-17_v1
4	ICHEC-EC-EARTH	r12i1p1_KNMI-RACMO22E_v1
5	ICHEC-EC-EARTH	r12i1p1_SMHI-RCA4_v1
6	ICHEC-EC-EARTH	r3i1p1_DMI-HIRHAM5_v2
7	MOHC-HadGEM2-ES	r1i1p1_DMI-HIRHAM5_v2
8	MOHC-HadGEM2-ES	r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v2
9	MOHC-HadGEM2-ES	r1i1p1_SMHI-RCA4_v1
10	MPI-M-MPI-ESM-LR	r1i1p1_MPI-CSC-REMO2009_v1
11	MPI-M-MPI-ESM-LR	r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a
12	MPI-M-MPI-ESM-LR	r2i1p1_MPI-CSC-REMO2009_v1
13	NCC-NorESM1-M	r1i1p1_GERICS-REMO2015_v1
14	NCC-NorESM1-M	r1i1p1_SMHI-RCA4_v1

Tabella 5-2: Risultati dettagliati (per diversi periodi di ritorno e durate) per i 14 test condotti del modello climatico CORDEX con RCP2.6

h _{RC} (d=1 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	46.7	42.9	42.7	39.1	43.4	42.3	47.8	37.5	38.2	37.1	39.6	48.4	42.7	42.8	42.2	3.7	0.1
10	55.8	60.4	49.5	44.6	50.2	49.7	54.5	46.3	47.6	42.9	47.3	59.5	48.9	49.8	50.5	5.2	0.1
20	65.6	89.9	56.0	50.2	56.7	56.8	61.0	57.1	59.2	48.6	56.2	72.2	54.8	56.5	60.1	10.4	0.2
50	79.8	162.6	64.4	58.1	65.1	65.9	69.4	75.8	79.2	55.9	70.6	92.1	62.5	65.3	76.2	26.6	0.3
100	91.9	263.6	70.8	64.5	71.4	72.8	75.6	94.3	99.0	61.4	84.1	110.0	68.3	71.8	92.8	51.2	0.6
h _{RC} (d=3 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	61.6	56.5	56.3	51.6	57.2	55.8	63.0	49.4	50.3	48.8	52.2	63.7	56.2	56.4	55.6	4.8	0.1
10	73.6	79.6	65.2	58.7	66.1	65.5	71.9	61.0	62.7	56.6	62.3	78.5	64.4	65.6	66.6	6.9	0.1
20	86.4	118.5	73.8	66.1	74.7	74.8	80.4	75.3	78.1	64.1	74.1	95.2	72.2	74.5	79.2	13.7	0.2
50	105.2	214.3	84.9	76.5	85.8	86.9	91.4	99.9	104.4	73.7	93.1	121.4	82.4	86.0	100.4	35.1	0.3
100	121.1	347.4	93.3	85.0	94.1	96.0	99.7	124.2	130.4	80.9	110.8	145.0	90.0	94.6	122.3	67.4	0.6
h _{RC} (d=6 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	71.0	65.1	64.8	59.4	65.9	64.3	72.6	57.0	58.0	56.3	60.2	73.4	64.8	65.0	64.1	5.5	0.1
10	84.8	91.7	75.2	67.7	76.2	75.5	82.8	70.3	72.3	65.2	71.8	90.4	74.2	75.6	76.7	8.0	0.1
20	99.6	136.5	85.1	76.2	86.1	86.2	92.6	86.7	90.0	73.8	85.4	109.7	83.3	85.9	91.2	15.8	0.2
50	121.2	247.0	97.9	88.2	98.9	100.2	105.3	115.1	120.3	84.9	107.3	139.9	95.0	99.1	115.7	40.5	0.4
100	139.5	400.3	107.5	97.9	108.4	110.6	114.9	143.1	150.3	93.3	127.7	167.1	103.7	109.1	141.0	77.7	0.6
h _{RC} (d=12 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	80.8	74.2	73.9	67.7	75.1	73.2	82.7	64.9	66.0	64.1	68.6	83.6	73.8	74.0	73.0	6.3	0.1
10	96.6	104.5	85.6	77.1	86.8	86.0	94.4	80.1	82.3	74.3	81.8	103.0	84.5	86.2	87.4	9.1	0.1
20	113.4	155.5	96.9	86.8	98.0	98.2	105.5	98.8	102.5	84.1	97.2	125.0	94.8	97.8	103.9	18.0	0.2
50	138.1	281.3	111.5	100.5	112.6	114.1	120.0	131.1	137.0	96.7	122.2	159.4	108.2	112.9	131.8	46.1	0.3
100	158.9	456.0	122.4	111.5	123.5	126.0	130.8	163.1	171.2	106.2	145.4	190.4	118.1	124.2	160.6	88.5	0.6
h _{RC} (d=24 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	91.5	84.0	83.6	76.6	85.0	82.9	93.6	73.5	74.7	72.6	77.6	94.7	83.6	83.8	82.7	7.2	0.1
10	109.4	118.3	96.9	87.3	98.3	97.4	106.8	90.6	93.2	84.1	92.6	116.6	95.7	97.6	98.9	10.3	0.1
20	128.4	176.1	109.7	98.3	111.0	111.2	119.5	111.9	116.0	95.2	110.1	141.5	107.4	110.8	117.6	20.3	0.2
50	156.3	318.5	126.2	113.7	127.5	129.2	135.9	148.4	155.2	109.5	138.3	180.4	122.5	127.8	149.3	52.2	0.3
100	179.9	516.3	138.6	126.3	139.9	142.6	148.1	184.6	193.8	120.3	164.7	215.5	133.8	140.7	181.8	100.2	0.6

Tabella 5-3: Risultati dettagliati (per diversi periodi di ritorno e durate) per i 14 test condotti del modello climatico CORDEX con RCP4.5

h _{loc} (d=1 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	47.7	36.0	41.7	45.8	39.3	43.9	48.6	35.9	36.1	37.0	51.1	42.5	41.2	39.1	41.8	5.0	0.1
10	65.3	45.5	49.6	52.3	45.1	51.2	56.5	42.0	42.0	42.9	59.7	49.0	52.2	45.1	49.9	7.0	0.1
20	94.2	61.0	57.8	58.7	50.6	58.1	64.0	48.6	48.5	48.5	68.0	55.3	66.5	50.9	59.3	12.0	0.2
50	163.8	97.8	69.3	66.9	57.9	67.1	73.8	58.6	58.3	55.9	78.6	63.3	92.5	58.5	75.9	28.4	0.4
100	258.4	147.1	78.7	73.1	63.2	73.9	81.1	67.1	66.7	61.4	86.7	69.4	119.8	64.1	93.6	53.2	0.6
h _{loc} (d=3 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	62.9	47.5	54.9	60.3	51.8	57.8	64.1	47.3	47.5	48.7	67.3	56.0	54.3	51.5	55.1	6.6	0.1
10	86.0	60.0	65.3	69.0	59.4	67.4	74.4	55.4	55.4	56.5	78.7	64.6	68.8	59.5	65.7	9.2	0.1
20	124.2	80.4	76.1	77.3	66.8	76.6	84.4	64.1	64.0	64.0	89.6	72.8	87.6	67.1	78.2	15.9	0.2
50	215.9	128.9	91.3	88.2	76.2	88.5	97.2	77.2	76.8	73.6	103.7	83.5	121.9	77.0	100.0	37.5	0.4
100	340.5	193.9	103.8	96.4	83.4	97.4	106.8	88.5	87.9	80.9	114.2	91.5	157.8	84.5	123.4	70.1	0.6
h _{loc} (d=6 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	72.5	54.7	63.3	69.5	59.7	66.7	73.8	54.6	54.8	56.2	77.6	64.6	62.6	59.3	63.6	7.6	0.1
10	99.1	69.1	75.3	79.5	68.5	77.7	85.8	63.8	63.8	65.1	90.7	74.5	79.3	68.5	75.8	10.6	0.1
20	143.1	92.7	87.7	89.1	76.9	88.3	97.2	73.9	73.7	73.7	103.2	83.9	100.9	77.4	90.1	18.3	0.2
50	248.8	148.6	105.3	101.6	87.9	102.0	112.0	88.9	88.5	84.8	119.5	96.2	140.5	88.8	115.2	43.2	0.4
100	392.4	223.4	119.6	111.1	96.1	112.2	123.1	101.9	101.3	93.2	131.6	105.4	181.9	97.3	142.2	80.8	0.6
h _{loc} (d=12 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	82.6	62.3	72.1	79.2	68.0	75.9	84.1	62.1	62.4	64.0	88.4	73.6	71.3	67.6	72.4	8.7	0.1
10	112.9	78.7	85.8	90.5	78.0	88.5	97.7	72.7	72.7	74.2	103.3	84.8	90.3	78.1	86.3	12.0	0.1
20	163.0	105.6	99.9	101.5	87.6	100.5	110.7	84.1	83.9	84.0	117.6	95.6	115.0	88.1	102.7	20.8	0.2
50	283.4	169.2	119.9	115.8	100.1	116.1	127.6	101.3	100.8	96.6	136.1	109.6	160.0	101.1	131.3	49.2	0.4
100	447.0	254.5	136.2	126.5	109.4	127.8	140.2	116.1	115.4	106.1	149.9	120.1	207.2	110.9	162.0	92.0	0.6
h _{loc} (d=24 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	93.5	70.5	81.6	89.7	77.0	86.0	95.2	70.4	70.6	72.4	100.1	83.3	80.7	76.5	82.0	9.8	0.1
10	127.9	89.2	97.1	102.5	88.3	100.2	110.6	82.3	82.3	84.0	117.0	96.0	102.2	88.4	97.7	13.6	0.1
20	184.6	119.6	113.1	114.9	99.2	113.8	125.4	95.3	95.0	95.1	133.1	108.3	130.2	99.8	116.2	23.6	0.2
50	320.9	191.6	135.8	131.1	113.3	131.5	144.5	114.7	114.1	109.4	154.1	124.1	181.2	114.5	148.6	55.7	0.4
100	506.1	288.1	154.2	143.3	123.9	144.7	158.8	131.5	130.7	120.2	169.7	135.9	234.6	125.5	183.4	104.2	0.6

Tabella 5-4: Risultati dettagliati (per diversi periodi di ritorno e durate) per i 14 test condotti del modello climatico CORDEX con RCP8.5

h _{bc} (d=1 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	46.4	44.4	41.9	41.9	46.6	40.5	49.1	38.7	39.0	37.9	48.0	49.3	43.4	43.3	43.6	3.9	0.1
10	57.5	52.1	47.7	47.2	54.4	46.8	57.0	45.4	45.5	43.1	59.1	60.4	50.7	50.2	51.2	5.6	0.1
20	71.3	60.0	53.3	53.1	61.9	52.9	64.6	52.8	52.0	48.0	71.8	73.5	57.7	56.7	59.2	8.3	0.1
50	95.2	71.0	60.4	61.9	71.5	60.8	74.4	64.0	60.7	54.4	91.5	94.8	66.7	65.3	70.9	13.5	0.2
100	119.2	79.8	65.8	69.6	78.7	66.7	81.7	74.0	67.6	59.2	109.3	114.8	73.4	71.7	80.8	19.3	0.2

h _{bc} (d=3 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	61.2	58.5	55.3	55.2	61.4	53.3	64.8	51.0	51.5	49.9	63.2	65.0	57.2	57.1	57.5	5.1	0.1
10	75.8	68.7	62.9	62.2	71.7	61.7	75.1	59.8	60.0	56.7	78.0	79.6	66.8	66.1	67.5	7.4	0.1
20	93.9	79.1	70.2	70.0	81.5	69.7	85.1	69.5	68.5	63.3	94.6	96.9	76.0	74.8	78.1	10.9	0.1
50	125.5	93.6	79.7	81.6	94.2	80.1	98.0	84.4	80.0	71.7	120.6	125.0	87.9	86.0	93.5	17.8	0.2
100	157.1	105.2	86.8	91.7	103.8	87.9	107.7	97.5	89.1	78.1	144.0	151.3	96.8	94.4	106.5	25.4	0.2

h _{bc} (d=6 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	70.5	67.4	63.7	63.6	70.8	61.4	74.6	58.7	59.3	57.5	72.9	74.9	65.9	65.8	66.2	5.9	0.1
10	87.3	79.1	72.5	71.7	82.6	71.1	86.6	68.9	69.2	65.4	89.8	91.8	77.0	76.2	77.8	8.6	0.1
20	108.3	91.2	80.9	80.6	93.9	80.3	98.1	80.1	79.0	72.9	109.1	111.6	87.6	86.2	90.0	12.5	0.1
50	144.6	107.8	91.8	94.0	108.6	92.3	112.9	97.3	92.2	82.6	139.0	144.0	101.3	99.1	107.7	20.5	0.2
100	181.0	121.2	100.0	105.7	119.6	101.3	124.1	112.3	102.6	89.9	166.0	174.4	111.5	108.8	122.8	29.3	0.2

h _{bc} (d=12 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	80.3	76.8	72.5	72.4	80.6	70.0	85.0	66.9	67.5	65.5	83.0	85.3	75.1	74.9	75.4	6.7	0.1
10	99.5	90.2	82.5	81.7	94.1	81.0	98.6	78.5	78.8	74.5	102.3	104.6	87.7	86.8	88.6	9.8	0.1
20	123.3	103.8	92.1	91.9	107.0	91.5	111.7	91.3	90.0	83.1	124.2	127.2	99.7	98.2	102.5	14.3	0.1
50	164.8	122.8	104.6	107.1	123.7	105.2	128.7	110.8	105.1	94.1	158.4	164.0	115.4	112.9	122.7	23.3	0.2
100	206.2	138.1	113.9	120.4	136.2	115.4	141.3	127.9	116.9	102.5	189.1	198.6	127.0	124.0	139.8	33.3	0.2

h _{bc} (d=24 hour) [mm]																	
RT (years)	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8	ID9	ID10	ID11	ID12	ID13	ID14	EM	D5	CV
5	90.9	86.9	82.1	82.0	91.3	79.2	96.2	75.7	76.5	74.2	94.0	96.6	85.1	84.8	85.4	7.6	0.1
10	112.6	102.1	93.5	92.5	106.5	91.7	111.7	88.8	89.2	84.3	115.9	118.4	99.3	98.3	100.3	11.1	0.1
20	139.6	117.6	104.3	104.0	121.2	103.6	126.5	103.3	101.9	94.0	140.6	144.0	112.9	111.2	116.1	16.2	0.1
50	186.6	139.1	118.4	121.3	140.1	119.1	145.7	125.4	119.0	106.6	179.3	185.7	130.6	127.8	138.9	26.4	0.2
100	233.4	156.3	128.9	136.3	154.2	130.7	160.0	144.9	132.4	116.0	214.1	224.9	143.8	140.4	158.3	37.7	0.2

6 Stime dettagliate dei costi per le attività di adattamento proposte per l'approvvigionamento idrico e la rete fognaria

Questo capitolo fornisce maggiori dettagli su una prima stima dei costi per le attività di adattamento raccomandate per l'approvvigionamento idrico e la rete fognaria dell'isola nel capitolo 3.4.8.

6.1 Stime dei costi per l'implementazione di sistemi ridondanti per la rete di distribuzione in aree a rischio di frana

Sono stati stimati i costi per la deviazione delle condotte dell'acqua potabile dalle aree soggette a frane a quelle a minor rischio e per il collegamento delle due linee di rete principali in un'unica rete circolare. La realizzazione/ricollocazione di (nuovi) serbatoi tampone non è stata considerata in questa stima dei costi a causa di informazioni insufficienti.

I costi per l'installazione di condotte idriche possono variare notevolmente in base a diversi fattori, tra cui la posizione, le dimensioni del progetto, le normative locali, i materiali utilizzati e altre condizioni specifiche del sito. Molti di questi parametri sono sconosciuti agli autori ed esulano dallo scopo di questo rapporto, per cui le stime approssimative dei costi si basano su una formula generale fornita dall'OCSE⁶⁴. Poiché questa formula risale al 2005, è stata ulteriormente corretta per questo studio considerando il tasso di inflazione in Italia, che nel 2022 era del 36,51% rispetto al 2005⁶⁵.

$$Costs = (0.0009dia^2 + 0.2884dia) \cdot pipeline\ length \cdot 1.365 \quad (1)$$

Questa formula si applica sia alla rete di alimentazione che alla rete fognaria, comprese le tubazioni, lo scavo, la posa e il rinterro, più un ulteriore 15% per i raccordi, ecc.

Per l'installazione delle condotte in prossimità delle strade, sono stati ipotizzati costi aggiuntivi per il rifacimento delle strade pari a 300 euro/m e sono stati integrati in una formula adattata.

$$Costs^* = ((0.0009dia^2 + 0.2884dia) \cdot pipeline\ length \cdot 1.365) + pipeline\ length\ next\ to\ road \cdot 300EUR \quad (2)$$

con Dia= diametro del tubo in mm

Utilizzando la formula 2, il costo totale ammonta a **4.091.063 euro**, di cui **3.783.929 euro** per la deviazione dei tratti di condotta dell'acqua potabile soggetti a rischio di frana verso aree più sicure, ove possibile, e **307.134 euro** per il collegamento delle due linee principali della rete dell'acqua potabile in **un'unica** rete circolare. Informazioni più dettagliate per ogni dimensione di condotta e categoria di rischio sono disponibili in Tabella 6.1 e Tabella 6.2.

⁶⁴ <https://www.oecd.org/env/outreach/36228967.pdf>

⁶⁵ <https://www.worlddata.info/europe/italy/inflation-rates.php>

Tabella 6-1 Stima dei costi per la deviazione di tratti di condotte per l'acqua potabile a rischio di frana in aree più sicure, ove possibile

Diametro del tubo [mm]	Condotta potenzialmente deviata [m]	Nuova condotta accanto alla strada [m]	Costi stimati [EUR]
60	649	150	63,200.95 €
80	822	0	32,352.74 €
100	566	100	59,236.95 €
150	739	400	184,069.45 €
275	673	673	337,292.93 €
300	715	0	163,507.31 €
350	4628	4000	2,534,231.43 €
500	635	300	410,036.77 €
TOTALE	9427	5623	<u>3,783,928.54 €</u>

Tabella 6-2 Stima dei costi per il collegamento delle due linee principali della rete di acqua potabile in un'unica rete circolare

Diametro del tubo [mm]	Potenziale nuovo gasdotto [m]	Nuova condotta accanto alla strada [m]	Costi stimati [EUR]
125	2297	500	307,134.49 €
TOTALE	2297	500	<u>307,134.49 €</u>

6.2 Stime dei costi per la trasformazione della rete fognaria mista in zone a rischio in una rete fognaria separata

Sono stati stimati i costi per trasformare la rete fognaria mista presente in aree a rischio di frana in un sistema separato. Ciò include l'installazione di ulteriori condotte per le acque meteoriche lungo la rete esistente, ipotizzando che le condotte esistenti, attualmente ancora utilizzate per entrambe, vengano poi utilizzate esclusivamente per il trasporto delle acque reflue.

Utilizzando la formula 1 presentata nel precedente sottocapitolo, il costo totale ammonta a **4.219.586 euro**. Si noti che in questo caso i costi per la ricostruzione delle strade non sono stati considerati a causa della mancanza di informazioni sulla lunghezza della rete fognaria mista esistente installata sotto e accanto alle strade. Informazioni più dettagliate sui costi per ogni dimensione di condotta e categoria di rischio sono disponibili nella Tabella 6.3.

Tabella 6-3 Stima dei costi per la trasformazione della rete fognaria mista in una rete fognaria separata nelle aree soggette a frane.

Tipo di tubo	Diametro [mm]	Lunghezza ad alto rischio [m]	Stima dei costi
PVC DN160	160	139	13,127.59 €
PVC DN200	200	66	8,440.25 €
CV DN300	300	493	112,740.01 €
PVC DN300	300		- €
PVC DN315	315	472	116,074.58 €
PVC DN400	400	1894	670,575.12 €
CV DN400	400	660	233,674.54 €
PVC DN500	500		- €
CV DN800	800	67	73,783.98 €
CAV DN1500	1500	263	882,330.75 €
SCONOSCIUTO	450	1549	659,799.88 €
TOTALE		5603	2,770,546.70 €

Tipo di tubo	Diametro [mm]	Lunghezza del tubo a rischio medio [m]	Stima dei costi
PVC DN160	160		- €
PVC DN200	200	699	89,389.92 €
CV DN300	300		- €
PVC DN300	300	143	32,701.46 €
PVC DN315	315		- €
PVC DN400	400	2220	785,996.19 €
CV DN400	400		- €
PVC DN500	500	975	491,395.05 €
CV DN800	800	45	49,556.41 €
CAV DN1500	1500		- €
SCONOSCIUTO			

Tipo di tubo	Diametro [mm]	Lunghezza ad alto rischio [m]	Stima dei costi
TOTALE		4082	1,449,039.02 €
Totale gasdotto misto a rischio		9685	<u>4,219,585.72 €</u>

6.3 Stime dei costi per la trasformazione della rete fognaria mista in aree a basso o nullo rischio di frana in una rete fognaria separata

Questo capitolo fornisce una stima preliminare dei costi per la trasformazione della rete fognaria mista nelle aree a basso o nullo rischio di frana (la restante rete fognaria mista che non è stata considerata nel sottocapitolo precedente) in una rete fognaria separata. Ciò include, come descritto in precedenza, l'installazione di ulteriori condotte per le acque meteoriche lungo la rete esistente, ipotizzando che le condotte esistenti, attualmente utilizzate per entrambe le funzioni, vengano poi utilizzate esclusivamente per il trasporto delle acque reflue.

Utilizzando la formula 1, il costo totale ammonta a **5.527.745,33 euro**. Si noti che in questo caso i costi per la ricostruzione delle strade non sono stati considerati a causa della mancanza di informazioni sulla lunghezza della rete fognaria mista esistente installata sotto e accanto alle strade. Informazioni più dettagliate sui costi per ogni dimensione di condotta sono disponibili nella Tabella 6.4.

Tabella 6-4 Stima dei costi per la trasformazione della rete fognaria mista in una rete fognaria separata nelle aree a rischio di frana

Tipo di tubo	Diametro [mm]	Lunghezza della condotta in aree a basso rischio - nessun rischio [m]	Stima dei costi
PVC DN160	160	444	41,932.73 €
PVC DN200	200	369	47,188.67 €
CV DN300	250	1884	330,096.74 €
PVC DN300	300	368	84,154.81 €
PVC DN315	315	1676	412,163.12 €
PVC DN400	350	228	65,731.37 €
CV DN400	400	5774	2,044,298.19 €
PVC DN500	500	3053	1,538,696.49 €
CV DN600	600	1420	963,483.21 €
CAV DN1500	1500		

Tipo di tubo	Diametro [mm]	Lunghezza della condotta in aree a basso rischio - nessun rischio [m]	Stima dei costi
SCONOSCIUTO	450		
TOTALE		15216	5,527,745.33 €

6.4 Stime dei costi per il miglioramento delle infrastrutture di drenaggio delle acque piovane

Questo capitolo fornisce una stima preliminare dei costi per l'ampliamento delle infrastrutture di drenaggio delle acque meteoriche di Ischia nelle aree a rischio di alluvione. Questo studio ipotizza che l'aumento del diametro di 50 mm delle condotte di drenaggio delle acque piovane che attraversano aree a rischio di alluvione sia sufficiente a ridurre significativamente il rischio stesso per gli insediamenti circostanti. Va notato che per questa stima approssimativa dei costi non sono stati presi in considerazione parametri locali come i volumi esatti di acqua piovana, ecc. Pertanto, è necessario uno studio più completo prima di implementare l'attività di adattamento proposta. Per stimare i costi, è stata utilizzata la formula (1) del sottocapitolo precedente, con una piccola modifica:

$$Costs^* = ((0.0009dia + 50 \text{ mm})^2 + 0.2884dia + 50 \text{ mm}) \cdot pipeline \text{ length} \cdot 1.365 \quad (3)$$

Questa equazione include i costi per la condotta, lo scavo, la posa e il riempimento, più un ulteriore 15% per i raccordi, ecc. Si noti che in questo caso non sono stati considerati i costi per la ricostruzione delle strade a causa della mancanza di informazioni sulla lunghezza delle infrastrutture di drenaggio delle acque meteoriche esistenti installate sotto e accanto alle strade.

Il costo totale stimato ammonta a **11.898.886 euro**. Informazioni più dettagliate sui costi per ciascuna dimensione del gasdotto sono disponibili nella Tabella 6.5.

Diametro del tubo [m]	Lunghezza del tubo che attraversa aree soggette ad alluvioni [m]	Costi stimati per l'allargamento del gasdotto [EUR]
160	262	35,856.46 €
250	1944	444,556.94 €
300	704	202,960.01 €
315	663	203,791.30 €

400	3837	1,634,378.41 €
500	2371	1,394,576.29 €
600	4212	3,264,219.64 €
800	434	530,476.85 €
2000	501	2,991,082.17 €
SCONOSCIUTO	2375	1,196,987.94 €
TOTALE	17303	<u>11,898,886.01 €</u>

Tabella 6-5 Stima dei costi per l'ampliamento di 50 mm del sistema di drenaggio delle acque piovane che attraversa le aree soggette a inondazioni

