CLIMAAX
climate ready regions

Deliverable Phase 2 – Climate risk assessment

Extended multi-risks analysis for forecasting, monitoring, mitigation and adaptation strategies in Molise - CLIMoL

Italy, Molise

Version 2.0 | October 2026

HORIZON-MISS-2021-CLIMA-02-01 - Development of climate change risk assessments in European regions and communities based on a transparent and harmonised Climate Risk Assessment approach

Funded by the European Union

This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101093864. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Document Information

Deliverable Title	Phase 2 – Climate risk assessment
Brief Description	
Project name	Extended multi-risks analysis for forecasting, monitoring, mitigation and adaptation strategies in Molise (CLIMol)
Country	Italy
Region/Municipality	Molise
Leading Institution	Molise Region
Author(s)	• Antonio Cardillo (Molise Region) • Francesco Bartoli (D.R.E.Am Italia) • Vincenzo Giancaterino (BETA 80) • Massimiliano Fazzini (BETA 80)
Deliverable submission date	29/06/2026
Final version delivery date	7/10/2026
Nature of the Deliverable	R – Report
Dissemination Level	PU - Public

Version	Date	Change editors	Changes
1.0	…	Institution name	Deliverable submitted
2.0	…	CLIMAAX's FSTP team	Review completed
5.0	…		Final version to be submitted

Table of contents

Sommario

Document Information 2
Table of contents 3
List of figures 4
List of tables 4
Abbreviations and acronyms 5
Executive summary (1-2 pages) 6
1 9
1.1 9
1.2 10
1.3 10
1.4 11
2 12
2.1 12
2.1.1 12
2.1.2 13
2.1.3 13
2.1.4 14
2.1.5 14
2.2 18
2.2.2 Screen risks (selection of main hazards) 17
2.2.3 Choose Scenario 20
2.3 21
2.3.1 21
2.3.2 27
2.3.3 34
2.4 44
2.4.1 Mode of engagement for participation 33
2.4.2 Gather output from Risk Analysis step 33
2.4.3 Assess Severity 33
2.4.4 Assess Urgency 34
2.4.5 Understand Resilience Capacity 35

2.4.6 Decide on Risk Priority 36
2.5 50
2.6 51
2.7 62
3 62
4 63
5 64
6 76
7 **Errore. Il segnalibro non è definito.**
7.1 **Errore. Il segnalibro non è definito.**
7.1.1 **Errore. Il segnalibro non è definito.**
7.2 **Errore. Il segnalibro non è definito.**
7.3 **Errore. Il segnalibro non è definito.**

List of figures

Figure 2-1 Mappa del rischio incendi boschivi di Regione Molise. Fonte: Piano operativo AIB Regione molise (Forestry lab - Università degli studi del Molise).**Errore. Il segnalibro non è definito.**Figure 2-2 carta del pericolo incendi boschivi relativa alla regione. 19
Figure 2-3 Carta dell'estensione degli incendi negli ultimi 5 anni.**Errore. Il segnalibro non è definito.**Figure 2-4 Carta del rischio presente nell'attuale Piano Operativo Antincendio Boschivo. 20
Figure 2-5 Carta qualitativa della media degli accumuli massimi delle precipitazioni di 24h. 20*Figure 2-6 Media storica dell'FWI emersa dall'analisi del dataset CHAPTER/RISICO. Dall'immagine emerge come storicamente i valori di FWI maggiori siano collocati nelle zone costiere e nella fascia appenninica della Regione.* 23Figure 2-7 Media stagionale dell'FWI in base alla proiezione RCP2.6, ossia la proiezione "medium-case". 24Figure 2-8 .1 and 2: A sinistra la simulazione storica dei giorni con FWI maggiore di 30 nel "worst case", "best case" e "medium case" scenario. A destra la proiezione futura del numero di giorni con FWI>30, nei 3 casi di proiezione. 38Figure 2-9 On the left from the top: burneable vegetation, seasonal FWI, protected areas, restoration cost. On the right from the top: danger index, irreplaceability index, population density, wildland-urban interface. 40Figure 2-10 A sinistra: proiezione delle precipitazioni massime annuali (2041-2070) delle precipitazioni di 3h rispettivamente (dall'alto verso il basso) per le città di Campobasso, Isernia e Termoli. A destra ci sono i relativi GEV distributions. Il dato CHAPTER/RISICO è stato usato per questa elaborazione. 28Figure 2-11 Precipitazioni attese per gli eventi di 3h nel periodo 2041-2070 per la città di Campobasso (in alto a sinistra), Isernia (in alto a destra) e Termoli (in basso) per tempi di ritorno rispettivamente di 2, 5, 10, 50 e 100 anni. 29Figure 2-12 Media delle precipitazioni massime di 24h in eventi con diversi tempi di ritorno (2, 5, 10, 50, 100 e 500 anni) nella proiezione futura "worst case" (RCP8.5) e passata (historical). L'immagine è stata prodotta dall'utilizzo del dataset CHAPTER/RISICO. 30Figure 2-13 Media delle precipitazioni massime di 24h in eventi con diversi tempi di ritorno (2, 5, 10, 50, 100 e 500 anni) nella proiezione

futura “worst case” (RCP8.5) e passata (historical). L’immagine è stata prodotta dal dataset della rete regionale. 30Figure 2-14 Proiezioni al 2041 - 2070 delle precipitazioni di 24 nello scenario RCP2.6. L’immagine a sinistra è stata realizzata usando il dataset CHAPTER/RISICO, l’immagine a destra il dataset della rete regionale. Le carte interne mostrano, per entrambi i casi il livello assoluto (sinistra) e relativo (destra) del cambiamento. 31Figure 2-15 Proiezioni al 2041 - 2070 delle precipitazioni di 24 nello scenario RCP4.5. L’immagine a sinistra è stata realizzata usando il dataset CHAPTER/RISICO, l’immagine a destra il dataset della rete regionale. Le carte interne mostrano, per entrambi i casi il livello assoluto (sinistra) e relativo (destra) del cambiamento. 32Figure 2-16 Proiezioni al 2041 - 2070 delle precipitazioni di 24 nello scenario RCP8.5. L’immagine a sinistra è stata realizzata usando il dataset CHAPTER/RISICO, l’immagine a destra il dataset della rete regionale. Le carte interne mostrano, per entrambi i casi il livello assoluto (sinistra) e relativo (destra) del cambiamento. 35Figure 2-17 A sinistra il cambiamento di frequenza e magnitudo delle precipitazioni soglia 100mm/24h nella proiezione 2041-2070 con l’utilizzo del dataset CHAPTER/RISICO. A destra le stesse immagini ma con l’utilizzo del dataset rete regionale. 39Figure 2-18 Tabella valutazione delle priorità dei rischi a cui Regione Molise è soggetta. 50Figure 2-19 1-4 – andamento climatologico recente delle massime precipitazioni annuali per i timespan da 3 a 24 ore con evidenziate le funzioni lineari interpolanti con relative equazioni58

List of tables

Table 1-1 – Project Team 8
Table 2-1 List of main stakeholders 13
Table 2-2 Data overview workflow #1 21
Table 2-3Table 2-4 Data overview workflow #2 26
Table 2-5 Area A – Termoli – 75 m . – tabella 1 40
Table 2-6 Area B – Campobasso – 751 m. – tabella 2 41
Table 2-7 Area C – Roccamandolfi – 851 m. – tabella 3 42
Table 2-8 Area D – Pietrabbondante – 955 m. – tabella 4 43

Abbreviations and acronyms

Abbreviation / acronym	Description
CLIMol	Extended multi-risks analysis for forecasting, monitoring, mitigation and adaptation strategies in Molise (CLIMol)
CLIMAAX	CLIMAte risk and vulnerability Assessment framework and toolboX
CRA	Climate Risk Assessment
ERA5	ECMWF Reanalysis 5th Generation Dataset
FWI	Fire Weather Index
WUI	Wildland Urban Interface
D.L.	Decreto legislativo
RCP	Representative Concentration Pathway
EURO-CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment - European Domain
GCM	General Circulation Model
CAE	CAE S.p.A
RCM	Regional Climate Model

Executive summary

Il presente documento illustra i risultati della Fase 2 del Progetto CLIMol realizzata nell'ambito del progetto CLIMAAX per la Regione Molise, in Italia. Il rapporto risponde all'esigenza cruciale di valutare in modo sistematico i potenziali rischi climatici - derivanti in primis dalla vulnerabilità del territorio e dalla capacità adattiva dello stesso - al fine di supportare processi decisionali informati e rafforzare la resilienza del territorio di fronte ai cambiamenti climatici.

Nel documento viene presentata un'analisi approfondita dei principali pericoli climatici che interessano il Molise (piogge intense da 3 a 24 ore, dunque sia di tipo impulsivo, sia di tipo persistente ed incendi boschivi) tramite l'utilizzo di dati ad alta risoluzione spaziale.

In questa fase sono stati utilizzati due metodologie, la prima è quella messa a disposizione da CLIMAAX, per il quale sono stati utilizzati due algoritmi di calcolo in ambiente Python mentre il secondo è relativo ad una metodologia sviluppata a livello meso-climatico regionale.

Questa seconda fase del Progetto ha come obiettivo l'analisi di dati provenienti dalle reti meteorologiche ufficiali alla scala regionale ed inerenti le cumulate meteoriche (somma delle precipitazioni liquide e solide) da tra a 24 ore e circa l'indice canadese FWI - Fire Weather Index - come strumento previsionale del comportamento degli incendi boschivi.

Questa doppia elaborazione dovrebbe permettere di avere un maggior dettaglio del singolo rischio, permettendo quindi una migliore analisi territoriale e delle migliori strategie di mitigazione.

Per quanto riguarda le precipitazioni intense, come appena anticipato, nel primo metodo sono stati usati come fonte di dati, due dataset - ossia quello relativo alle stazioni meteorologiche dislocate sul territorio (dataset rete regionale) e un dataset estrapolato dal downscaling del modello ERA5 avente circa 3km di risoluzione e poi riproiettato (dataset CHAPTER/RISICO). Per entrambi i dataset è stato applicato l'algoritmo messo a disposizione da CLIMAAX.
Nel secondo metodo è stato usato il dataset di piogge regionale, interpolato mediante applicazione di statistica regressiva multipla e proiettato su tutto il territorio regionale, insieme ad altri dati di vulnerabilità più precisi.

Anche per l'analisi dell'FWI è stata seguita una doppia metodologia di calcolo. Nel primo metodo, come suggerito dal progetto CLIMAAX, è stato eseguito un *run* dell'FWI a scala regionale utilizzando il dataset CHAPTER/RISICO, utilizzando il modello di previsione meteorologica WRF. Il downscaling permette di avere informazioni più di dettaglio per le variabili di interesse. Il *run* copre il timespan 1981-2022. Anche in questo caso è stato usato il modello messo a disposizione da CLIMAAx tramite il Toolbox dedicato per eseguire le medesime analisi protratte nella fase 1. Nel secondo metodo l'analisi del pericolo e del rischio associato sono state condotte secondo metodologie e dati provenienti dalla Regione; nei successivi capitoli verrà presentato il risultato delle applicazioni ed una relativa analisi critica.

Nel complesso emerge quanto segue:

Settore Incendi boschivi: le proiezioni climatiche future confermano quanto emerso nella precedente fase; ossia un generale peggioramento delle condizioni meteo-climatologiche che potrebbero determinare valori di FWI molto alti, con probabile scenario sempre più frequente di incendi estremo. Il secondo metodo ha permesso di caratterizzare dal punto di vista spazio - altitudinale le aree maggiormente esposte a tale rischio.

Settore precipitazioni intense ed abbondanti: il primo metodo evidenzia una situazione ancora non ben definita, in quanto le proiezioni future non sono omogenee e dipendono fortemente all'input iniziale utilizzato per i calcoli climatologici; l'esecuzione dell'algoritmo partendo dai due dataset differenti di dati (quelli modellistici simulati e quelli reali) propongono a risultati discordanti. Il modello applicato ad CHAPTER/RISICO mostra condizioni future caratterizzate da soglie pluviometriche per i differenti tempi di ritorno più cautelative rispetto al dataset della rete regionale. Il secondo metodo mostra una situazione più omogenea, sia per le precipitazioni di 3h sia per quelle di 24h e fa emergere abbastanza chiaramente quali siano le aree maggiormente esposte alle problematiche di rischio associato.

Mediante una approfondita analisi incrociata sulle mappe di rischio derivanti dal secondo metodo per valutare la priorità e le macro aree su cui ipoteticamente si dovranno progettare e formulare azioni di mitigazioni dedicate alle differenti scale spaziali e temporali.

1 Introduction

1.1 Background

La Regione Molise si colloca nella parte centro sud dell'Italia, fra Abruzzo, Lazio, Campania e Puglia. Ospita circa 289.224 abitanti, concentrati nella maggior parte nelle grandi città di Isernia, Campobasso e Termoli, in un contesto collinare e montano molto diffuso su tutta la Regione. La topografia diventa più dolce in prossimità del mare.

Il Molise è composto per circa il 55,3% da aree montuose e per il 44,7% da zone collinari. Il clima è di tipo semi-continentale, con inverni generalmente freddi e nevosi ed estati calde e afose; tuttavia, negli ultimi anni si sono registrati inverni più miti e privi di neve, e estati più secche. I fiumi hanno in genere un regime torrentizio, con portate che si riducono quasi completamente durante l'estate. Sono presenti diverse aree naturali protette, come il Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise ed il Parco Nazionale del Matese, caratterizzato da zone boschive ad alta biodiversità. In Molise sono presenti due riserve Man and Biosphere UNESCO, quella di Collemeluccio e quella di Montedimezzo.

Social Sector

La distribuzione della popolazione nel territorio segue l'andamento geomorfologico. Le grandi città sono situate nelle condizioni morfologiche più dolci e pianeggianti, tuttavia la concentrazione della popolazione nelle aree rurali è alta. Rimane consistente il flusso migratorio che porta soprattutto la popolazione giovane a spostarsi verso le grandi città, portando con se due conseguenze gravi: l'abbandono delle aree rurali, con conseguente aumento della superficie boschiva e l'invecchiamento della popolazione in tali aree.

L'invecchiamento della popolazione non è derivato solo dalla migrazione delle nuove generazioni, ma anche dal calo delle nascite, portando così ad un cambiamento degli equilibri sociali ed economici che coinvolgono tutta la regione.

Economic Sector

L'economia della Regione Molise risiede prevalentemente in agricoltura, turismo e industria di piccola scala. Questi settori (in particolar modo il primo ed il terzo) sono estremamente soggetti agli effetti del cambiamento climatico, in quanto impattando profondamente sul territorio, ne influenzano le attività produttive. Il turismo, essendo più concentrato nelle stagioni estive e nelle zone costiere, risente meno di tali effetti se non nei periodi vacanzieri.

Altri piccoli settori economici, ma pur sempre rilevanti, riguardano la pastorizia e l'artigianato locale di qualità, come la lavorazione delle pelli o il settore tessile.

Settore di strutture ed infrastrutture

La Regione Molise è collegata col resto del Paese tramite strade statali ad alta percorrenza, nessuna autostrada collega Campobasso o Termoli agli altri capoluoghi di regione. La dislocazione di tale rete viaria è obbligatoriamente subordinata alla morfologia del territorio: le valli costituiscono il

canale principale di collegamento, ma sono anche le zone di territorio più sensibili ad eventi eccezionali come piogge intense o i loro effetti.

1.2 Main objectives of the project

Come indicato nella Strategia regionale di adattamento del Molise, l'obiettivo primario dell'Amministrazione regionale è quello di migliorare la valutazione dei rischi climatici adottando metodi scientifici all'avanguardia e i più recenti risultati della ricerca. L'utilizzo del quadro di riferimento del manuale CLIMAAX contribuisce a rendere operativo tale obiettivo. L'approccio multirischio introdotto dal progetto CLIMol rappresenta un significativo passo avanti, migliorando il livello di dettaglio delle analisi di vulnerabilità, aggiornando le mappe di rischio e integrando la modellizzazione di scenari futuri nell'elaborazione delle politiche. Questo processo ha anche permesso lo sviluppo e il miglioramento di un metodo regionale per l'analisi di questi rischi, affinando ciò che è stato fatto in passato.

Questi risultati analitici mirano ad assistere le autorità locali e le comunità nello sviluppo di piani di adattamento basati su dati concreti e nell'attuazione di azioni mirate e pertinenti. Il potenziamento della capacità di risposta e il rafforzamento della resilienza regionale richiedono l'impiego di strumenti analitici strutturati a livello locale, che consentano la creazione di sistemi di monitoraggio continuo dei rischi climatici. Questi miglioramenti infrastrutturali sono significativi per la gestione efficace degli incendi boschivi e dei rischi idrogeologici.

Durante la fase 1 del progetto sono state analizzate le proiezioni future (2041-2070) degli effetti del cambiamento climatico sulle piogge intense (3h e 24h) e sugli incendi boschivi partendo dal dataset fornito da Copernicus. I risultati hanno mostrato un'alta sensibilità della Regione al cambiamento climatico ed ai suoi effetti.

La fase 2 del progetto CLIMOL si propone di analizzare dati di maggiore risoluzione spaziale, in entrambi i metodi utilizzati, per poter avere un quadro di maggior dettaglio sui futuri effetti del cambiamento climatico. Gli obiettivi di questa seconda fase sono:

- Definizione delle aree maggiormente vulnerabili ai rischi analizzati, capire quali sono gli elementi di vulnerabilità e come tali rischi minacciano il territorio e la popolazione.
- Definizione di un primo inquadramento delle aree da tutelare in base alle esposizioni a rischi diversi.
- Valutazione ed analisi del sistema di raccolta dati meteorologici.

In sintesi, i principali benefici attesi dal progetto riguardano un'analisi approfondita dei rischi legati alle piogge intense e agli incendi boschivi, mediante l'utilizzo di metodi standardizzati e nuovi.

1.3 Project team

Al presente progetto hanno partecipato i seguenti attori:

Table 1-1 – Project Team

Nome	Descrizione	Ruolo nel progetto
Regione Molise	Ente pubblico con molteplici compiti, fra cui la gestione del settore forestazione e protezione civile.	Beneficiario del progetto, nonché coordinatore. Principale interlocutore con le istituzioni europee e i

		coordinatori di CLIMAAx. Ente preposto al coinvolgimento di portatori di interesse. Ente predisposto alla comunicazione e alla pubblicità del progetto. Ente fornitore di alcuni dati di analisi
Beta 80	Azienda specializzata nella gestione di *big data*.	Soggetto fornitore di tecnici ad alta specializzazione nella gestione dei dati per l'esecuzione degli algoritmi.
D.R.E.Am Italia	Cooperativa forestale, specializzata nella materia di ingegneria ambientale e antincendio boschivo.	Soggetto fornitore di tecnici esperti nell'antincendio boschivo e nella meteorologia applicata alla protezione civile.

1.4 Outline of the document's structure

Il documento è organizzato come segue. La prima parte (Capitolo 1) introduce questa seconda parte del progetto CLIMol riprendendo alcuni aspetti presentati precedentemente.

La seconda parte, il nucleo del progetto, si propone di spiegare materiali, metodi e risultati che sono stati utilizzati e raggiunti durante la fase di esecuzione. Il capitolo 2 è diviso in diversi sottocapitoli, ognuno dei quali affronta parallelamente i due rischi analizzati nel progetto CLIMol, ossia incendi boschivi e piogge intense.

La terza parte (Capitolo 3) riguarda la parte conclusiva, in cui si espongono brevemente i risultati e se ne commenta la loro validità e significato.

2 Climate risk assessment – phase 2

La fase di scoping è necessaria per definire gli step successivi alla fase 1. Dopo l'esecuzione, nella fase 1 dell'algoritmo messo a disposizione dal progetto CLIMAAx tramite il toolbox, adesso è necessario, prima di pianificare le azioni pratiche per la mitigazione dei rischi analizzati, validare ed applicare alla realtà locale i risultati ottenuti tramite l'utilizzo di dati a maggiore risoluzione spaziale nei 2 metodi applicati.

2.1 Scoping

Il secondo deliverable del progetto CLIMol si sviluppa in un contesto abbastanza invariato rispetto alla prima fase. Rimane l'obiettivo di definire quali sono effettivamente i rischi quantificati sul territorio regionale, con dati a maggiore risoluzione spaziale.

L'esecuzione di questa seconda fase ha trovato limiti nel reperimento di dati di origine locale, in quanto le stazioni meteo sono state implementate nel tempo, a partire dagli anni '90. Questo ha portato a due problematiche principali:

1. La risoluzione temporale dei dati non è sufficiente per avere validità statistica e le varie stazioni sono state installate in anni diversi
2. La risoluzione spaziale delle stesse non copre tutto il territorio regionale, in quanto la fase di implementazione di nuove stazioni è ancora in essere.

2.1.1 Objectives

L'obiettivo principale della Valutazione del Rischio Climatico (CRA) nell'ambito della seconda fase del progetto CLIMol è quello di perseguire quello fornito nella fase 1, ossia fornire una comprensione chiara e basata su due dataset differenti dei due pericoli climatici rilevanti per la Regione Molise: le precipitazioni intense e gli incendi boschivi. Ciò viene realizzato utilizzando due metodi: il primo segue la metodologia e gli strumenti forniti dalla Valutazione del Rischio Climatico CLIMAAX, al fine di fornire uno strumento operativo per i processi politico/gestionali volti alla mitigazione del multirischio, il secondo metodo è invece di origine regionale e segue tutt'altro approccio. Nello specifico, CLIMol mira da un lato a produrre una serie di mappe, tra cui mappe di rischio, da usare come base per la fase 3 del progetto CLIMOl, per l'elaborazione di interventi piccoli, mirati ed efficienti, dall'altro di cercare altre azioni efficienti per mitigare i rischi analizzati.

Le specifiche degli interventi (piccoli, mirati ed efficienti) derivano dalla pressante necessità di tutela della popolazione, del patrimonio culturale e naturalistico della Regione e dalla mancanza di risorse adeguate per poter gestire propriamente *tutto* il territorio Regionale. Inoltre, fra gli obiettivi prefissati, emerge anche la necessità di programmare futuri interventi di manutenzione, in modo che lo sforzo e le risorse impiegati in fase progettuale trovino ricompensa nel medio e lungo termine.

I limiti in questa fase possono essere i seguenti:

- Reperibilità di un dataset sufficientemente ampio (sia spazialmente che temporalmente) per avere validità statistica e pratica.
- Coinvolgimento di altri portatori di interesse e soprattutto della popolazione.
- Applicabilità dei dati usati come base per la mappatura degli interventi futuri.

2.1.2 Context

Il Sistema di Protezione Civile regionale è disciplinato dal Decreto Legislativo n. 1 del 2 gennaio 2018, che definisce le responsabilità e i compiti sia del Governo centrale che delle singole Regioni. Tuttavia, tale legge non specifica particolari procedure di pianificazione sociale e territoriale per affrontare le questioni di protezione civile legate ai rischi climatici. Inoltre, le Regioni sono interamente responsabili della prevenzione degli incendi boschivi, della previsione e della lotta attiva contro gli incendi. Le Regioni hanno l'autorità di delegare questi compiti ai propri settori della Protezione Civile o delle Foreste. In Molise, la gestione degli incendi boschivi rientra nella giurisdizione della Protezione Civile sui settori di previsione e lotta attiva..

Il progetto CLIMol opera in un contesto regionale in cui il Servizio di Protezione Civile supervisiona sia gli incendi boschivi che gli eventi di piogge intense. Tuttavia, mentre esiste un documento per la gestione e la pianificazione degli incendi boschivi basato sulle leggi e sulle linee guida nazionali (Piano operativo Antincendio Boschivo della Regione Molise), il quadro giuridico relativo alle piogge intense riguarda solo la previsione e il monitoraggio degli eventi, e non la gestione operativa delle emergenze (Sistema Multirischio della Regione Molise, Cardillo, 2018 / Sistema Regionale Multirischio della Regione Molise, Cardillo, 2018). Ciò, unito a un contesto regionale caratterizzato da scarse risorse, ha portato all'assenza di una pianificazione completa dei rischi (o di strategie multirischio - immagine 2,1).

Il contesto politico e istituzionale favorisce una risposta alle crisi ambientali incentrata sulle emergenze, ponendo l'accento sulla prevenzione principalmente attraverso la formazione degli operatori a diversi livelli.

Persiste ancora la forte convinzione che le emergenze ambientali debbano essere gestite con interventi di pronto intervento piuttosto che con la prevenzione, ma si ritiene che questa non sia la strada giusta da perseguire per un'efficace mitigazione del multirischio. Sebbene la formazione degli operatori abbia recentemente acquisito maggiore importanza, il che rappresenta un passo positivo, essa rimane comunque inadeguata. Un approccio preventivo, basato su solidi dati ed analisi scientifiche, che si manifesti sul territorio tramite azioni di gestione attiva del territorio stesso sembra essere la soluzione più efficace e, grazie a CLIMol, il Molise ha ora questa opportunità.

I settori più vulnerabili agli eventi estremi sono proprio quelli che sostengono l'economia rurale della Regione, come l'agricoltura e la pastorizia, insieme alle stesse comunità rurali. Tuttavia, è importante sottolineare che quasi tutta la popolazione è esposta a rischi ambientali, in particolare a causa delle forti piogge, a causa delle caratteristiche topografiche della regione.

Il progetto CLIMol mira a coordinare la gestione dei vari rischi e a sviluppare un approccio proattivo alle emergenze, con il sostegno essenziale della popolazione e di molteplici parti interessate, tra cui le associazioni di categoria e le autorità locali.

2.1.3 Participation and risk ownership

Purtroppo in questo scenario complesso, i soggetti interessati sono molteplici, per cui si ritiene che i portatori di interesse siano i seguenti:

- Trade associations
- Regional bodies and agencies

- Educational institutions
- Public institutions
- Media
- NGOs
- Research and training (Academia)
- Healthcare

2.1.4 Application of principles

Il principio su cui si dovrebbero basare le opere di prevenzione, in particolar modo quelle relative ai rischi ambientali, è che tutti i soggetti facenti parte di un territorio dovrebbero essere coinvolti. Il territorio, in quanto tale, è un elemento strettamente vissuto da *tutti*, tuttavia ben pochi ne sono consapevoli. L'obiettivo di CLIMol in questo contesto è quello di realizzare, fra le altre cose, una campagna pubblicitaria volta all'importanza dell'uso e della gestione attiva del territorio. Per perseguire questo scopo sono stati necessariamente coinvolti altri portatori di interesse, fra cui scolaresche, associazioni di volontariato ambientale e associazioni di categoria.

Un secondo pilastro che regge la prevenzione ambientale è l'analisi dei rischi e l'efficienza delle azioni che ne conseguono. Quest'ultimo aspetto, che verrà approfondito nella phase 3, si basa sul fatto che tutti gli attori coinvolti debbano necessariamente *concordare*, *condividere e applicare* le azioni analizzate, garantendo la massima trasparenza nella loro esecuzione. Si ritiene infatti che interventi "top-down" siano economicamente inutili e in molti casi dannosi.

2.1.5 Stakeholder engagement

In linea con gli obiettivi del Deliverable 2, la presente sezione integra la mappatura sistematica degli stakeholder, volta a censire capillarmente tutti i soggetti istituzionali e privati che, a vario titolo, saranno interessati dalle successive fasi di consultazione. Tale censimento è finalizzato a strutturare i futuri incontri di presentazione dei risultati e a co-progettare le strategie di adattamento con gli attori chiave del territorio. Si specifica, tuttavia, che il coinvolgimento diretto di tali soggetti non è stato formalizzato entro la scadenza di giugno 2026. Questa scelta strategica e temporale è stata determinata dalla necessità di far confluire le risorse disponibili in un'articolata e prioritaria attività di ricerca. Nello specifico, ci si è concentrati sullo studio analitico della rete regionale e sulla complessa elaborazione dei dati ambientali. L'attività si è focalizzata sulla ricostruzione delle serie storiche di precipitazione, raccogliendo e normalizzando le informazioni grezze registrate capillarmente dalle centraline meteo di rilevamento dislocate sul territorio regionale. L'analisi statistica di tali serie storiche ha permesso di mappare i trend pluviometrici di lungo periodo, l'evoluzione dei regimi piovosi e la frequenza degli eventi meteo-climatici estremi a scala locale. Questo dataset empirico ha richiesto un considerevole sforzo metodologico per eseguire un confronto rigoroso con gli output predittivi e i modelli di rischio derivanti dagli algoritmi del framework europeo CLIMAAX (Climate Risk and Vulnerability Assessment). Questa fase di calibrazione e validazione scientifica si è rivelata imprescindibile per verificare la coerenza tra le stime degli algoritmi e i dati reali di terra, costituendo il presupposto tecnico necessario per la successiva condivisione delle politiche di resilienza con gli stakeholder.

Table 2-1 List of main stakeholders

CATEGORIA	DENOMINAZIONE	CONTATTO
Water, energy, and transportation network utilities and infrastructure managers	AZIENDA SPECIALE MOLISE ACQUE	protocollo@pec.moliseacque.com
Water, energy, and transportation network utilities and infrastructure managers	GRIM	grimolise@pec.it
Water, energy, and transportation network utilities and infrastructure managers	ENEL GREEN POWER	enelgreenpoweritalia@pec.enel.it
Water, energy, and transportation network utilities and infrastructure managers	ANAS DIREZIONE REGIONALE MOLISE	anas.molise@postacert.stradeanas.it
Water, energy, and transportation network utilities and infrastructure managers	PROVINCIA DI ISERNIA - SETTORE AMBIENTE	protocollo@pec.provincia.isernia.it
Water, energy, and transportation network utilities and infrastructure managers	PROVINCIA DI ISERNIA - SETTORE VIABILITÀ	protocollo@pec.provincia.isernia.it
Water, energy, and transportation network utilities and infrastructure managers	PROVINCIA DI CAMPOBASSO - SETTORE AMBIENTE	provincia.campobasso@legalmail.it
Water, energy, and transportation network utilities and infrastructure managers	PROVINCIA DI CAMPOBASSO - SETTORE VIABILITÀ	provincia.campobasso@legalmail.it
Schools, Academic and researchers' institutions	UFFICIO SCOLASTICO REGIONALE	drmo@postacert.istruzione.it
Schools, Academic and researchers' institutions	UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DEL MOLISE	amministrazione.cert@unimol.it
Schools, Academic and researchers' institutions	CIMA FOUNDATION	cimafoundation@pec.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	PRESIDENTE DELLA GIUNTA REGIONALE	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	ASSESSORE REGIONALE ALL'AGRICOLTURA	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	ASSESSORE REGIONALE ALL'ENERGIA	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	ASSESSORE REGIONALE ALL'AMBIENTE	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	ASSESSORE REGIONALE AI LAVORI PUBBLICI	regionemolise@cert.regione.molise.it

Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	ASSESSORE ALLA COOPERAZIONE TERRITORIALE EUROPEA	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	CONSIGLIERE DELEGATO AI FONDI EUROPEI	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	CONSIGLIERE DELEGATO SISTEMA IDRICO INTEGRATO	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	CONSIGLIERE DELEGATO AI FONDI EUROPEI	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	CONSIGLIERE DELEGATO AI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	DIRETTORE GENERALE	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	DIRETTORE REGIONALE ALLA SALUTE	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	SERVIZIO COMPETITIVITA' DEI SISTEMI PRODUTTIVI - COOPERAZIONE TERRITORIALE EUROPEA	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	SERVIZIO TUTELA E VALUTAZIONI AMBIENTALI - FITOSANITARIO REGIONALE	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	SERVIZIO PROGRAMMAZIONE POLITICHE ENERGETICHE	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	SERVIZIO TUTELA E VALORIZZAZIONE DELLA MONTAGNA E DELLE FORESTE, BIODIVERSITA' AGRICOLA E GESTIONE FITO-SANITARIA	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	SERVIZIO SISTEMI INFORMATIVI E TRANSIZIONE AL DIGITALE	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	SERVIZIO PIANIFICAZIONE E GESTIONE TERRITORIALE E PAESAGGISTICA - TECNICO DELLE COSTRUZIONI	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	SERVIZIO GEOLOGICO	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	SERVIZIO INFRASTRUTTURE E LAVORI PUBBLICI	regionemolise@cert.regione.molise.it

Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	SERVIZIO MOBILITA'	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional services with direct competence on agriculture, environment, territory and energy	SERVIZIO DIFESA DEL SUOLO, DEMANIO, OPERE IDRAULICHE E MARITTIME - IDRICO INTEGRATO	regionemolise@cert.regione.molise.it
Regional public agencies with direct competence on agriculture, environment and territory	ARPA MOLISE	arpamolise@legalmail.it [1]
Regional public agencies with direct competence on agriculture, environment and territory	ARSARP	arsarp@legalmail.it
Civil protection and emergency services	SERVIZIO DI PROTEZIONE CIVILE	regionemolise@cert.regione.molise.it
Civil protection and emergency services	SERVIZIO PER LA GESTIONE DELLE EMERGENZE REGIONALI 112	regionemolise@cert.regione.molise.it
Civil protection and emergency services	DIPARTIMENTO NAZIONALE DI PROTEZIONE CIVILE	protezionecivile@pec.governo.it
Civil protection and emergency services	PREFETTURA DI CAMPOBASSO	protocollo.prefcb@pec.interno.it
Civil protection and emergency services	PREFETTURA DI ISERNIA	protocollo.prefis@pec.interno.it
Civil protection and emergency services	VIGILI DEL FUOCO - COMANDO CAMPOBASSO	com.campobasso@cert.vigilfuoco.it
Civil protection and emergency services	VIGILI DEL FUOCO - COMANDO ISERNIA	com.isernia@cert.vigilfuoco.it
Civil protection and emergency services	VIGILI DEL FUOCO - DIREZIONE CAMPOBASSO	dir.molise@cert.vigilfuoco.it
Civil protection and emergency services	CARABINIERI FORESTALE - GRUPPO CAMPOBASSO	fcb43304@pec.carabinieri.it
Civil protection and emergency services	CARABINIERI FORESTALE - GRUPPO ISERNIA	fis43319@pec.carabinieri.it
Civil protection and emergency services	CARABINIERI - REPARTO BIODIVERSITÀ ISERNIA	fis43349@pec.carabinieri.it
Business companies	ARPES SRL	arpes@pec.it

Business companies	TIM SPA	gare.palcentro2@pec.telecomitalia.it
Business companies	BETA 80 GROUP SPA	beta80spa@legalmail.it
Business companies	FASTWEB + VODAFONE SPA	telefoniamobile9@vodafone.pec.it

Il **15 settembre 2026** si è svolto un workshop che ha coinvolto gli stakeholder precedentemente elencati. Per facilitare la partecipazione, l'evento è stato organizzato in modalità ibrida (in presenza e da remoto).

L'evento è stato un momento di confronto sull'emergenza climatica in Molise, focalizzato sui crescenti rischi di piogge intense e incendi boschivi. Durante l'incontro sono stati presentati i primi risultati del progetto CLIMol (iniziativa europea CLIMAAX – Horizon Europe), il quale adotta un approccio multirischio. Mettendo in relazione i dati meteo regionali ed europei con la vulnerabilità del territorio, individuando le aree più esposte per definire efficaci strategie future di prevenzione e adattamento.

I dettagli dell'evento sono riportati nell'allegato:

CLIMAAX-CLIMOL_Resoconto _workshop_20260915(https://doi.org/10.5281/zenodo.23213400)

Il documento raccoglie gli esiti e i dati del workshop territoriale focalizzato sull'emergenza climatica nella Regione Molise. La relazione si articola nelle seguenti macro-aree:

- Premessa e Contesto: Presentazione del progetto *CLIMol* per l'analisi multirischio e la prevenzione sul territorio molisano.
- Partecipazione e KPI: Analisi dell'affluenza (54 partecipanti complessivi tra presenza e remoto), coinvolgimento di 14 categorie di stakeholder e verifica del superamento dei target di comunicazione previsti dal progetto.
- Risultati del Questionario: Sintesi delle opinioni dei partecipanti su soluzioni basate sulla natura, investimenti futuri nei settori agricolo/forestale e azioni di educazione ecologica nelle scuole.

2.2 Risk Exploration

Regione Molise, come specificato nel Deliverable della fase 1, è soggetta a molti rischi ambientali a causa della sua collocazione e struttura geografica: l'ambiente collinare e montano determina spesso precipitazioni intense di origine sinottica, portando anche a problemi legati a precipitazioni nevose e raffiche di vento estremamente sostenute. La morfologia del territorio infatti intercetta l'aria mite ed umida che proviene dal mare che, condensandosi, scarica sulla regione. Negli ultimi anni, è stato notato come questa dinamica si sia intensificata prevalentemente a causa del riscaldamento dei mari che aumentano l'energia dei sistemi temporaleschi. [Cardillo et al., 2024, Cardillo et al., 2017, Cardillo et al., 2009]

D'altra parte, l'altra faccia della medaglia, ossia una delle cause scatenanti del riscaldamento dei mari, sono le ondate di calore. È stato notato come il loro regime sia cambiato sia in termini di periodo, sia in termini di durata [Cardillo et al., 2024, Cardillo et al., 2017, Cardillo et al., 2009]. Questo fenomeno porta a delle anomalie termiche che hanno effetti gravi sullo stato del combustibile (morto e vivo) che influenza a sua volta il comportamento degli incendi, rendendoli sempre meno gestibili e sempre più spesso fuori dalla capacità di estinzione, sia per risorse terrestri che aeree.

La Regione è soggetta anche ad altri rischi ambientali (nevicate intense, alluvioni, raffiche di vento intense), che possono derivare da situazioni sinottiche come descritto in precedenza. Si ritiene tuttavia, che gli eventi che hanno maggiore impatto sulla popolazione e sul territorio (in qualità di colture e sistemi agro-forestali, strutture ed infrastrutture) siano proprio le piogge intense e gli incendi boschivi.

2.2.2 Screen risks (selection of main hazards)

Come specificato nel capitolo precedente, i pericoli tenuti in considerazione nel presente deliverable sono gli stessi analizzati nella precedente fase (fase 1). Quindi il presente documento continua ad analizzare i pericoli e successivamente i rischi legati alle piogge intense 3h e 24h e agli incendi boschivi utilizzando due metodi.

Incendi boschivi

Per quanto riguarda l'analisi degli incendi boschivi Regione Molise ha adottato, come previsto da legge nazionale, il proprio Piano Operativo Antincendio Boschivo. Questo documento deve essere aggiornato periodicamente, con nuove statistiche e nuovi dati utili, fra cui anche quelli prodotti nel presente elaborato.

Precipitazioni intense

Per quanto riguarda le precipitazioni estreme i dati sono altrettanto allarmanti. Secondo il Sistema di Protezione Civile Regionale (https://protezionecivile.molise.it/rischio-meteo-idrogeologico/) gli ultimi anni hanno visto un rapido intensificarsi di eventi, concentrando le piogge cumulate annuali in pochi eventi gravosi.

Le analisi storiche, concentrate nel periodo 1951-2007, mostrano come gli eventi estremi (talvolta legati anche ad altri fenomeni, come precipitazioni nevose o venti forti) hanno avuto un impatto devastante sulla popolazione, in termini di infrastrutture e coltivi (si riportano a titolo di esempio gli eventi eccezionali del 2003 e 2023). L'ultimo evento gravoso è accaduto proprio ad aprile del 2026.

Come prevedibile, la statistica ha prodotto una carta relativa alla stima della distribuzione spaziale del valore medio del massimo annuale della precipitazione in 24 ore. Si nota in questa cartografia come le aree maggiormente colpite dalle precipitazioni intense siano nella fascia appenninica del territorio, ossia dove la relazione tra orografia e meteorologia gioca un ruolo chiave nelle dinamiche di precipitazione.

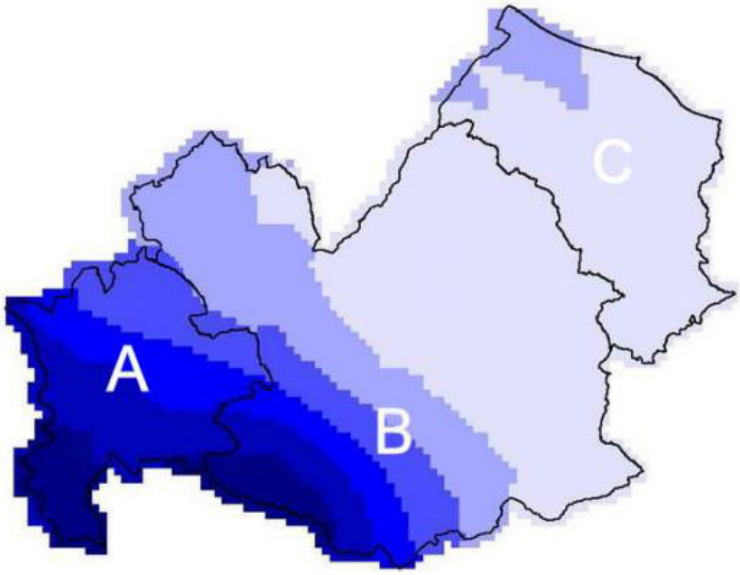


Figure 2-5 Carta qualitativa della media degli accumuli massimi delle precipitazioni di 24h.

La carta prodotta ha lo scopo non tanto di quantificare le precipitazioni nelle diverse aree del Molise, quanto fornire un'idea qualitativa delle aree maggiormente soggette a questo tipo di fenomeno.

In conclusione si può affermare che i rischi scelti trovano conferma nell'essere molto impattanti sul territorio anche in seguito ai recenti aggiornamenti. CLIMol si pone come obiettivo quello di integrare queste cartografie con informazioni incrociate al fine di individuare le più opportune aree strategiche di gestione.

2.2.3 Choose Scenario

Come la precedente fase, nel primo metodo utilizzato (applicazione dell'algoritmo CLIMAAX) lo scenario scelto per l'FWI è l'RCP 2.6, mentre per le precipitazioni estreme è l'RCP 8.5, anche se sono state condotte analisi anche con le proiezioni RCP 2.6 e RCP 4.5.
Nel secondo metodo applicato non sono stati scelti scenari di emissione, in quanto l'analisi fatta è relativa al momento dello studio: fornisce infatti una chiara idea di come - allo stato attuale - il Molise sia esposto ai rischi analizzati.

Precipitazioni estreme.

Il protocollo operativo adottato per le piogge intense ricalca la metodologia applicata alle "Extreme precipitation".

Nel primo metodo usato nella seconda fase, sono stati estrapolati i picchi annuali di pioggia (su intervalli di 3 e 24 ore) tramite un processo di *downscaling* del dataset ERA5. Successivamente, sono state applicate distribuzioni statistiche per stimare le precipitazioni massime attese e i relativi tempi di ritorno, differenziati per durata e scenario. L'analisi si è avvalsa delle proiezioni EURO-CORDEX con risoluzione di 12 km, focalizzandosi su frequenza e magnitudo come indicatori chiave della pericolosità. Il dataset di riferimento copre il trentennio storico 1976-2005, mentre le previsioni si estendono al periodo 2041-2070, integrando modelli globali (GCM) e regionali (RCM) con i diversi percorsi di concentrazione dei gas serra (RCP).

Nel secondo metodo, quello regionale, sono stati interpolati dati di origine locale per coprire l'intero territorio. Successivamente, tramite analisi della vulnerabilità dell'edificato, sono state prodotte cartografie relative al rischio piogge intense, sempre in eventi potenziali di 3h e 24h.

Indice FWI.

Il workflow scelto per gli Incendi boschivi è stato quello relativo all'FWI. Tale metodologia consente di monitorare l'evoluzione spaziale e temporale dell'indice e di analizzare le variazioni stagionali dei fenomeni, avvalendosi dei dati del Copernicus Climate Data Store. Come scenario predittivo principale è stato selezionato l'RCP 2.6. Le evidenze empiriche raccolte dai tecnici locali, integrate dalle simulazioni del modello FWI, confermano che questa minaccia è particolarmente critica per il Molise. Il rischio coinvolge non solo il patrimonio ecosistemico, ma anche l'incolumità pubblica, a causa della progressiva espansione delle zone di interfaccia urbano-bosco (WUI).

Nel metodo regionale, a differenza del caso precedente, non è stata eseguita l'analisi sull'FWI con dati locali, ma è stato fatto uno studio più ampio, andando a considerare l'orografia del territorio, la composizione e classificazione dei combustibili presenti e, anche in questo caso, la vulnerabilità della popolazione e delle infrastrutture.

2.3 Regionalized Risk Analysis

Per l'analisi del rischio incendi boschivi e precipitazioni intense in Regione Molise sono stati utilizzati dati a maggiore risoluzione spaziale. Come precedentemente specificato, i dati più precisi non derivano direttamente da un dataset regionale, ma da un downscaling di ERA5, in quanto il dato locale non è sufficientemente preciso a livello spaziale che temporale. Di seguito si riporta un breve confronto fra i modelli utilizzati durante la fase 1 e la fase 2:

- Fase 1: dataset derivante da Copernicus CDS, con 6 modelli EURO-CORDEX, con risoluzione temporale 1985 - 2004 e risoluzione spaziale di circa 12,5 km. L'insieme di modelli utilizzato simula il dato storico, non sono osservazioni.
- Fase 2: l'origine del dato è ERA5 (rianalisi di dati storici di Copernicus CDS). E' stato eseguito un downscaling a circa 2.2 km (risoluzione EUR-02) producendo così il dataset CHAPTER/RISICO. La risoluzione temporale 1985 - 2004. Il dataset di origine deriva da dati osservati.

Si rimarca quindi che, nel primo metodo utilizzato in questa seconda fase, la differenza fra le due fasi del progetto CLIMol, circa l'analisi dell'FWI, riguarda esclusivamente la componente storica, ossia il dato di partenza per l'analisi della pericolosità; il motivo risiede nel fatto che le proiezioni future utilizzano, sia nella fase 1 che nella fase 2, gli stessi modelli di proiezione (EURO-CORDEX). Diversi invece sono stati i risultati relativi alle piogge intense. Nei capitoli seguenti si spiegano metodologie utilizzate e risultati ottenuti.

2.3.1 Hazard #1 (Wildfire) - fine-tuning to local context. CLIMAAX algorithm approach

I dati utilizzati per il run dell'algoritmo di CLIMAAX, relativamente all'analisi dell'FWI storico, provengono dal dataset CHAPTER/RISICO (https://rdm.lab.lrz.de/records/0ppk7-znk14), ossia un downscaling a circa 2,2km di risoluzione di ERA5, utilizzando il modello di previsione meteorologica

WRF. Il downscaling permette di avere informazioni più di dettaglio per le variabili che costruiscono l'FWI (precipitazioni del giorno prima, vento, umidità e temperatura), coprendo il periodo 1981-2022 (il codice di *run* per questa estrapolazione è consultabile qui). I dati CHAPTER sono stati riproiettati sulla griglia EURO-CORDEX per garantire compatibilità con i modelli previsionali climatici. Il periodo storico utilizza dati osservati locali invece delle simulazioni, fornendo una baseline più accurata.

Per quanto riguarda le proiezioni future sono stati utilizzati modelli EURO-CORDEX (Copericus CDS), con dati di vulnerabilità EFFIS (relative alla vegetazione, popolazione, aree protette).

L'analisi portata avanti con l'utilizzo di dati a maggiore risoluzione spaziale (CHAPTER/RISICO) hanno fornito dei risultati diversi (relativamente alla fase 1) solo per quanto riguarda le proiezioni passate perchè, come scritto sopra, mentre i modelli EURO/CORDEX simulano l'andamento storico dell'FWI basandosi su variabili ambientali atmosferiche, il dataset usato in questa fase utilizza dati registrati.
Questo però comporta inevitabilmente ad avere gli stessi risultati nelle simulazioni future, in quanto i modelli predittivi sono gli stessi. Per cui si sceglie di adottare anche un'altra strada per indagare il rischio incendi boschivi, che è quella intrapresa per la redazione del Piano operativo Antincendi Boschivi della Regione, ossia una diversa analisi del territorio per ottenere un più risultato diverso che fornisca idea sul pericolo e rischio antincendi boschivi. Nei capitoli seguenti viene spiegato l'iter seguito.

2.3.1.1 Hazard assessment

L'analisi del pericolo incendi boschivi verte sull'elaborazione di dati storici osservati, come specificato nel capitolo precedente. Il pericolo consiste nella probabilità che un evento si verifichi in un determinato luogo, quindi è *indipendente* da fattori che ne scaturiscono la *gravità* dell'evento. Per ciò è stata fatta un'analisi dell'FWI storico con il procedimento descritto in precedenza.

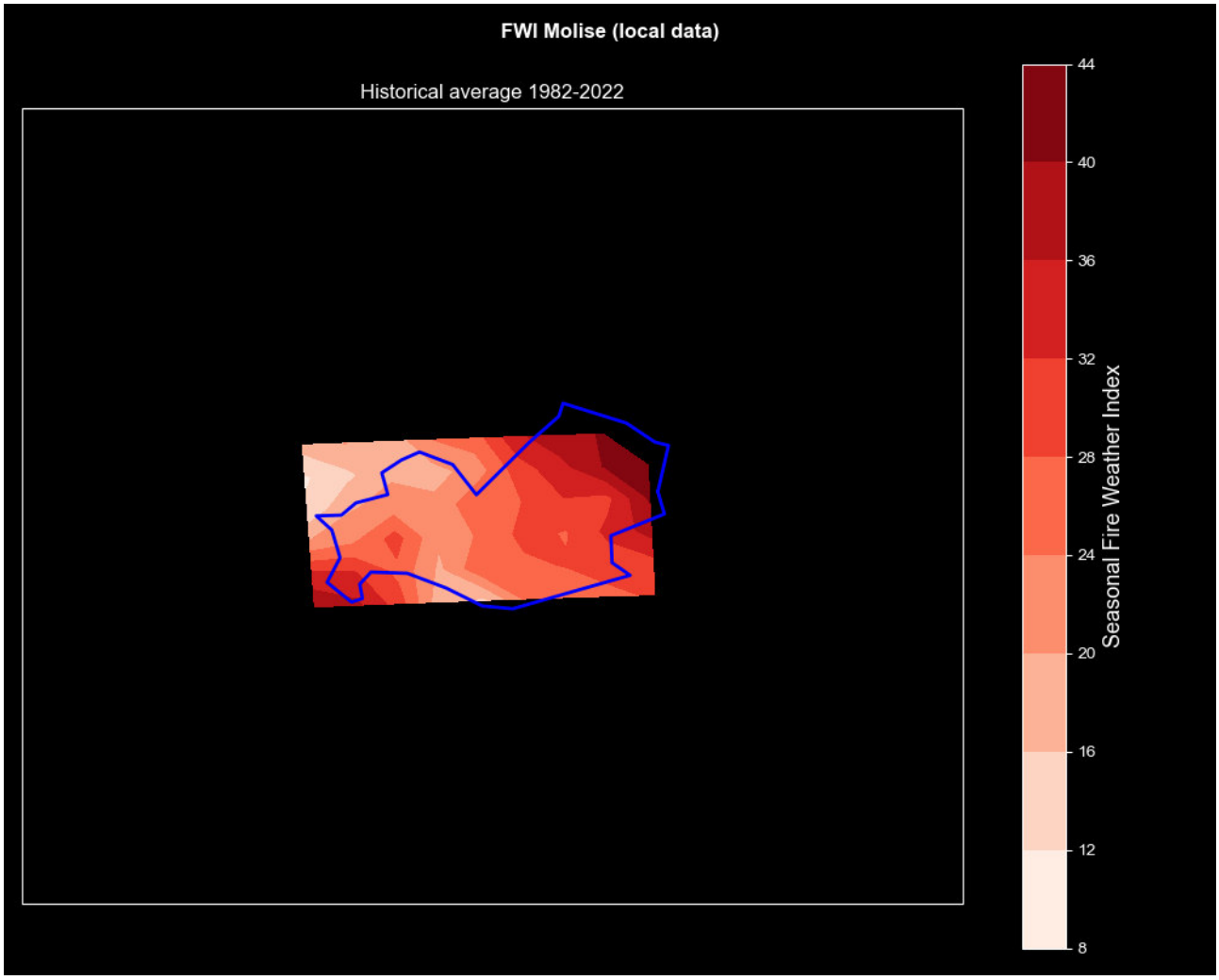


Figure 2-6 Media storica dell'FWI emersa dall'analisi del dataset CHAPTER/RISICO. Dall'immagine emerge come storicamente i valori di FWI maggiori siano collocati nelle zone costiere e nella fascia appenninica della Regione.

L'indice stagionale FWI esprime la media dei valori giornalieri registrati durante il periodo critico per gli incendi boschivi, convenzionalmente fissato tra giugno e settembre. Tale parametro si ottiene dal rapporto tra la sommatoria degli indici giornalieri e l'ampiezza temporale della stagione stessa. Nell'ambito del progetto CLIMol, sono stati analizzati due quinquenni specifici: 2046-2050 e 2051-2055. Per quanto riguarda le traiettorie di emissione, lo studio si è focalizzato sullo scenario RCP2.6, mantenendo gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 come varianti secondarie. Al fine di garantire una maggiore solidità statistica, è stata adottata la media dell'insieme multimodello (multi-model ensemble mean). In merito alla severità delle stime, il sistema permette di optare tra gli scenari "best-case", "worst-case" o "medium"; in questa sede, è stato selezionato quest'ultimo.

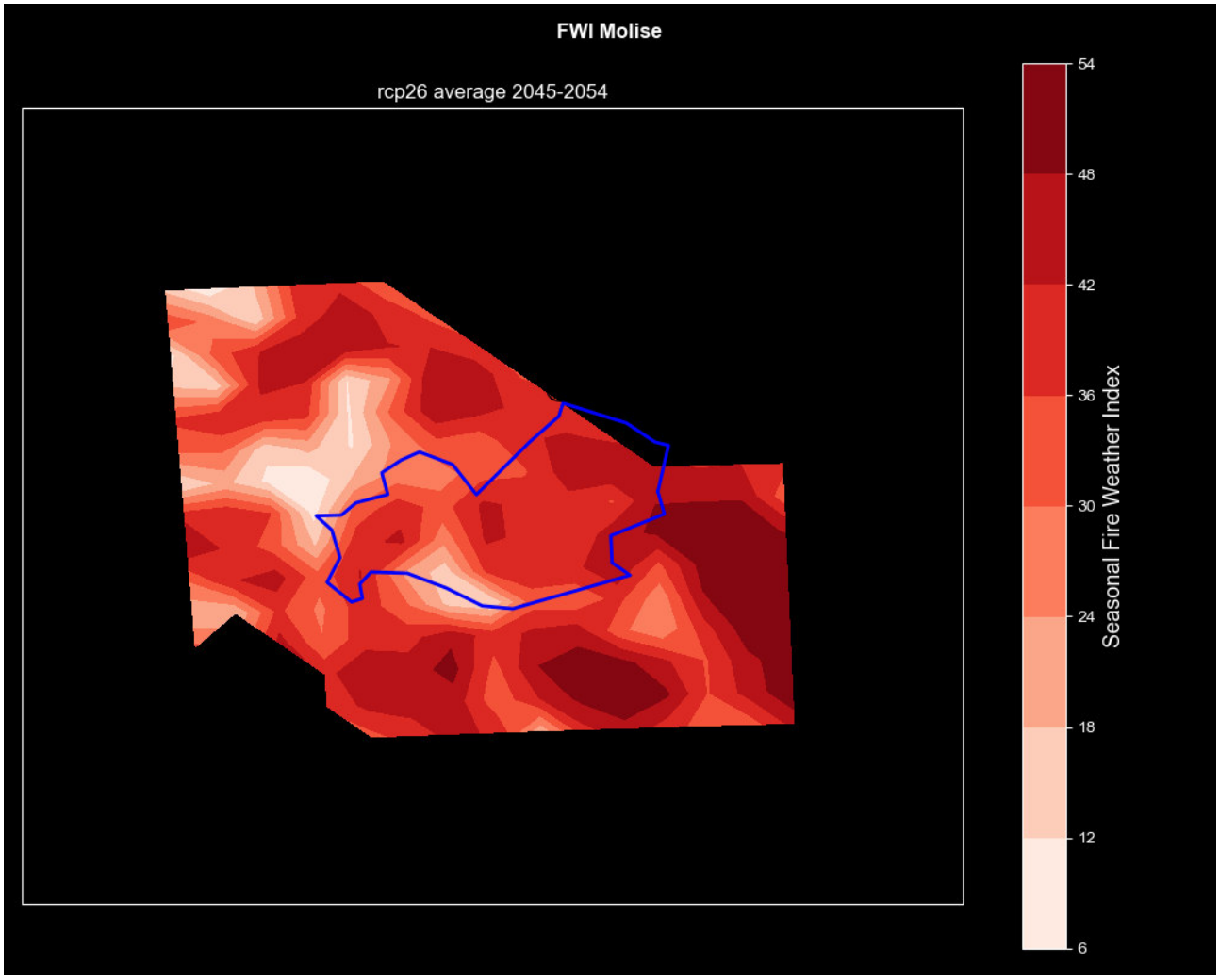


Figure 2-7 Media stagionale dell'FWI in base alla proiezione RCP2.6, ossia la proiezione "medium-case".

Le mappe storiche e previsionali permettono di valutare come il cambiamento climatico potrà influenzare la durata dei periodi a rischio incendio. Attraverso l'uso degli scenari "migliore", "medio" e "peggiore", si identifica la gamma di variazioni possibili. Gli estremi di questo intervallo sono ottenuti integrando la deviazione standard (relativa alla variabilità tra modelli e tra anni) al dato di base. Sebbene gli scenari possano apparire molto distanti tra loro a causa delle diverse stime FWI dei modelli climatici, tale ampiezza non pregiudica l'accuratezza dell'analisi. Al contrario, essa rappresenta il ventaglio di possibilità entro cui si muoveranno le condizioni future in Molise, includendo sia le proiezioni più ottimistiche sia quelle più estreme.

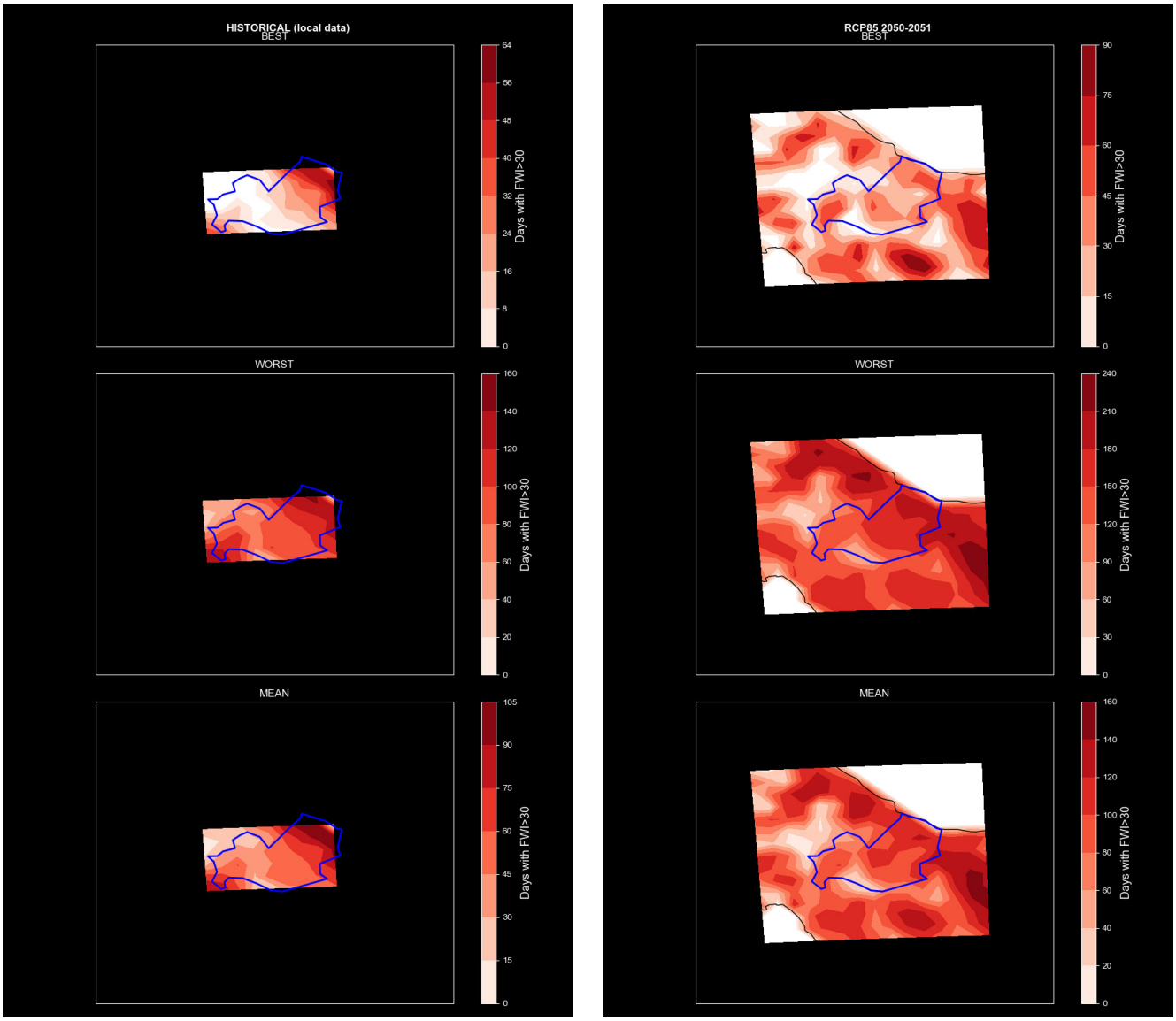


Figure 2-8 .1 and 2: A sinistra la simulazione storica dei giorni con FWI maggiore di 30 nel "worst case", "best case" e "medium case" scenario. A destra la proiezione futura del numero di giorni con FWI>30, nei 3 casi di proiezione.

Le due carte rappresentate supra mostrano la proiezione passata (a sinistra) e futura (a destra) secondo i 3 scenari commentati. Come detto in precedenza, mentre le proiezioni storiche sono cambiate rispetto alla fase 1 del progetto poichè in questo caso abbiamo utilizzato le osservazioni sul territorio, le proiezioni future rimangono invariate.

2.3.1.2 Risk assessment

La valutazione del rischio, basandosi su modelli di proiezioni future EURO-CORDEX, rimangono invariate rispetto all'analisi eseguita nella fase 1 del progetto, come precedentemente descritto.

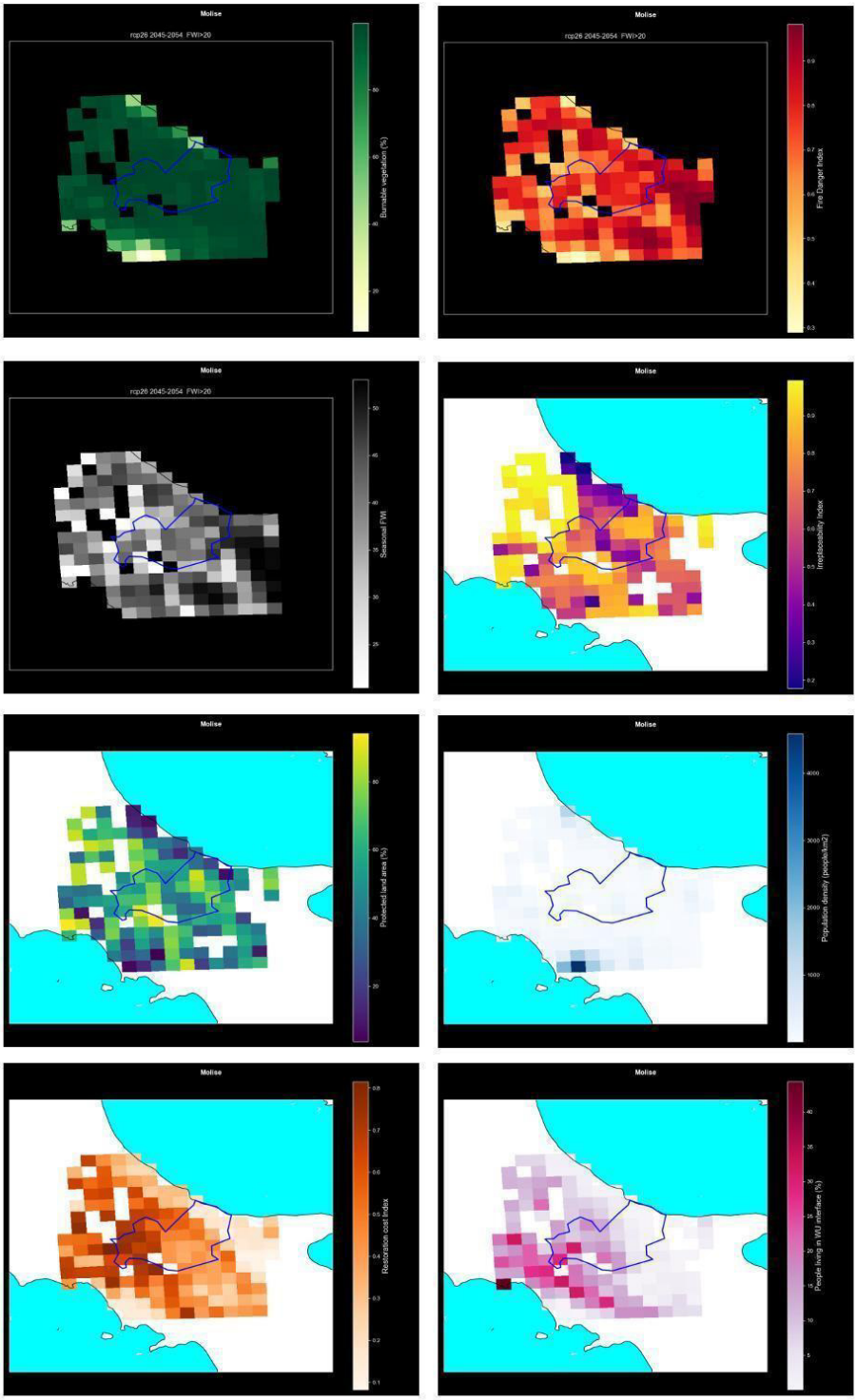


Figure 2-11 On the left from the top: burneable vegetation, seasonal FWI, protected areas, restoration cost. On the right from the top: danger index, irreplaceability index, population density, wildland-urban interface.

2.3.2 Hazard #2 (Heavy rainfall) - fine-tuning to local context. CLIMAAX algorithm approach

Per l'analisi del pericolo relativo alle piogge intense impulsive (con estensione temporale sino alle 3 ore) e di quelle abbondanti frontali (dalle 3 alle 24 ore), entrambe responsabili di potenziali situazioni alluvionali localizzate /o estese, si è deciso di usare un duplice dataset - ovverosia i dati di matrice regionale, raccolti presso stazioni meteorologiche automatiche locali e da CHAPTER/RISICO secondo le metodologie spiegate nel capitolo precedente.

L'esigenza di creare questo confronto nasce dalla già citata problematica della dislocazione delle stazioni e dal loro tempo di registrazione. Per ottenere un risultato con valenza sia spaziale che statistica è stato deciso quindi di eseguire l'algoritmo fornito nell handbook di CLIMAAX con questo doppio dataset. Nel presente capitolo verranno esposti i risultati ottenuti, ed il confronto verrà fatto per i risultati del pericolo e del rischio relativi all'intero territorio regionale.

Per quanto riguarda le proiezioni future sono stati utilizzati modelli EURO-CORDEX (Copericus CDS), con risoluzione spaziale 12 km e temporale 2041-2070.

Gli output relativi al pericolo di precipitazioni intense sono relativi alla città di Campobasso, Isernia e Termoli. I grafici sottostanti mostrano la proiezione futura delle precipitazioni attese (sinistra) e le distribuzioni di probabilità delle serie di precipitazioni massime considerando la distribuzione di "General Extreme Values" (GEV), in ordine per le rispettive città (destra).

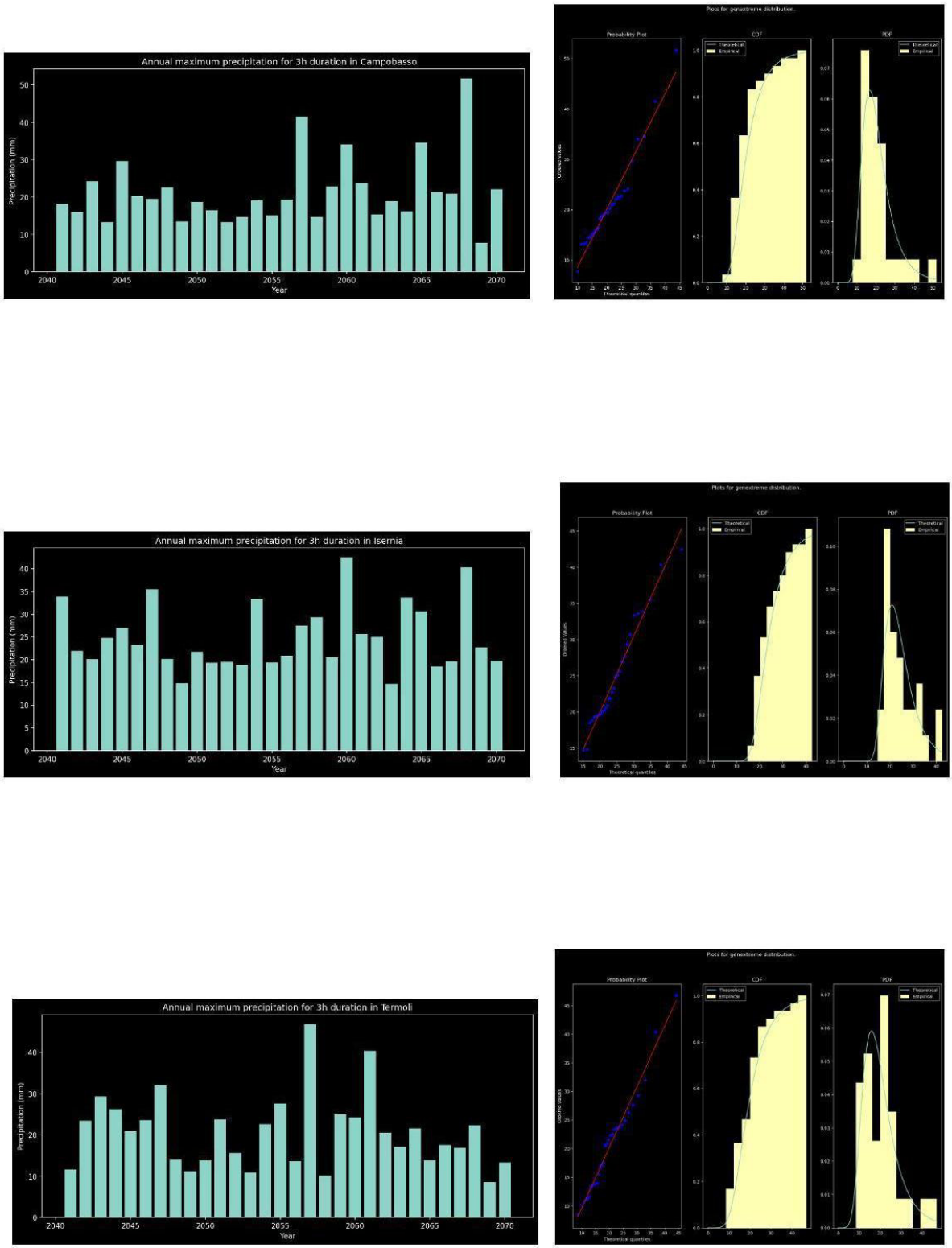


Figure 2-10 A sinistra: proiezione delle precipitazioni massime annuali (2041-2070) delle precipitazioni di 3h rispettivamente (dall'alto verso il basso) per le città di Campobasso, Isernia e Termoli. A destra ci sono i relativi GEV distributions. Il dato CHAPTER/RISICO è stato usato per questa elaborazione.

Sono stati prodotti inoltre grafici delle precipitazioni attese di 3h nel trentennio 2041-2070 considerando diversi tempi di ritorno (1, 5, 10, 50 e 100 anni) e i 3 diversi scenari delle proiezioni ("best", "worst", "mean" case), sempre usando il dataset CHAPTER/RISICO.

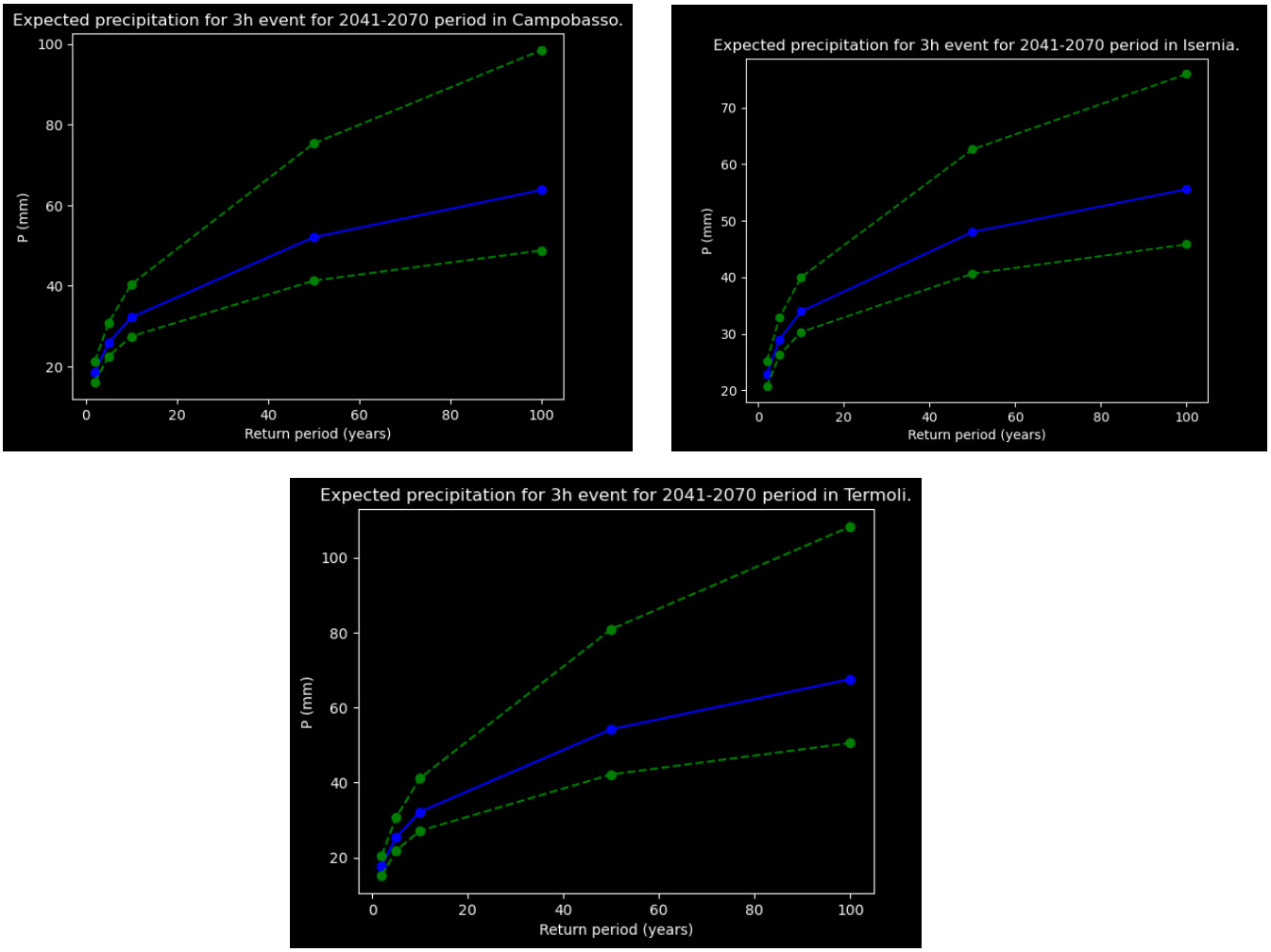


Figure 2-11 Precipitazioni attese per gli eventi di 3h nel periodo 2041-2070 per la città di Campobasso (in alto a sinistra), Isernia (in alto a destra) e Termoli (in basso) per tempi di ritorno rispettivamente di 2, 5, 10, 50 e 100 anni.

Infine si presentano i risultati relativi al pericolo delle piogge intense. In questo caso si confrontano i risultati derivanti dall'utilizzo dei due dataset diversi.

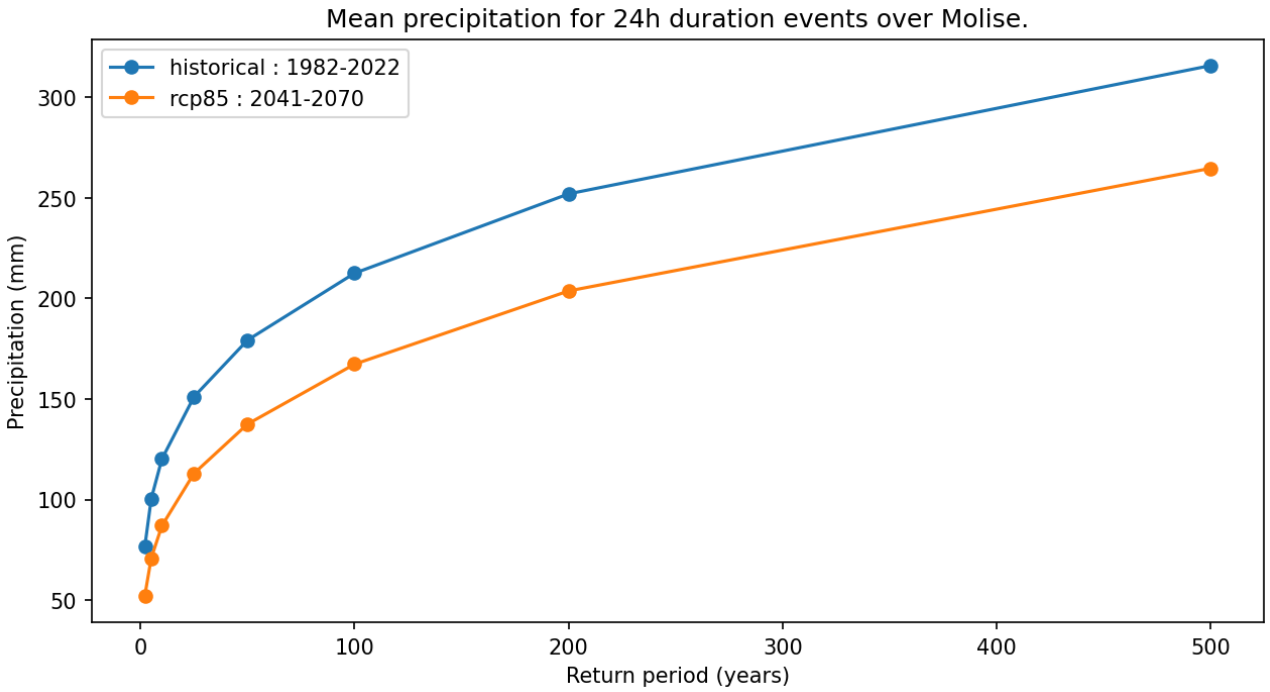


Figure 2-12 Media delle precipitazioni massime di 24h in eventi con diversi tempi di ritorno (2, 5, 10, 50, 100 e 500 anni) nella proiezione futura "worst case" (RCP8.5) e passata (historical). L'immagine è stata prodotta dall'utilizzo del dataset CHAPTER/RISICO.

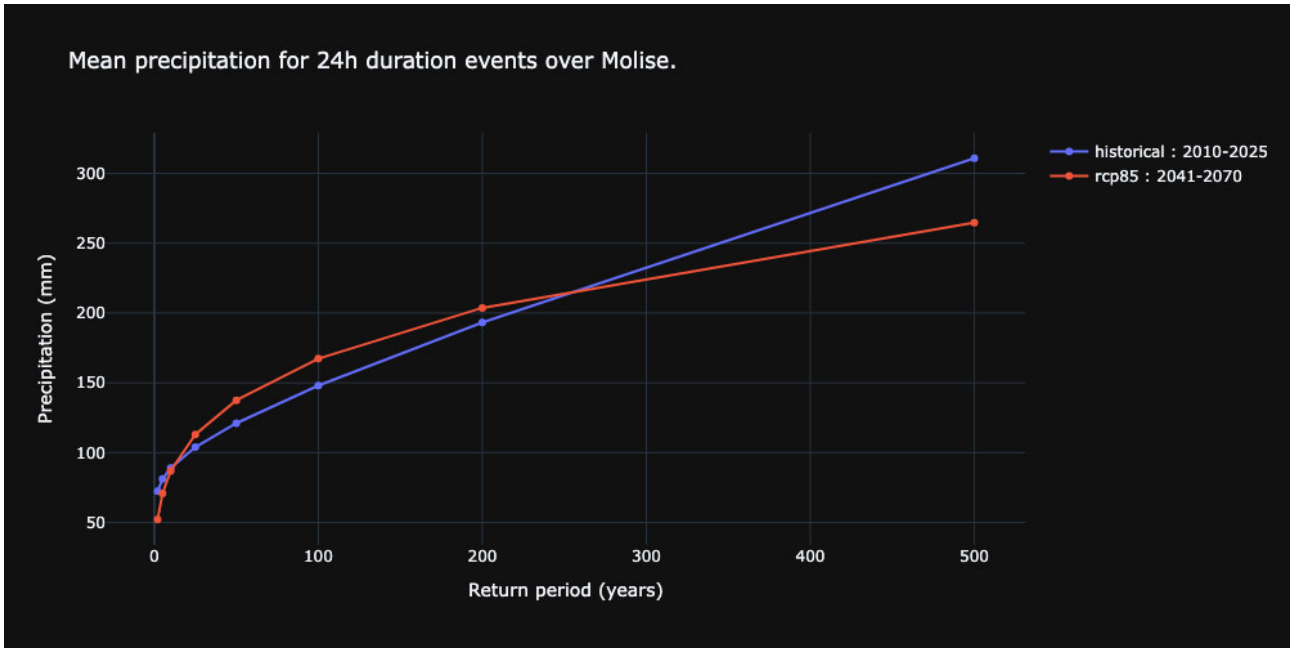


Figure 2-13 Media delle precipitazioni massime di 24h in eventi con diversi tempi di ritorno (2, 5, 10, 50, 100 e 500 anni) nella proiezione futura "worst case" (RCP8.5) e passata (historical). L'immagine è stata prodotta dal dataset della rete regionale.

Dal confronto dei due grafici emerge una sostanziale ma decisiva differenza; il dataset CHAPTER/RISICO è sicuramente più ottimista relativamente al trend relativo alle precipitazioni future per differenti tempi di ritorno. La proiezione futura - per vari timespan - di tutti i lassi temporali analizzati per differenti tempi di ritorno evidenzia che le precipitazioni future non dovrebbero mai evidenziare cumulate superiori a quelle storicamente misurate. Dunque, si potrebbe assistere ad un

generale e uniforme indebolimento delle precipitazioni estreme. Cio sembrerebbe contrastare con il segnale termico previsto, in quanto un ulteriore incremento delle temperature medie annuali e stagionali significherebbe maggiore e"energia" e calore latente a disposizione del sistema terra - mare - troposfera - con maggiori probabilità di incorrere in fenomeni di maggiore magnitudo. Al contrario, la situazione prospettata dall'utilizzo del dataset della rete regionale è più articolata o meglio ancora complessa. Emerge infatti un sostanziale segnale opposto a quello appena evidenziato e per le proiezioni modellistiche, poiché per tutti i timespan e per tutti i lassi temporali esaminati le precipitazioni dovrebbero essere maggiori rispetto a quelle storicamente misurate relativamente ai tempi di ritorno compresi fra 10 e 250 anni, mentre all'infuori di questo arco temporale la misura storica rimane superiore (in mm) rispetto a quella futura.

Entrambi i modelli hanno degli aspetti tecnici da migliorare che devono essere considerati: il dato CHAPTER/RISICO per quanto spazialmente e temporalmente esteso, rimane una proiezione di un dataset di matrice e origine europea. Questa sua origine mantiene inevitabilmente una certa "inaffidabilità" statistica. D'altra parte, il modello della rete regionale è costruito su un territorio spazialmente estremamente limitato, rendendo il dato estremamente affidabile per uno studio di regionalizzazione climatica, ma la copertura spaziale e temporale non sono ancora sufficienti per fornire delle proiezioni statisticamente significative.

I grafici di seguito evidenziati mostrano la variazione futura, secondo le proiezioni RCP 2.6, 4.5 e 8.5 delle precipitazioni di 24h con tempi di ritorno di 10 anni.

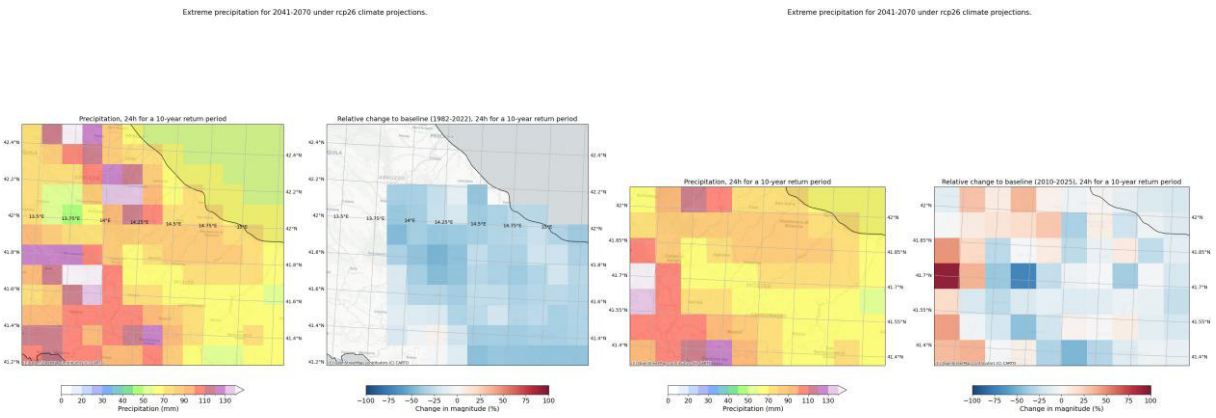


Figure 2-14 Proiezioni al 2041 - 2070 delle precipitazioni di 24 nello scenario RCP2.6. L'immagine a sinistra è stata realizzata usando il dataset CHAPTER/RISICO, l'immagine a destra il dataset della rete regionale. Le carte interne mostrano, per entrambi i casi il livello assoluto (sinistra) e relativo (destra) del cambiamento.

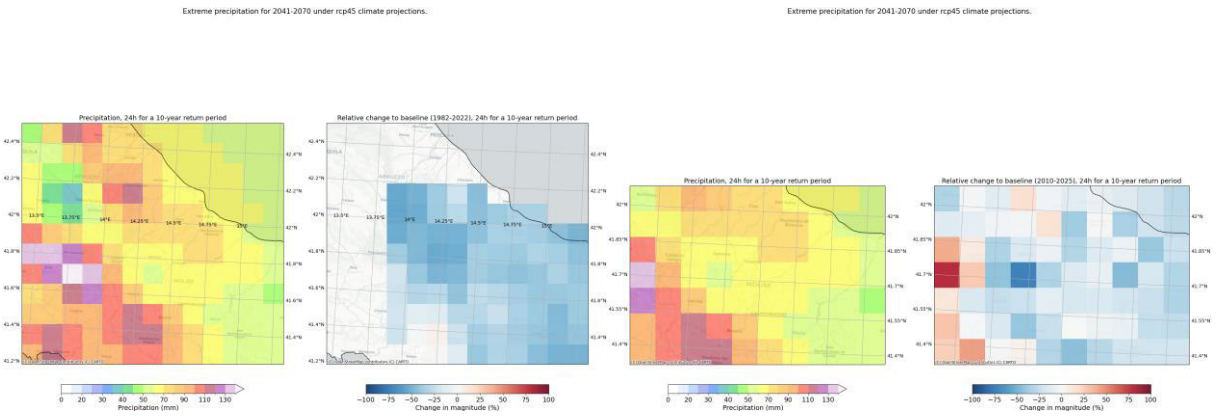


Figure 2-15 Proiezioni al 2041 - 2070 delle precipitazioni di 24 nello scenario RCP4.5. L'immagine a sinistra è stata realizzata usando il dataset CHAPTER/RISICO, l'immagine a destra il dataset della rete regionale. Le carte interne mostrano, per entrambi i casi il livello assoluto (sinistra) e relativo (destra) del cambiamento.

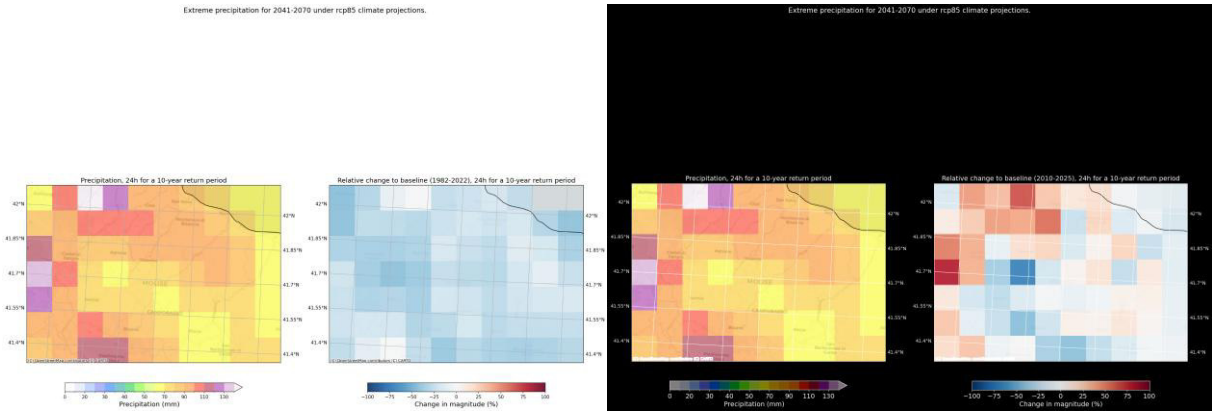


Figure 2-16 Proiezioni al 2041 - 2070 delle precipitazioni di 24 nello scenario RCP8.5. L'immagine a sinistra è stata realizzata usando il dataset CHAPTER/RISICO, l'immagine a destra il dataset della rete regionale. Le carte interne mostrano, per entrambi i casi il livello assoluto (sinistra) e relativo (destra) del cambiamento.

Anche in questo caso emerge come il modello CHAPTER/RISICO sia molto ottimista circa i potenziali futuri trend dedicati: nel territorio regionale non si evince dall'analisi un trend significativo mentre il modello della rete regionale mostra un segnale irregolarmente distribuito, con un incremento delle precipitazioni estreme maggiormente localizzati nelle aree nord-occidentali della Regione.

2.3.2.1 Risk assessment

In questa seconda fase sono state prodotte anche cartografie relative al rischio di precipitazioni intense per la Regione.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti tramite l'utilizzo dei due modelli diversi, CHAPTER/RISICO e della rete regionale.

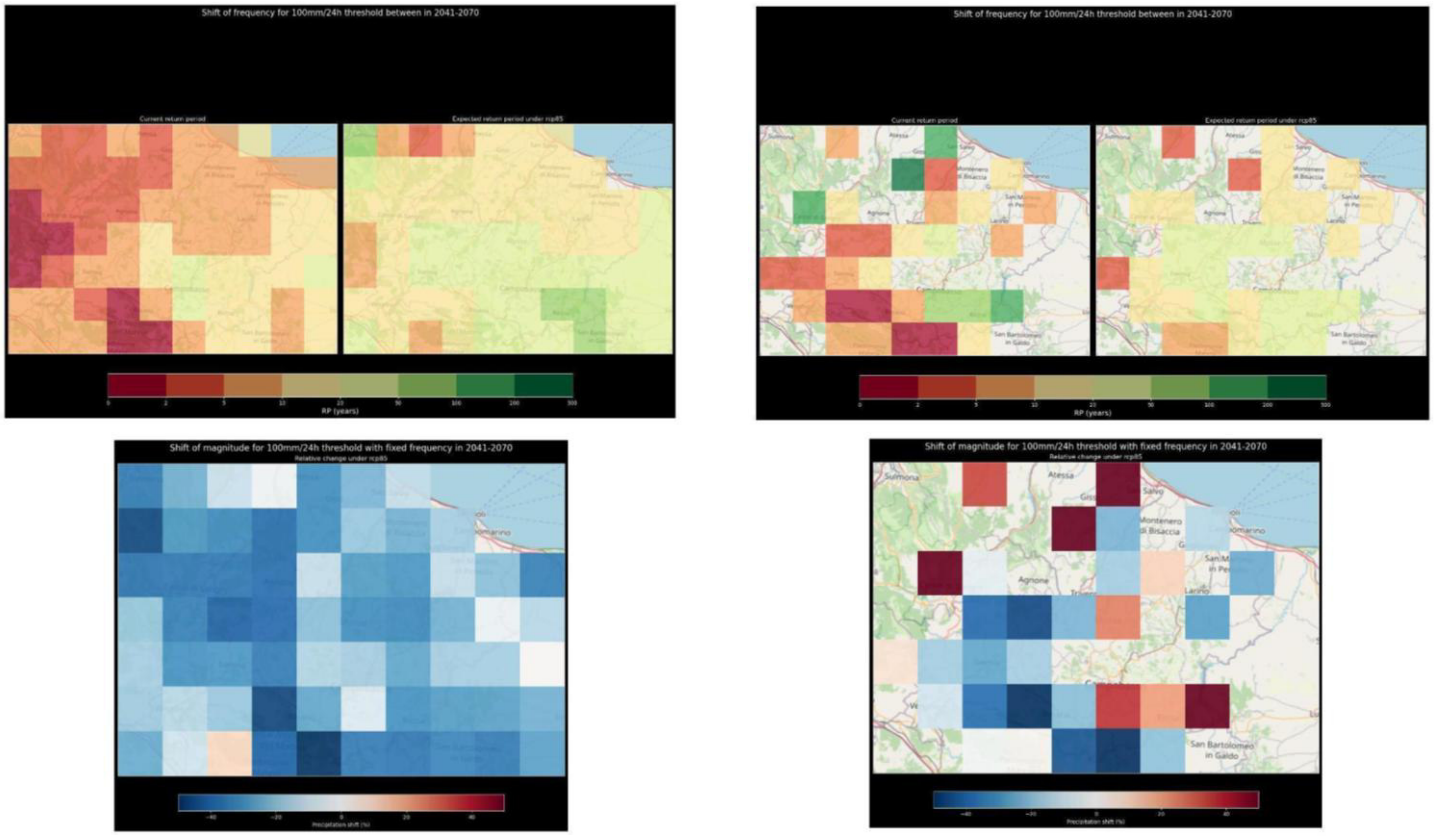


Figure 2-17 A sinistra il cambiamento di frequenza e magnitudo delle precipitazioni soglia 100 mm/24h nella proiezione 2041-2070 con l'utilizzo del dataset CHAPTER/RISICO. A destra le stesse immagini ma con l'utilizzo del dataset rete regionale.

I due risultati risultano essere sostanzialmente diversi. Una prima analisi fa emergere subito la problematica dell'estensione spaziale dei due diversi dati: il dato CHAPTER/RISICO copre l'intera regione essendo un downscaling di ERA5, mentre il dato locale copre solo parzialmente l'intera regione poiché le stazioni meteo non hanno copertura omogenea né spazialmente né temporalmente.

Un altro aspetto profondamente diverso tra i 2 modelli utilizzati è la proiezione futura. Infatti, così come è emerso nella precedente analisi, da un lato (CHAPTER/RISICO) si trovano previsioni molto ottimistiche circa il valore soglia delle precipitazioni 100 mm in 24h (si noti che tutta la regione potrebbe essere interessata da un decremento di tali precipitazioni soglia, suggerendo eventi meteorici meno intensi e allo stesso tempo l'aumento dei tempi di ritorno delle stesse precipitazioni), mentre il *dataset* della rete regionale evidenzierebbe un aumento delle cumulate e diminuzione dei tempi di ritorno delle precipitazioni con lo stesso valore soglia su porzioni di territorio comunque localizzate. Si tratterebbe di un segnale climatico di difficile applicabilità operativa in termini di azioni di mitigazione del rischio associato, sia di conseguenza relativamente alla ripartizione delle risorse economiche che potrebbero non essere sfruttate ad hoc.

2.3.3 Additional assessments based on local models and data. Regional approach

Come spiegato nei capitoli precedenti, oltre al metodo proposto da CLIMAX, sono state condotte delle analisi parallele per entrambi i rischi secondo delle metodologie specifiche regionali del Molise. Cercando di rispettare la medesima divisione in capitoli del metodo uno, in questa sessione se ne presentano le caratteristiche e i risultati ottenuti.

2.3.3.1 Hazard assessment

2.3.3.2 Heavy rainfall

Parallelamente al processo sopra descritto si è perseguito un secondo approccio, reso necessario dalla difficile interpretazione dei dati ottenuti tramite l'esecuzione dell'algoritmo fornito da CLIMAAX. Di seguito si esplica la metodologia utilizzata e se ne presentano i dati ottenuti.

Partendo dall'input dalla definizione "matematica" di rischio proposta (secondo la Protezione Civile Nazionale e ISPRA) come la moltiplicazione fra piogge attese, pendenza e vulnerabilità:

R = Precipitazioni x Acclivita x Vulnerabilità

che si può altresì scrivere come:

R= Pericolo x Vulnerabilità.

Calcolo del Pericolo

Per il calcolo del pericolo, quindi per la creazione della mappa del pericolo sono stati tenuti in considerazione due fattori, ossia la media delle piogge storiche per eventi di 3h e 24h e l'acclività media del territorio:

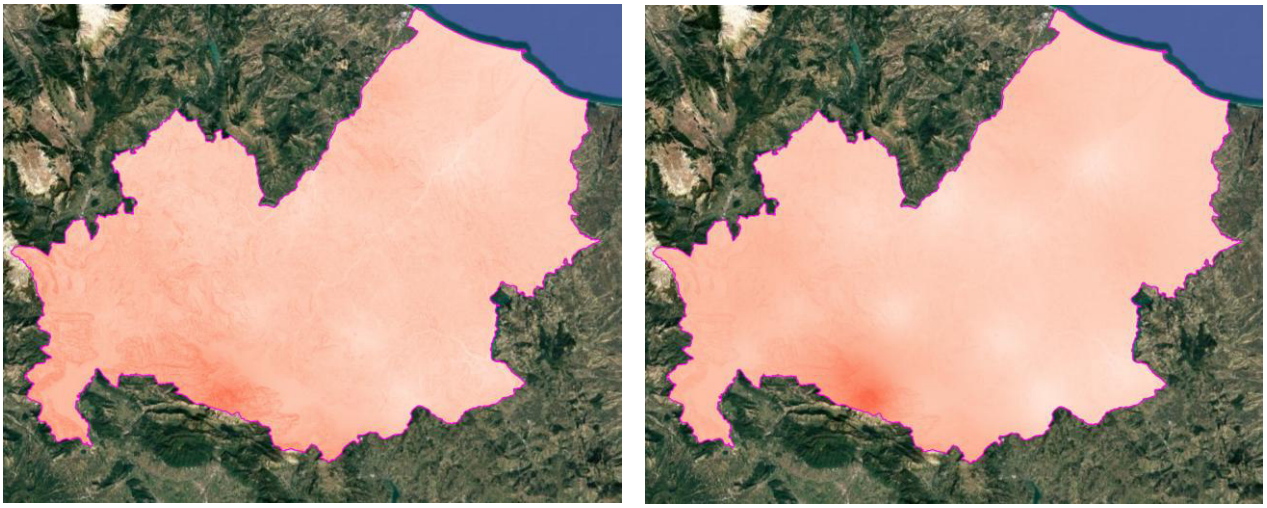
- Acclività: è un'informazione estrapolata dal DTM della Regione (a 20 metri) scaricabile dal Geoportale Nazionale, tramite strumento di processing GDAL Pendenza su QGis. Questo processo estrae dal DTM di partenza un file raster (.tiff) in cui ad ogni pixel viene assegnato il valore della pendenza calcolato dalla differenza di quota con i pixel adiacenti.
- Eventi di 3h e 24h: dai dati delle stazioni meteorologiche di regione Molise, sono stati estratte le cumulate meteoriche per eventi di 3h e 24h, dal 2007 all'agosto del 2026 . I dati antecedenti al 2007 non sono stati considerati perché non omogenei e continui secondo normative WMO e dunque non adatti oltre che di difficile interpretazione per le analisi statistiche successive. Per cercare di limitare il problema della risoluzione spaziale (dato che le stazioni meteorologiche non hanno una soluzione di continuità fitta nel territorio regionale) sono state fatte delle interpolazioni fra stazioni limitrofe al fine di *stimare* i valori pluviometrici laddove non si hanno dati registrati. In questo modo sono state ottenute 4 tipologie di file raster, ossia i valori medi e massimi delle piogge di 3h e 24h. L'interpolazione eseguita è stata fatta partendo dalle coordinate georeferenziate di punti noti delle stazioni meteo in Molise e dal loro valore di pioggia nelle 3/24 ore è stata impostata una matrice con pixel di 44.4 x 44.4 metri che copre l'intera estensione del territorio del Molise. Per i punti della matrice è stato applicato il metodo IDW (Inverse Distance Weighting / Distanza Inversa Ponderata) ottenendo una mappa spazialmente continua del tematismo, i cui valori cumulati rimangono tassativamente compresi tra il minimo e il massimo realmente misurati al suolo.

Le due tipologie di carte sono state uniformate per permettere un corretto svolgimento di calcolo, ossia sono state proiettate nel Sistema di Riferimento EPSG 32633 - WGS84 / UTM zone 33N con risoluzione spaziale di 20 metri (tramite lo strumento di processing GDAL - Trasformazione

(riproiezione) in QGis). Infine, tramite il calcolatore raster, è stata creato il file .tiff del pericolo tramite la seguente espressione:

Pericolo = (Pioggia * 0.7) + (Acclività * 0.3)

Ai valori delle precipitazioni è stato dato un peso sperimentale del 70%, mentre all'acclivita del 30% poiché sul pericolo delle piogge intense si ritiene che le cumulate abbiano maggiore peso rispetto alla acclività, ma che questa comunque gioca un ruolo fondamentale, dato che all'aumentare della acclività aumenta la velocità di ruscellamento idrico superficiale e di conseguenza il potere erosivo



e l'impatto sulle infrastrutture.

Figure 2-17 Pericolo di piogge intense di 3 ore (sinistra) e 24h (destra). La scala di colori va dal bianco (pericolo minimo) al rosso (pericolo massimo).

2.3.3.3 Wildfire

Parallelamente all'analisi sopra effettuata, sono state prodotte altre carte del pericolo, suddivise per comuni.

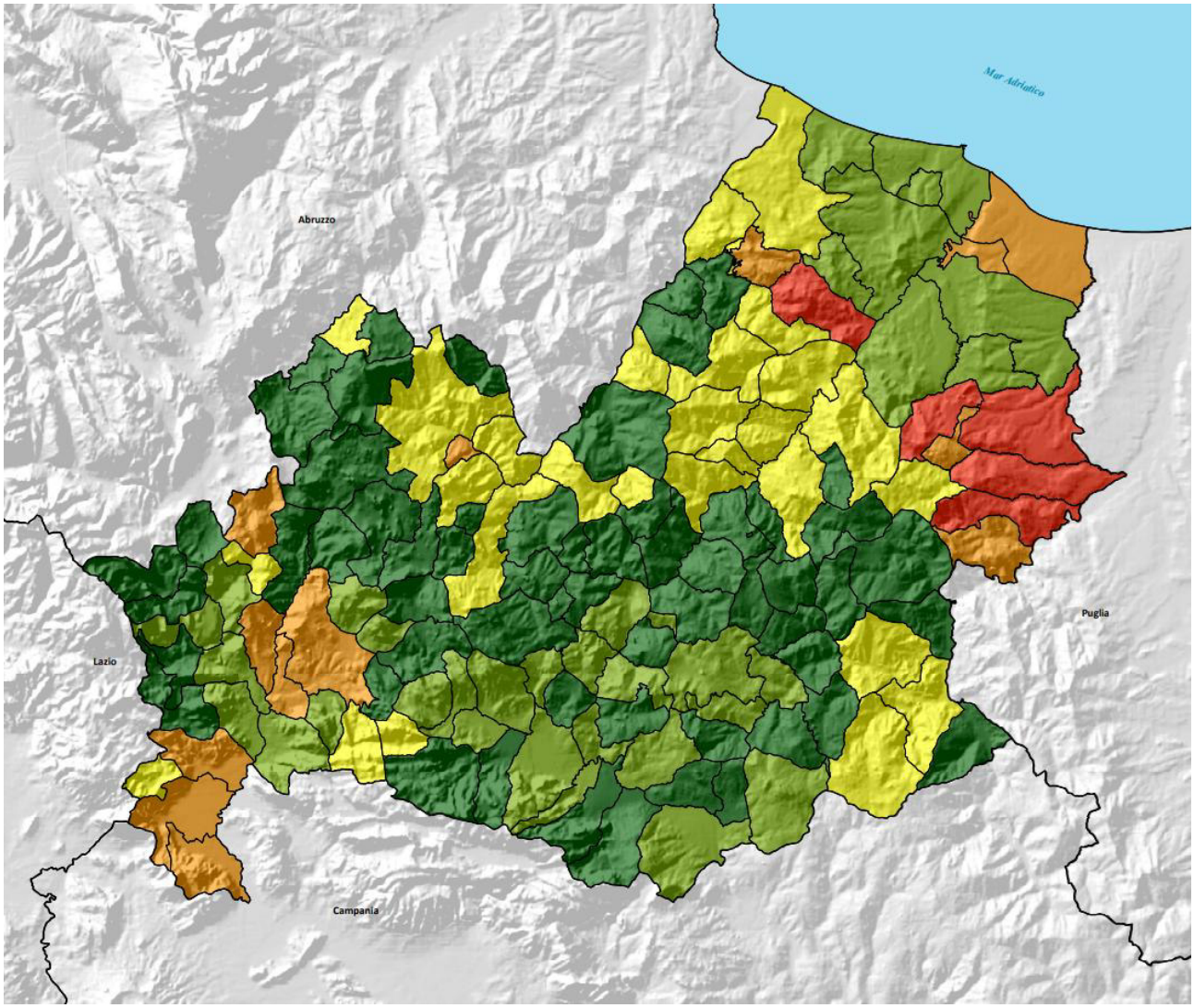


Figure 2-9 Carta del pericolo incendi boschivi di Regione Molise, suddivisa per Comuni

La carta sopra rappresentata utilizza una scala di colori a cui corrisponde un certo grado di pericolo incendi boschivi: si va dal verde scuro che indica un basso pericolo al rosso che invece mostra alto pericolo.

L'analisi parte dall'estrazione delle serie storiche degli incendi boschivi per un arco temporale di 24 anni (1992-2015). Per ciascun comune molisano sono stati considerati il numero totale di eventi e la superficie complessiva annua percorsa dal fuoco.
Sulla base dei dati storici, per ogni singolo comune sono stati calcolati sei indicatori statistici e quantitativi:

- Superficie media annua bruciata;
- Superficie mediana annua bruciata;
- Superficie massima percorsa dal fuoco in un singolo anno (rappresenta la stima del livello massimo di rischio raggiungibile);
- Incidenza media annua di incendi rapportata a un'unità territoriale di 10 km²;
- Numero di anni in cui si sono verificati incendi di grande dimensione (>10 ettari) su 10 km²;
- Percentuale di anni con incendi >10 ettari su 10 km².

Poiché gli indicatori considerati avevano unità di misura e scale di grandezza differenti, le variabili sono state preventivamente standardizzate calcolandone la media e la deviazione standard, rendendole così confrontabili ed elaborate contemporaneamente.

Sulle variabili standardizzate è stata applicata una tecnica statistica multivariata di Cluster Analysis. Questo processo ha aggregato i comuni con profili statistici simili, identificando 5 classi di pericolo omogenee per l'intera regione. Ogni classe è definita quantitativamente dal proprio centroide (il valore medio delle variabili del gruppo) e descritta quantitativamente:

1. Classe 1: Incendi sporadici di limitata superficie e minima incidenza sul territorio.
2. Classe 2: Incendi piccoli e di bassa diffusibilità, ma costanti nel tempo.
3. Classe 3: Incendi mediamente frequenti, diffusibili e costanti nel tempo.
4. Classe 4: Incendi frequenti, di superficie e diffusibilità medio-alte.
5. Classe 5: Incendi di elevata superficie e diffusibilità, costanti e di massima incidenza

I risultati della Cluster Analysis sono stati importati all'interno del software GIS (ArcMap e QGIS). A ciascun poligono comunale è stata associata la rispettiva classe di pericolo (da 1 a 5), generando la mappa finale a scala comunale.

Un’analisi simile è stata approfondita per stabilire territorialmente (in modo sovracomunale) la suddivisione di diverse aree della Regione secondo il relativo pericolo incendi boschivi. Sono state ideate delle Aree di Base, che corrispondono a riferimenti territoriali/geografici per l’organizzazione dei servizi antincendio boschivo. Per garantire omogeneità ambientale, socio-economica e gestionale, queste aree coincidono gli ambiti territoriali omogenei, ossia delle aree omogenee dal punti di vista climatico, vegetazionale e orografico:

1) Fascia Basso-Collinare e Costiera
2) Fascia Medio-Collinare
3) Fascia Appenninico-Meridionale
4) Fascia Collinare-orientale
5) Fascia Appenninico-Settentrionale

L’analisi eseguita è la stessa descritta nel caso precedente, ma fino alla Cluster Analysis. In seguito è stata eseguita una sintesi territorializzata, ossia a ciascuna Area di Base, la classe di pericolo è stata assegnata ponderando sulla superficie le classi di pericolo di ogni comune ricadente al suo interno.

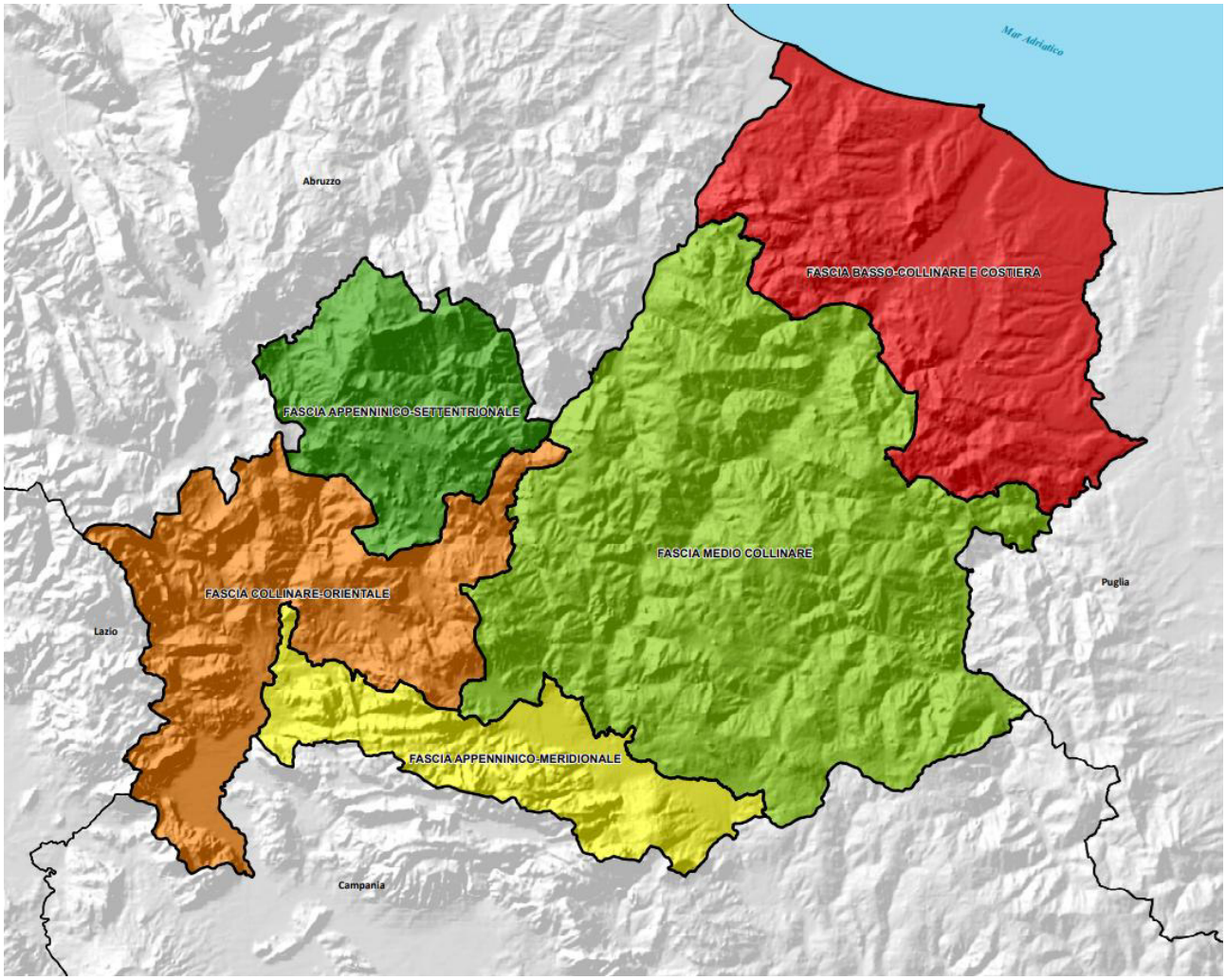


Figure 2-10 Carta del pericolo incendi boschivi di Regione Molise, suddivisa per Aree di Base.

2.3.3.4 Risk assessment

2.3.3.5 Heavy rainfall

Una volta che è stato calcolato il pericolo, questo strato informativo deve necessariamente essere incrociato con la vulnerabilità.

- Vulnerabilità: si intende per vulnerabilità la condizione di essere esposti e di subire danno in seguito ad un evento esterno o interno (si veda i capitoli precedenti). Per cui come elementi vulnerabili sono state considerate le infrastrutture al cui interno ci possono essere vite umane più o meno suscettibili al danno. In base alla definizione, per ottenere questa informazione è stato estrapolato da Open Street Maps tutto l'edificato (in formato shape file) della Regione Molise. Gli edifici sono stati riclassificati secondo un valore di "peso di rischio" come segue:
  - Ospedali ed altre strutture sanitarie: 5
  - Scuole, istituti e strutture simili: 4
  - Strutture ricettive (campeggi, hotel, alberghi) e simili: 3
  - Tutto il resto degli edifici: 2

Da questo file è stato generato il corrispettivo raster (.tiff) assegnando ai valori “no data” (ossia ai pixel in cui non compare alcun edificio) il valore 1. Questo è stato fatto perché la futura carta del rischio deve certamente tenere conto della tipologia di edificato, ma un certo grado di rischio (minimo) si mantiene anche dove non ci sono edifici.

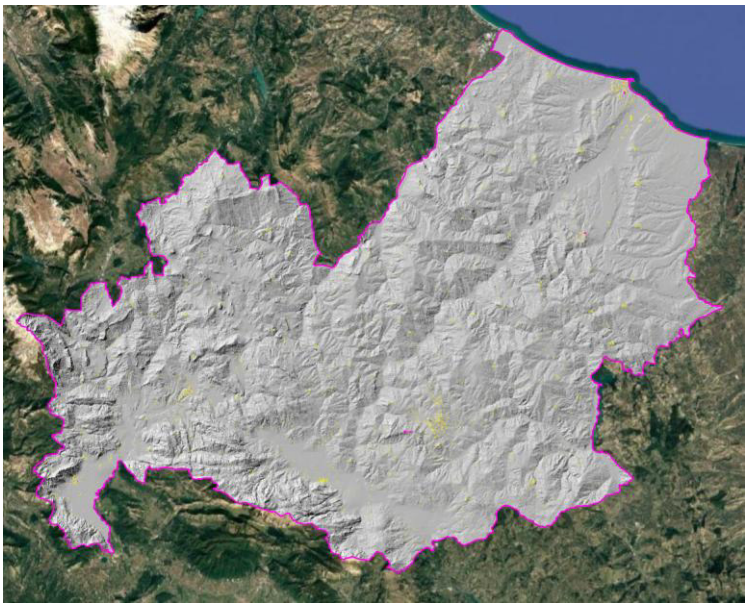


Figure 2-18 GeoTiff della vulnerabilità.

Infine questo strato informativo è stato incrociato con il pericolo degli eventi di 3h e 24h per ottenere così le carte del rischio, utilizzando la seguente formula:

Rischio = Pericolo x Vulnerabilità

In questo caso non sono stati assegnati alcuni pesi, seguendo le direttive del Dipartimenti di Protezione Civile Nazionale e dell’ISPRA.

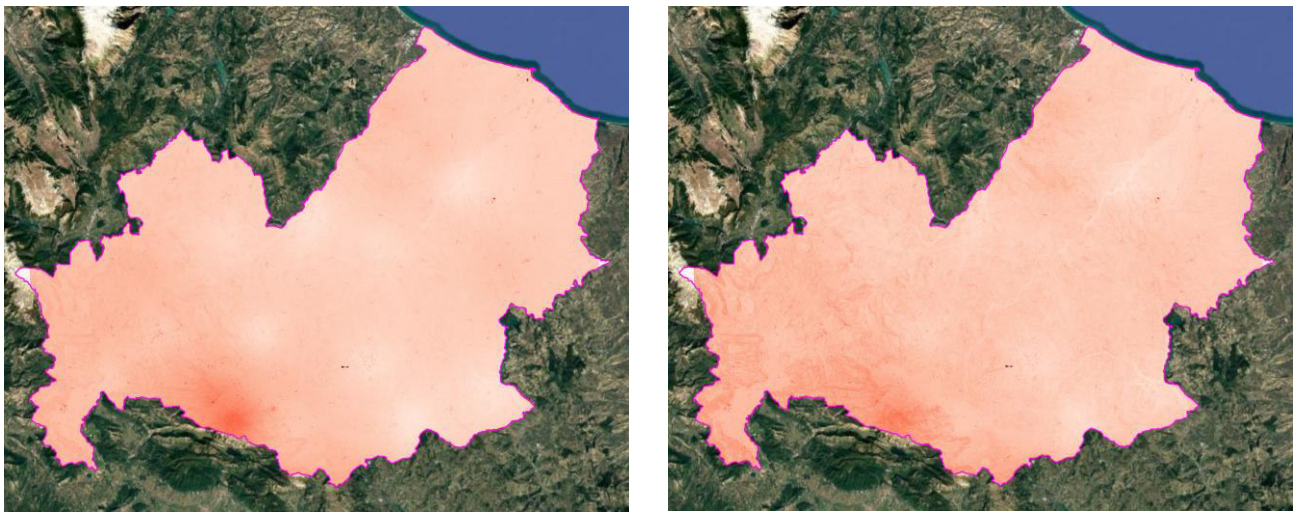


Figure 2-18 Carte del rischio di precipitazioni intense di 24h (sinistra) e 3h (destra).

2.3.3.6 Wildfire

Seguendo l'analisi condotta per ottenere le carte del pericolo per Comuni e per Aree di Base, è stata prodotta anche una carta del rischio. Tuttavia, in questo caso, si è reso necessario dividere il rischio a seconda del periodo annuale, ossia il rischio invernale e il rischio estivo. Questa necessità deriva da evidenti cambiamenti di parametri che partecipano al rischio incendi nelle due diverse stagioni (come viene approfondito in seguito).

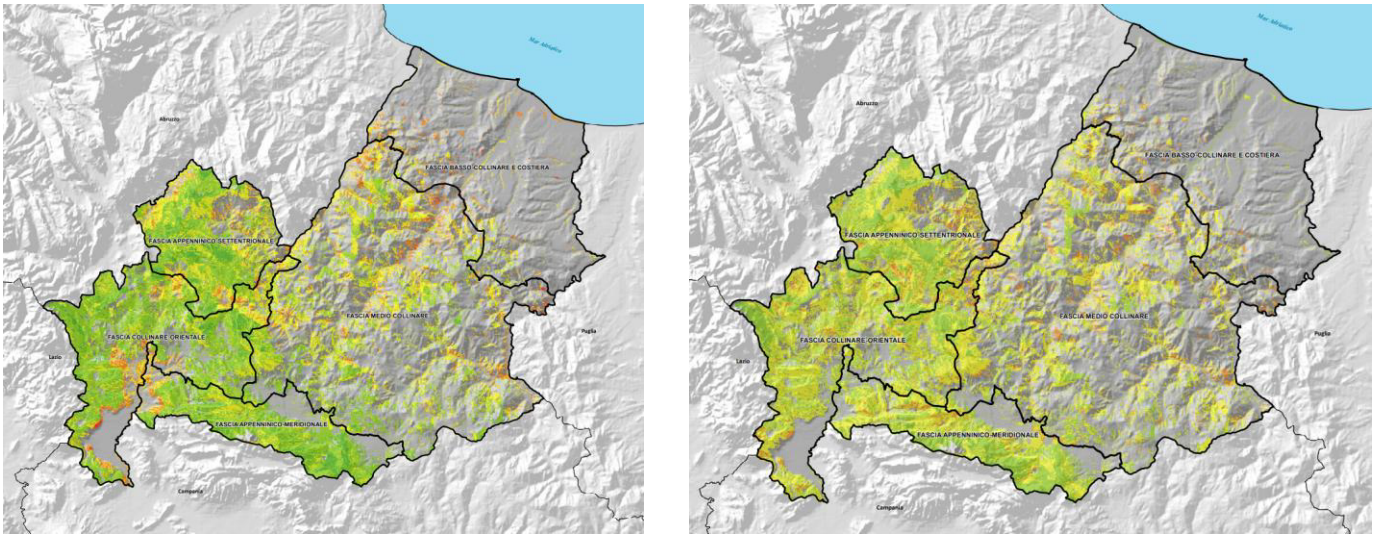


Figure 2-12 Carta del rischio incendi boschivi nel periodo estivo (sinistra) e nel periodo invernale (destra).

La produzione della "Carta del rischio estivo" è il risultato di un modello matematico-cartografico di tipo additivo e ponderato, sviluppato originariamente per il contesto statunitense e successivamente adattato alla realtà italiana. A differenza della stima del pericolo (che valuta le frequenze storiche degli eventi), il rischio incendio viene definito come un fattore statico di lungo periodo che esprime la propensione delle diverse coperture vegetali a essere percorse dal fuoco in base a fattori ambientali e meteo-climatici. Poiché i fattori predisponenti variano significativamente tra estate e inverno, sono stati creati dei modelli specificamente calibrati sulle diverse stagioni.

Per il calcolo del rischio relativo al trimestre estivo, l'algoritmo combina quattro variabili territoriali, a ciascuna delle quali è stato attribuito un peso percentuale specifico in funzione dell'incidenza sulla propagazione degli incendi estivi:

1. Fitoclima / Bioclima estivo (Peso: 40%): rappresenta il fattore di maggior peso nel modello estivo, quantificando lo stress idrico e termico della vegetazione.
2. Copertura e uso del suolo / Modelli di combustibile (Peso: 30%): esprime la quantità, la struttura e l'infiammabilità del materiale vegetale.
3. Esposizione del terreno (Peso: 15%): valuta l'impatto dell'irraggiamento solare sulla secchezza del combustibile morto.
4. Pendenza del terreno (Peso: 15%): misura l'effetto dell'inclinazione del versante sulla velocità di risalita delle fiamme.

Ogni singolo strato informativo rasterizzato (griglia di pixel) è stato preventivamente indicizzato e classificato con un grado di rischio da 0 a 100:

- Bioclima Estivo: assegnazione del grado di rischio in base alla sotto-regione bioclimatica. Le zone sopratemperate e umide ricevono il rischio minimo (10), mentre i settori mesomediterranei - termomediterranei secco-subumidi ricevono il rischio massimo (100).
- Modelli di Combustibile: derivati dalla Carta dei Tipi Forestali e Preforestali del Molise e ricondotti allo standard Behave/Rothermel e ai rilievi di campagna della necromassa (metodologia LIS). Ogni modello di combustibile è stato indicizzato in base alla propensione a bruciare nella stagione estiva .
- Esposizione: estratta dal Modello Digitale del Terreno (DTM). I versanti a Sud ricevono il rischio massimo (100) per via dell'elevata radiazione e della bassa umidità relativa; Piano = 65; Est e Ovest = 45; Nord = 0.
- Acclivita: ricavata dal DTM in 5 classi di inclinazione: 0–8° = 5; 9–10° = 10; 11–15° = 20; 16–22° = 60; <22° = 100.

Una volta indicizzati i 4 strati informativi in formato raster, il calcolo dell'indice di rischio è stato eseguito su software QGIS mediante raster calculator.
L'algoritmo esegue una combinazione lineare pesata pixel per pixel secondo la seguente espressione:

Indice Rischio Estivo = (0.40 X Fitoclima) + (0.30 X Combustibile) + (0.15 X Esposizione) + (0.15 X Acclività)

L'output continuo ricavato dall'algoritmo è stato suddiviso in 5 classi cromatiche di rischio estivo, calcolando la superficie regionale ricadente in ciascuna classe:

1. Rischio Basso (Verde scuro): 18.699,20 ha
2. Rischio Medio-Basso (Verde chiaro): 90.517,76 ha (rappresenta la classe prevalente)
3. Rischio Medio (Giallo): 64.779,36 ha
4. Rischio Medio-Alto (Arancione): 18.183,36 ha
5. Rischio Alto (Rosso): 772,64 ha

La carta finale evidenzia che i livelli di rischio estivo più elevati (classi Medio-Alta ed Alta) si concentrano nelle aree in cui coincidono vegetazione termofila, esposizioni meridionali e pendenze accentuate. In particolare, le zone maggiormente critiche si riscontrano lungo i fondovalle del Fiume Trigno, del Medio e Alto Biferno, nel Basso Molise occidentale, nel Basso Volturno Molisano e nell'Alto Fortore.

La produzione della "Carta del rischio invernale" si basa, come per quella estiva, sull'applicazione di un modello additivo e ponderato di stima del rischio statico.

Tuttavia, poiché la propagazione degli incendi invernali obbedisce a dinamiche predisponenti differenti rispetto a quelli estivi (legati ad esempio alla presenza di pascoli secchi, alla necromassa e all'azione dei venti alle quote collinari e montane), l'algoritmo di calcolo introduce variabili aggiuntive e una diversa ripartizione dei pesi.

A differenza del modello estivo (che impiega 4 variabili), il calcolo del rischio invernale integra cinque strati informativi, introducendo il fattore altimetrico:

1. Copertura e uso del suolo / Modelli di combustibile (Peso: 30,67%): mantiene una rilevanza primaria nel definire il carico e la struttura del materiale vegetale.
2. Fitoclima / Bioclima invernale (Peso: 29,33%): riduce il proprio peso relativo rispetto all'estate (dove pesava il 40%), ma quantifica lo stress meteo-climatico invernale.
3. Altitudine (Peso: 20%): variabile assente nel modello estivo (peso 0%), introdotta in inverno per valutare la maggiore esposizione delle fasce collinari e montane.
4. Esposizione del terreno (Peso: 11,33%): misura l'influenza dell'irraggiamento e dei venti dominanti.
5. Acclivita del terreno (Peso: 8,67%): valuta la facilità di risalita del fuoco lungo i versanti.

I 5 strati informativi rasterizzati sono stati indicizzati con punteggi di rischio da 0 a 100 in funzione del comportamento invernale dell'incendio:

- Altitudine (Fasce Altimetriche): il modello attribuisce il valore di rischio massimo alla fascia collinare-montana intermedia[5]:
  - 0–100 m s.l.m.: Grado di rischio 10
  - 100–1000 m s.l.m.: Grado di rischio 100 (massima vulnerabilità invernale)
  - 1000–1500 m s.l.m.: Grado di rischio 50
  - 1500–2200 m s.l.m.: Grado di rischio 10
  - > 2200 m s.l.m.: Grado di rischio 0
- Bioclima Invernale: riclassificato per riflettere le condizioni di secchezza e temperatura della stagione fredda (assegnando valori di rischio come 0, 20 o 40 alle diverse unità bioclimatiche).
- Modelli di Combustibile Invernali: i tipi vegetali sono stati riconfigurati indicizzando la suscettibilità all'innesco in inverno, dove pascoli, cespuglieti e lettiere di latifoglie spoglie mostrano un'elevata infiammabilità.

La combinazione dei 5 layer rasterizzati è stata eseguita in ambiente GIS tramite raster calculator secondo la seguente espressione:

Indice Rischio Invernale = (0,3067 x Combustibile) + (0,2933 x Bioclima Invernale) + (0,2000 x Altitudine) + (0,1133 x Esposizione) + (0,0867 x Pendenza)

I valori continui dell'indice di rischio sono stati raggruppati in 5 classi di rischio di pari ampiezza, convertendo il conteggio dei pixel nella superficie corrispondente in ettari:

1. Rischio Basso (Verde scuro): 339,68 ha (drastico calo rispetto ai 18.699,20 ha dell'estivo).
2. Rischio Medio-Basso (Verde chiaro): 67.042,56 ha.
3. Rischio Medio (Giallo): 108.056,80 ha (classe ampiamente prevalente in inverno).
4. Rischio Medio-Alto (Arancione): 17.445,60 ha.
5. Rischio Alto (Rosso): 67,68 ha

Rispetto alla stagione estiva, la Carta del rischio invernale mostra un netto spostamento della criticità verso l'interno della regione: la classe di rischio Medio diventa dominante raddoppiando quasi la sua estensione (oltre 108.000 ha), concentrandosi prevalentemente nelle zone collinari e montane intermedie (100–1000 m s.l.m.) dell'entroterra molisano.

E’ stata eseguita anche un’analisi sulla vulnerabilità agli incendi boschivi. Secondo il framework di CLIMAAX, per vulnerabilità si intende “la propensione o la predisposizione a subire effetti negativi e comprende una varietà di concetti ed elementi, tra cui la sensibilità o la suscettibilità al danno e la mancanza di capacità di far fronte alla situazione e di adattarsi” (IPCC, 2022, p. 5). Comprende inoltre “tutti i fattori rilevanti di natura ambientale, fisica, tecnica, sociale, culturale, economica, istituzionale o politica che contribuiscono alla suscettibilità e/o alla mancanza di capacità di prepararsi, prevenire, reagire, far fronte alla situazione o adattarsi». In questa sede si tiene conto soltanto della sensibilità e suscettibilità al danno derivante da natura ambientale e sociale, senza tenere conto della capacità di reazione e di seguito se ne spiegano i motivi.

Per l’elaborazione della carta della vulnerabilità è stato utilizzato lo strato informativo di tutto l’edificato di Regione Molise implementato in ambiente GIS. Questo è stato classificato a seconda della tipologia di edificato e, di conseguenza, anche della maggiore suscettibilità al danno; sono stati estratti i campeggi, tutte le strutture ricettive (B&B, Hotel, affittacamere ecc..) e le strutture sanitarie (ospedali civili e simili).
Allo shape file edificato sono stati attribuiti i seguenti pesi alle diverse tipologie di strutture:

- Ospedali e strutture sanitarie: 3
- Campeggi ed altre strutture ricettive: 2
- Edificato rimanente: 1
- Tutte le altre aree: 0

Successivamente è stato eseguito la rasterizzazione (poligon to raster) usando come campo di rasterizzazione il peso attribuito.

Si specifica, come detto in precedenza, che per questa analisi non si è tenuto conto della resilienza o capacità di adattamento delle diverse strutture, in quanto ogni struttura, per legge nazionale, deve essere dotata di un Piano interno di sicurezza in cui vengono disciplinate tutte le azioni da intraprendere in caso di rischio (sia esogeno che endogeno). Tuttavia queste azioni possono essere diverse caso per caso, quindi la stratificazione informativa sarebbe risultata estremamente complessa.



Figure 2-13 Carta della vulnerabilità agli incendi boschivi.

La classificazione della vulnerabilità di ogni edificio segue una scala cromatica che va dal trasparente (no data, ossia nessun edificio) all'arancione (edificato generico) al rosso (campeggi ed altre strutture ricettive) al viola (strutture ospedaliere e simili).

2.4 Key Risk Assessment Findings

Come riportato nell Handbook di CLIMAAX la valutazione dei rischi chiave del presente progetto passa attraverso l'analisi di 3 aspetti fondamentali, ossia la severità, l'urgenza e la capacità di resilienza della comunità in senso lato.

Per severità si intende l'impatto che un determinato fenomeno ha su un territorio, comprensivo sia della sua componente "naturale" ed ecosistemica sia della sua componente antropica. Fornisce quindi un indicatore del potenziale danno economico verso l'ambiente.

Per urgenza si intende il valore temporale di un pericolo, quindi fornisce un valore quantitativo del cambiamento (in questo caso climatico) in atto.

Infine per capacità di resilienza si intendono tutti quegli elementi appartenenti ad una comunità in grado di mantenere costante il loro stato in essere nonostante il disturbo esterno.

2.4.1 Mode of engagement for participation

Come spiegato nei capitoli precedenti, il modello di coinvolgimento dei portatori di interesse verrà applicato all'inizio della phase 3 del progetto CLIMol. I feedback ottenuti finora sono stati riportati nella phase 1 del presente progetto.

2.4.2 Gather output from Risk Analysis step

Incendi boschivi

Per il rischio incendi boschivi l'output utilizzato per la valutazione complessiva del rischio è la carta del rischio estivo. Questo dato è più significativo in quanto nei mesi estivi aumenta l'esposizione (e quindi la vulnerabilità) della popolazione agli incendi boschivi per aumento dell'afflusso turistico e aumentano le probabilità di accadimento dell'evento. Si ritiene che così facendo si abbia la possibilità di analizzare meglio capacità, severità ed urgenza relativi, e di conseguenza si possa meglio capire quali possano essere gli interventi futuri di mitigazione.

Precipitazioni intense

Per le precipitazioni intense i risultati del rischio scelti come strumenti di successive analisi sono gli output relativi al rischio 3/24h. Si ritiene che possano essere più affidabili rispetto ai risultati del metodo 1 perchè costruito appositamente sulla realtà locale, con un'accuratezza maggiore e con dati più vicini al territorio.

2.4.3 Assess Severity

La gravità rappresenta l'impatto reale del rischio sulla vita di una comunità in senso lato. In particolare, nel progetto CLIMol gli aspetti più suscettibili alla gravità dei rischi analizzati sono legati alla dimensione sociale, ovvero a come una comunità percepisce e reagisce un determinato rischio. Il rischio incendi boschivi ha nel passato avuto un forte impatto sulla popolazione, dato che il periodo a maggiore rischio (estate) coincide con la maggior affluenza, e la zona più suscettibile è quella maggiormente popolata nello stesso periodo, mentre ad ora si sono registrate poche perdite in termini di infrastrutture danneggiate. La scelta dell'analisi approfondita nel presente progetto deriva anche dagli effetti a cascata che possono avere sul territorio: gli incendi, levando temporaneamente copertura al suolo, lo espongono all'erosione di agenti atmosferici, come piogge intense o venti. Questo determina nel lungo periodo una perdita di fertilità del suolo stesso, quindi un maggiore impatto a livello ecosistemico ed economico e per ciò, qualora la severità di un incendio sia stata particolarmente elevata, si necessita di un intervento di ripristino immediato.
Relativamente diverso è invece il rischio di precipitazioni intense. La gravità di questo fenomeno è più estesa sia spazialmente (coinvolge porzioni di territorio più ampie) sia temporalmente (si registrano forti precipitazioni durante l'intero arco annuale). L'ultimo esempio grave accaduto nella Regione risale ad aprile 2026 in cui un vortice di bassa pressione molto forte si è instaurato nella zona ionica dell'Italia determinando l'ingresso di aria umida e fredda sul territorio regionale. Il risultato è stato un violento fenomeno temporalesco (anche a carattere nevoso nell'arco appenninico) che ha portato a numerose e diffuse frane, talvolta anche di una certa entità, portando all'isolamento di almeno 100 persone e interrompendo importanti arterie di comunicazione stradale del centro Italia.
Per tali motivi, nel documento *key risk dashboard template* sono stati assegnati i seguenti valori:

SEVERITÀ		
	Attuale	Futura
Piogge intense	4	4
Incendi boschivi	3	4

3 - Substanzial: High frequency and/or substantial impacts for the region or community with potentially intolerable (si pensi agli effetti che un incendio potrebbe avere su una struttura ricettiva come un campeggio), systemic effects; the functioning of communities, ecosystems, assets and infrastructure, the economy or the life and well-being of citizens is threatened (si pensi ai danni al settore agroalimentare ed al turismo).

4 - Critical: High frequency and/or severe impacts for the region/community with potentially intolerable outcomes (si veda l'esempio della precipitazione eccezionale di aprile 2026); potentially systemic effects such as cascading impacts or risks (come sopra spiegato, gli incendi levando copertura favoriscono la perdita di fertilità, con danni alle colture successive); critical disruption of communities, ecosystems, assets and infrastructure, the economy or lifethreatening conditions for citizens.

2.4.4 Assess Urgency

L'urgenza introduce la variabile cronologica nel rischio, agendo da segnale di allerta per le ripercussioni della crisi climatica. Tale fattore stabilisce la tempestività necessaria per attuare le indispensabili misure di contenimento.

Entrambe le minacce studiate sono destinate a intensificarsi, sia per quanto riguarda la ricorrenza degli eventi (incluse le ciclicità delle annate critiche per gli incendi boschivi) sia per la loro magnitudo, come già approfondito. L'aggravarsi di tali parametri definisce la priorità degli interventi, sebbene rimanga complesso datare con precisione gli impatti futuri: gli studi condotti sono infatti simulazioni proiettive e non previsioni meteorologiche.

Considerata l'essenza dei fenomeni trattati, non si prospetta un'evoluzione lenta, bensì manifestazioni brusche e repentine ("sudden onset"), sebbene parzialmente prevedibili e capaci di generare effetti duraturi. Di conseguenza, è plausibile prevedere periodi di siccità boschiva più estesi e ricorrenti, parallelamente a precipitazioni estreme che colpiranno il suolo con maggior frequenza, prolungando nel tempo i danni arrecati al territorio. Si evidenzia inoltre che già allo stato attuale i pericoli climatici sono alti e con impatti potenzialmente gravi sulla popolazione e sull'economia locale.

URGENZA	
Piogge intense	3
Incendi boschivi	3

3 - More action needed: Climate hazard and processes conditions are observed or projected to change significantly. They are anticipated to persist or happen during critical timing. If a future trend of hazard increase will be observed, the region/community is limited in taking action quickly. Adapting to the respective climate risk may take years to a decade.

2.4.5 Understand Resilience Capacity

La capacità di resilienza offre un'immagine di quanto una popolazione possa ritornare ad uno stato di normalità dopo un evento climatico estremo. Questo aspetto si basa sulle capacità economiche, sulle risorse umane, naturali, fisiche e sociali.

Regione Molise vanta una serie di aspetti che già sono implementati nel territorio. Innanzitutto ha un apparato legislativo corposo relativo alla Protezione Civile che analizza in dettaglio vari rischi, fra qui quelli analizzati nel presente progetto. Dispone inoltre di un Piano Operativo Antincendio Boschivo e di un "Sistema di Allertamento Multirischio per la Regione Molise" in cui si analizzano vari aspetti e vengono stabiliti protocolli di azione, il primo per gli incendi boschivi, il secondo per una serie di rischi ambientali (fra cui le piogge intense) cui il Molise è soggetto. Tutto questo corpo legislativo fornisce un background importante e solido su cui poi basare ulteriori aspetti di resilienza.

La Regione può fare affidamento sulle risorse umane. Nello specifico, accanto al Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (ente predisposto alla gestione emergenziale dei pericoli ambientali) si pone il corpo volontariato di Protezione Civile con una serie di attrezzature, mezzi e capacità (come ad esempio bollettini, strutture ed infrastrutture di emergenza, e servizi di supporto alla gestione dell'emergenza) grazie alle quali può fornire un prezioso aiuto alla popolazione.

Purtroppo altri aspetti di resilienza sono più deboli. L'aspetto economico finanziario, primo fra tutti, è quanto mai critico, per una serie di motivi. L'economia della regione si regge prevalentemente sull'industria di piccola scala, sulle microimprese/piccole attività, agricoltura e artigianato e la maggior parte delle risorse viene destinata allo sviluppo economico e ad altri settori. Questa situazione si pone in un contesto che fornisce una più ampia prospettiva delle "capacità umane" di cui la regione può disporre: purtroppo, mentre tecnica e conoscenza si stanno sviluppando, la consapevolezza della natura dei rischi ambientali forse è rimasta indietro, poichè l'approccio a queste problematiche rimane quasi esclusivamente emergenziale e non preventivo.

Infine si può dire che la naturale capacità di un ecosistema naturale di rigenerare se stesso viene minata dall'intensità e dalla frequenza con cui determinati eventi accadono.

RESILIENZA	
Piogge intense	2
Incendi boschivi	3

2 - Medium: Medium resilience capacity or some CRM measures in place.

3 - Substancial: Substantial and broad resilience capacity with specific CRM measures in place, but space for improvement.

2.4.6 Decide on Risk Priority

Per la valutazione delle priorità di rischio è stato utilizzato il *key risk dashboard template* di CLIMAAX. Emerge che, dopo le analisi relative alla severità attuale e futura, urgenza e resilienza, il rischio maggiore che Regione Molise corre è relativo alle piogge intense. Questa priorità è stata assegnata perché due fattori hanno fatto la differenza fra i rischi analizzati: la severità attuale e la capacità di resilienza.

Circa la severità si ritiene che l'impatto delle piogge sia maggiore perché coinvolgono una porzione spesso molto più ampia di territorio e interessa quindi un maggiore numero di persone. Gli effetti poi sono più impattanti, dato che spesso a questi fenomeni sono associati frane o dissesti idrogeologici locali, che minano la stabilità di una comunità. Per quanto riguarda la resilienza, oltre a determinati bollettini e protocolli, per fronteggiare eventi di tale entità la comunità ha meno risorse e strumenti rispetto all'emergenza incendi boschivi.

Risk Workflow	Severity C	Severity F	Urgency	Capacity Resilience/ CRM	Risk Priority
River flooding					
Coastal flooding					
Heavy rainfall	4	4	3	2	Very high
Heatwaves					
Drought					
Fire	3	4	3	3	High
Snow					
Wind					

Severity	Urgency	Resilience Capacity	Risk Ranking
Critical	Immediate action needed	High	Very high
Substantial	More action needed	Substantial	High
Moderate	Watching brief	Medium	Moderate
Limited	No action needed	Low	Low

Figure 2-18 Tabella valutazione delle priorità dei rischi a cui Regione Molise è soggetta.

Per corroborare l'ipotesi che il rischio di maggiore priorità siano le piogge intense ed abbondanti , è stata portata avanti un'ultima analisi sui rischi. Il fine ultimo è cercare di interpretare i due risultati ottenuti come unico, per comprendere olisticamente la reale situazione sui rischi in Regione Molise.

In questa analisi i rischi piogge intense (3h e 24h) e il rischio incendi boschivi sono stati sommati (attribuendo ai valori "No Data" degli incendi boschivi il valore "0") al fine di cercare di individuare quali sono le macro-aree più esposte a tali rischi. Si chiameranno le carte così prodotte "rischio cumulato".

Rischio cumulato = rischio piogge intense e/o abbondanti 3h e 24h + rischio incendi boschivi.

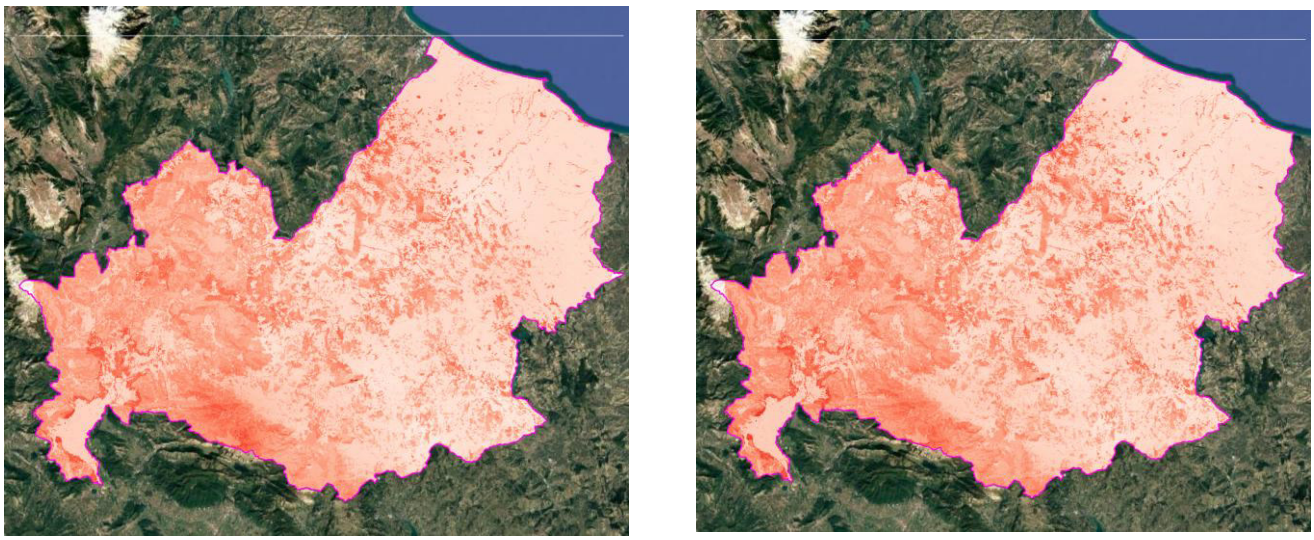


Figure 2-19 A sinistra la carta del rischio cumulato fra incendi e precipitazioni intense 3h e a destra la medesima con l'utilizzo del rischio precipitazioni intense 24h.

Le aree a maggiore esposizione dei due rischi hanno una colorazione tendente al rosso acceso, mentre le aree meno "rischiose" tendente al bianco. Le due carte evidenziano che le zone più esposte sono concentrate nella zona del Molise occidentale, nell'area del Massiccio del Matese e nella zona costiera. In quest'ultima zona non si notano su ampia scala zone il cui rischio cumulato è alto, tuttavia se si effettua uno zoom proprio su queste aree, si noteranno che piccole ma importanti porzioni sono altamente rischiose e sono prevalentemente limitrofe alle strutture turistico-ricettive.

Entrambe le carte del rischio cumulato sono state riclassificate su una scala di valori da 0 a 12. Per cercare di evidenziare al meglio possibile le macro aree più esposte a questi rischi sono stati esportati, in formato vettoriale, i centroidi dei pixel il cui valore della mappa del rischio cumulato ricade nel terzo superiore (ossia su una scala 0 - 12 sono estratti e creati i centroidi dei pixel con valore maggiore di 8).

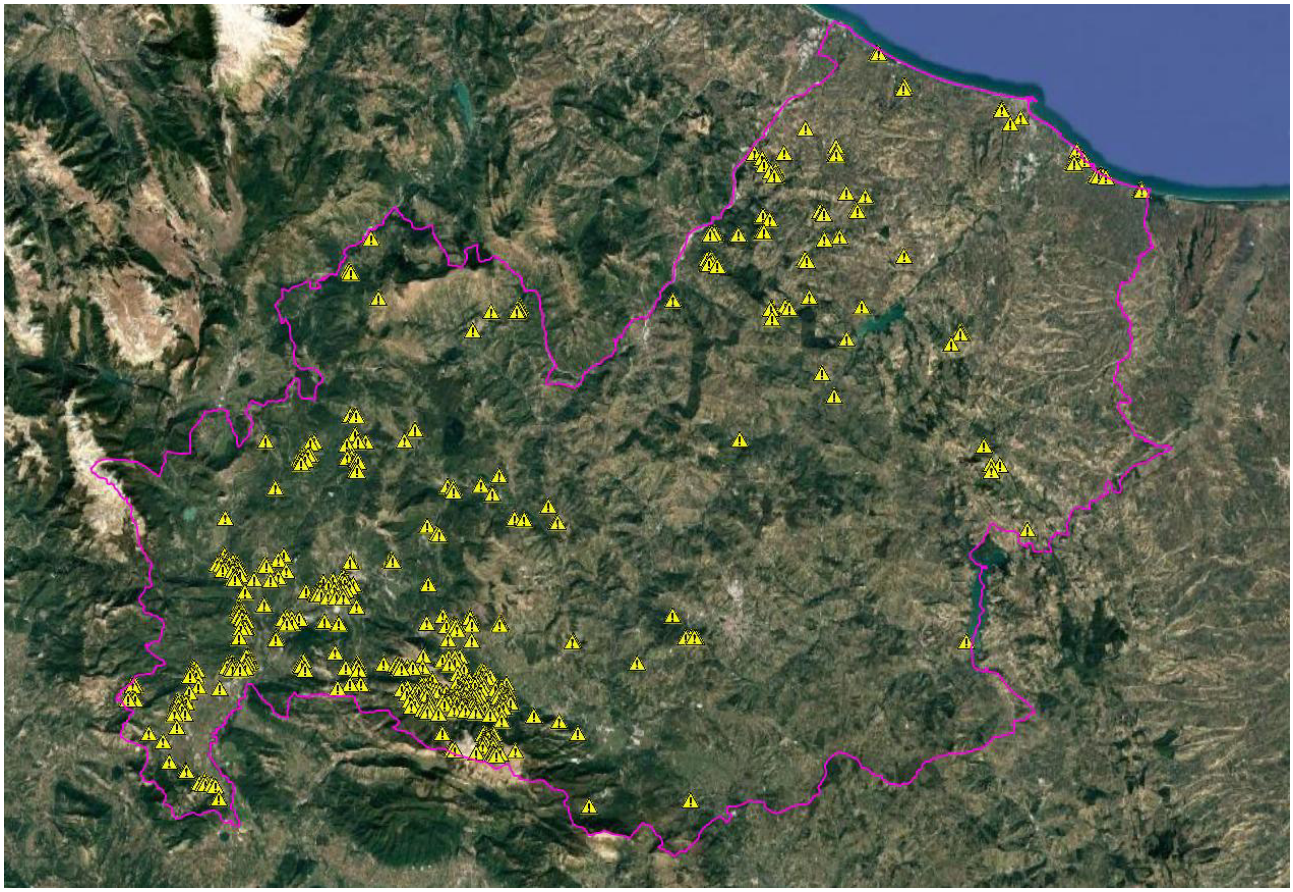


Figure 2-20 Sopra la carta del rischio cumulato fra incendi e precipitazioni intense 3h e a destra la medesima con l'utilizzo del rischio precipitazioni intense 24h.

Si nota come nella carta sopra riportata la Regione sia divisa in 2: l'area a SO e l'area centro settentrionale (costiera). Se si confronta questa carta con le carte presentate nei capitoli precedenti relativi al pericolo di piogge intense 3h e 24h e incendi boschivi (estivo) si nota come la divisione della carta del rischio cumulato risponde esattamente a quello che è già emerso nelle analisi precedenti, ossia che l'alto rischio delle zone sud-occidentali deriva dalla maggiore esposizione alle piogge intense, mentre le aree centrali e settentrionali sono più soggette agli incendi boschivi.

Quest'ultima analisi si è resa necessaria per capire dove e come è necessario intervenire per la mitigazione dei rischi specifici. Soltanto i comuni nella fascia collinare - orientale sono mediamente soggetti ad entrambi i rischi.

2.5 Monitoring and Evaluation

La seconda fase del progetto CLIMol ha permesso di fare chiarezza su alcuni aspetti.

1. Dataset rete regionale: il dataset per le variabili meteorologiche proprio di Regione Molise per poter essere utilizzato per analisi ambientali necessita (allo stato attuale) di interpolazioni per poter ottenere dati significativi.
   L'interpolazione sarebbe tanto più accurata quanto più fitte sono le stazioni meteo su cui viene calcolata (come viene fatto ordinariamente e quotidianamente dai servizi meteorologici), di conseguenza si evidenzia la necessità di implementare le stazioni esistenti con nuove stazioni spazialmente efficienti.

2. L'utilizzo dell'algoritmo CLIMAAX si è reso necessario per far emergere le criticità già esposte, soprattutto relative alla necessità di adottare un sistema, un metodo e dei dati locali per avere delle stime più veritiere sulla realtà regionale.
3. Priorità: grazie alla metodologia messa a disposizione dell'handbook di CLIMAAX è stato chiaro quali siano i rischi ambientali da attenzionare maggiormente nel breve periodo. La quantificazione di severità, urgenza ed emergenza ha permesso di stabilire un quadro chiaro dell'urgenza che hanno i rischi analizzati.

Da un punto di vista tecnico è emersa un'ottima collaborazione con diversi portatori di interesse e tecnici specializzati. Il reperimento dei dati necessari, l'esecuzione degli algoritmi e la loro analisi è stata possibile grazie alla sinergia dei diversi attori coinvolti.

Di fondamentale importanza sono stati anche i momenti informativi/divulgativi rivolti verso la popolazione. Sono stati momenti di formazione e di presa di consapevolezza delle problematiche ambientali che la Regione si trova e si troverà ad affrontare durante i prossimi anni.

2.6 Caratterizzazione climatologico - statistica dei dati meteorici relativi alla rete di rilevamento meteorologica Regionale di Protezione Civile

Lo studio dei principali parametri termo-meteorici ed in particolare delle precipitazioni estreme si basa oggigiorno sia su serie temporali storiche di dati misurati *in situ* da una rete di stazioni pluviometriche, sia su *dataset* di rianalisi (ad esempio i dati ERA5 elaborati del centro europeo ECMWF) aventi *input* variegati - stazioni di misura al suolo, palloni sonda, misure da satelliti meteorologici polari ed equatoriali, misure di aeromobili *etc* - trattati poi mediante le leggi della fisica termodinamica grazie un modello di previsione meteorologica avanzato (es IFS). Il *dataset* attualmente utilizzato per studi applicativi come questo in opera può essere definito ad altissima risoluzione, focalizzato sulle variabili del suolo e distribuito su una griglia regolare di circa 9 km o 0,25°x 0,25°.

In tal senso risulta palese che tra gli *output* delle analisi statistiche derivanti dai due differenti tipi di approccio scientifico si abbiano scarti numerici anche significativi. Tali scarti derivano da:

1 - *smoothing* del grigliato - Il pluviometro al suolo misura la pioggia caduta esattamente in un punto specifico mentre il modello di simulazione calcola il valore medio della cumulata "spalmandolo" su una cella di griglia quadrata di circa 9 km di lato.

Da un punto di vista climatologico statistico ciò si esplica in una generale sottostima degli outlayer meteorici da parte del modello di simulazione.

2 - Le **precipitazioni convettive** s.l. sono mal "lette" o simulate dal modello matematico di Era5, in quanto le nubi a forte sviluppo verticale - che causano i rovesci ed i nubifragi piu intensi _ sono generalmente molto più limitati in estensione della griglia di calcolo. Il modello deve quindi usare

delle approssimazioni matematiche che non sempre riescono a riprodurre la reale intensità puntale dell'evento meteorico al suolo.

3). **L'effetto orografico**: nelle aree montuose, la precipitazione s.l. dipende fortemente dalle caratteristiche morfologiche e morfometriche alla scala locale che puoi essere descitto solamente mediante misure lineari e radiali. Inoltre un grigliato, anche se molto fine, tende a sottostimare le quote massime dei rilievi, sottostimando anche quindi l'effetto di sollevamento forzato orografico e di conseguenza seppur in maniera indiretta anche le cumulate meteoriche derivanti dalla perturbazione atmosferica.

Evidentemente, il ***downscaling* utilizzato** riduce fortemente tali esiti derivanti dalla termodinamica dell'atmosferica e dalla morfologia del territorio ma non annulla completamente le differenze, per cui rimane evidente la problematica relativa alla differenza tra le due misure di output.

Nel territorio fisico molisano, la forte complessità oro-geografica rende la misurazione in situ e indirettamente anche le modellazioni relative a fenomeni pluviometrici intensi un problema scientifico attualmente ancora estremamente complesso. Più in particolare, essendo il *timespan* delle precipitazioni oggetti del presente studio estremamente variabile tra fenomeni impulsivi a 3 ore e fenomeni di aspetto orografico - sinottico – da 6 a 24 ore, numerosi sono gli aspetti che contribuiscono a determinare le differenze numeriche esistenti tra le due tipologie di analisi climatica utilizzati nel progetto. Problematica comune ai due tipi di causa dal primo e secondo quadrante - mare Adriatico - o dal terzo e quarto quadrante mare Tirreno e mare Mediterraneo - incontrano improvvisamente le barriere montuose del Matese e della Meta. Le precipitazioni sono alternativamente piu abbondanti e concentrate sui versanti di *stau* o sopravento, vale a dire quello adriatico per il primo caso e quello tirrenico per il secondo caso.

Uno studio elaborato da Fazzini et al evidenzia come nel territorio molisano, le cumulate di natura a componente orografica rappresentino oltre il 70% dei totali annuali.

Relativamente alle precipitazioni convettive, esse caratterizzano il semestre caldo – tra maggio e ottobre e la loro distribuzione spaziale è quanto mai influenzata dalla morfologia, anche in termini di locale surriscaldamento delle conche interne. Anche in questo caso, i modelli matematici tendono a sottostimare la fenomenologia meteorica locale ed intensa associata.

Ciò detto, occorre evidenziare che la moderna rete di monitoraggio esistente nel territorio fisico della Regione Molise ed in un suo significativo intorno (Sannio Campano, media valle del Volturno, Daunia) debutta nel 1998 ma in maniera del tutto irregolare, in relazione alla graduale sostituzione della vecchia rete a rilevamento manuale gestita dai dismessi Servizi Tecnici Nazionali. A causa di questa interruzione, la maggior parte delle serie storiche termo-pluviometriche esistenti sino al

termine del XX secolo hanno subito una definitiva cessazione, né, anche ricorrendo alle più moderne tecniche di omogeneizzazione delle serie storiche si possono recuperare serie storiche definibili omogenee, soprattutto per ciò che concerne i dati relativi alle precipitazioni intense. Di fatto queste, come appena evidenziato e risaputo in campo tecnico scientifico, manifestano una distribuzione spaziale assolutamente imprevedibile, con enormi scarti nelle cumulate anche a distanze estremamente limitate.

Se si va ad esaminare dettagliatamente **l'estensione temporale delle serie storiche** si evidenzia che solamente 6 delle 52 stazioni di monitoraggio attualmente operative posseggono dati estesi per circa 30 anni – ovverosia dal 1998; 27 di esse sono temporalmente estese nell'ultimo ventennio circa, a partire dal 2007 e, pur non rispettando la normativa WMO n°1203, risultano essere complessivamente adeguate ad un' analisi statistica superiore finalizzata alla definizione spaziale delle aree a comportamento climatico omogeneo.

Vista l'estrema gravosità determinata dal recupero, validazione ed analisi di qualità del dati appena menzionati, si precisa che tali importanti approfondimenti statistici sono in corso ed i risultati dell'analisi saranno evidenziati nel *Deliverable Phase 3* del progetto.

Per cercare di quantificare il segnale climatico medio, si sono pertanto esaminate, a livello preliminare, tali serie storiche disponibili, estese per circa 20 anni – periodo comunque sufficiente per tentare di caratterizzare la climatologia alla scala "regionale". Da tale prima analisi basata sui quantitativi massimi annuali dei *timespan* oggetto dello studio e sulle loro tendenze generali è emersa una distribuzione statistica che dovrà necessariamente essere comprovata scientificamente da una *cluster analisys* dedicata. I risultati preliminari dello studio evidenzierebbero una suddivisione del territorio regionale in quattro aree pluviometricamente omogenee:

- A - Fascia costiera e basso collinare
- B - Fascia di media ed alta collina subappenninica
- C - Area del Massiccio del Matese (che probabilmente ingloba anche l'area del massiccio della Meta)
- D - Area dell'alto Molise occidentale e del bacino del Volturno

Tale suddivisione del territorio è lievemente differente da quella emersa nel prima menzionato studio alla scala regionale e basata sia su dati meno recenti ma molto piu numerosi, sia su parametri meteorici alla scala mensile. I risultati di tale studio sono stati poi tradotti nel documento regionale denominato "studio idrogeologico e pluviometrico" del 2013. In questo studio si

evidenziavano cinque aree omogenee che distinguevano l'area dell'Alto Molise da quella del bacino del Volturno.

In tal senso, la problematica piu gravosa risiede nell'evidenza che nell'intera porzione dell'alto e medio bacino non esiste una sola serie storica omogenea caratterizzata da un segnale ultra ventennale.

Procedendo poi per *back-analysis,* sono state individuate, tra le serie storiche più estese, quattro stazioni di misura rappresentative del segnale ventennale:

- Per l'area A : Termoli
- Per l'area B: Campobasso
- Per l'area C: Roccamandolfi
- Per l'area D: Pietrabbondante

I risultati grafici dell'analisi di trend con relative tendenze sono riportati nelle tabelle 1-4 e nelle figure 1-4 di seguito evidenziati.

Table 2-5 Area A – Termoli – 75 m . – tabella 1

Termoli	3h	6h	12h	24h
05/09/2001	29,6	42,4	62,6	64,4
29/08/2002	81,4	95,4	112,8	112,8
15/10/2003	55,8	70	88,6	89,2
14/11/2004	37,6	55,4	72,6	86,4
20/09/2005	35,2	42,4	54,6	63,8
27/08/2006	35	40,8	59,2	59,4
07/10/2007	26,4	30,8	36	43,2
15/11/2008	25,2	26,4	37,6	47,8
23/10/2009	48,4	62,2	65	87,4
10/09/2010	31	37	49,4	56,2
20/09/2011	83,6	92,2	98	107
13/09/2012	21,2	30	39,6	48,2
01/12/2013	25,2	40,2	69	91,2
04/10/2014	53,2	74	82,4	85,6
26/11/2015	24,8	38,8	59,2	88,8
15/07/2016	37,4	59,8	64,4	66,8

25/07/2017	22,4	36,4	57,8	85,2
26/08/2018	34	39,8	42,8	61
10/07/2019	41,4	45,8	46,6	46,6
20/11/2020	19,8	33,2	50,2	80,6
28/08/2021	29,8	30,4	39,6	48,8
25/09/2022	21,2	31,8	46,6	55,8
20/01/2023	33	46	57,2	68,4
09/09/2024	25,2	25,2	30	34,4
16/10/2025	40,6	47,8	78,4	91,2
average	**36,7**	**47,0**	**60,0**	**70,8**
Max	**83,6**	**95,4**	**112,8**	**112,8**

Table 2-6 Area B – Campobasso – 751 m. – tabella 2

Campobasso	3h	6h	12h	24h
13/11/2001	17,2	25,4	29,2	38,6
03/10/2002	12,7	12,7	12,7	12,7
18/06/2003	27,4	34,2	36,4	53
05/02/2004	20,1	20,1	40,2	40,2
03/10/2005	33,4	41,8	48	48,6
02/06/2006	18	22,2	39,8	47,6
10/06/2007	17,6	17,6	20	25,4
04/11/2008	37,4	45,2	45,4	45,4
27/06/2009	17,8	20	23,8	33,6
03/08/2010	27	36,2	47,8	59,6
15/08/2011	38,4	40	42,8	56,2
14/09/2012	19,2	30,2	32,2	53,6
29/09/2013	52,4	58,4	68,4	74,4
12/04/2014	41,4	46,6	46,8	49
14/10/2015	36,2	47	54,8	67,6
06/06/2016	28	32,6	33,6	46,2
02/09/2017	27,8	30,2	33,6	51,8
05/05/2018	31,4	32,4	38,4	48,4
24/08/2019	33,8	35,8	44,8	55,2

04/07/2020	32,8	35,8	48	56
08/12/2021	26,8	36,4	48	58,4
25/09/2022	26,6	44,4	66,6	70
07/06/2023	34,2	34,4	35,8	35,8
20/08/2024	34,4	37,6	37,6	37,8
23/04/2025	22,2	22,2	26,8	37
average	**28,6**	**33,6**	**40,1**	**48,1**
Max	**52,4**	**58,4**	**68,4**	**74,4**

Table 2-7 Area C – Roccamandolfi – 851 m. – tabella 3

Roccamandolfi	3h	6h	12h	24h
28/07/2001	43,4	45,4	51,8	67,4
22/09/2002	48,6	71,2	85,2	90,6
03/06/2003	59	78,6	97,6	108,8
14/11/2004	53,2	70	91	161
27/11/2005	30,6	53	93,8	127,4
15/09/2006	33,4	46,8	60	60
31/10/2007	35,4	45,6	57	77
05/12/2008	40	58,8	80,6	108,6
21/09/2009	42	60,2	93,6	96
08/01/2010	43,4	77,6	111,4	127
16/02/2011	43	64,6	101	118,8
24/07/2012	38,6	43,2	64,8	103
26/12/2013	51,6	83,6	119,8	135,2
09/02/2014	40,2	50,2	65,4	69,8
14/10/2015	71	87,4	94	116
05/03/2016	36,6	49	63	92,4
15/12/2017	62	91	127	147,2
28/10/2018	63,8	108,6	143,8	187
05/11/2019	66,2	101,8	140	152,8
27/09/2020	62,4	91,2	110,8	112

03/11/2021	59,4	74	126,2	166,2
09/08/2022	73,6	77	117,4	130,8
17/01/2023	52,6	81,8	114,4	147,6
28/08/2024	38,8	52,8	66,8	101
10/09/2025	79,6	84,6	103,6	130
average	**50,7**	**69,9**	**95,2**	**117,3**
Max	**79,6**	**108,6**	**143,8**	**187**

Table 2-8 Area D – Pietrabbondante – 955 m. – tabella 4

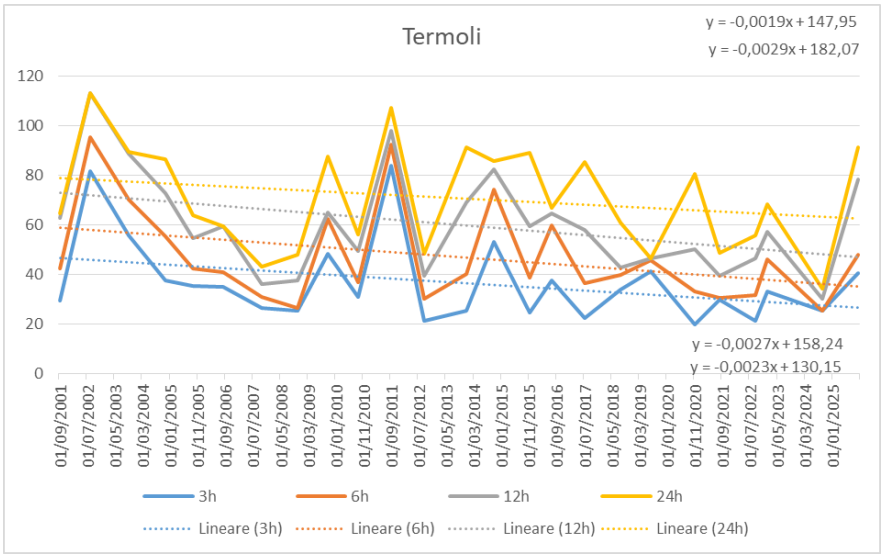
Pietrabbondante	3h	6h	12h	24h
27/08/2001	40	40	41,8	42,4
13/05/2002	32	38,6	38,8	55,8
20/10/2003	47,2	57,2	67	68,2
08/08/2004	43	43	48	48
16/11/2005	43	71,8	74,6	75,2
29/07/2006	55,8	57,8	57,8	57,8
31/10/2007	28,8	36,4	37,4	38,4
03/06/2008	32,2	34	45,4	68
21/06/2009	39,6	42,6	58,8	88,8
10/11/2010	33,8	43,8	46	68,8
30/06/2011	47	47,2	47,2	47,2
26/08/2012	34,4	34,6	34,6	49,6
20/08/2013	42,8	43,8	46,6	69
22/07/2014	35	42,6	50,2	67,2
14/10/2015	25,8	32,4	41,4	56
30/06/2016	57,8	68,6	68,6	81,2
10/09/2017	52,8	53,2	65,6	74,6
07/09/2018	36	44,4	62,2	76,6
19/12/2019	24,8	31,4	46,8	64,2

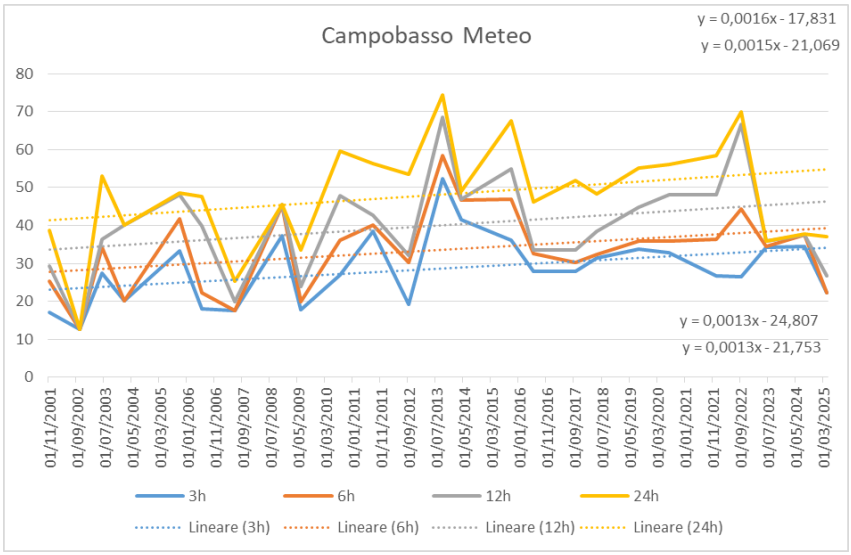
15/08/2020	39,4	39,4	56,4	71,4
24/08/2021	38,4	38,6	45,2	71,2
26/08/2022	36,6	36,6	36,6	41,2
28/03/2023	20,4	23,4	34,5	38
23/12/2024	15,8	17,8	21,6	22,4
25/04/2025	35,4	38,2	40,8	63,2
average	**37,5**	**42,3**	**48,6**	**60,2**
Max	**57,8**	**71,8**	**74,6**	**88,8**

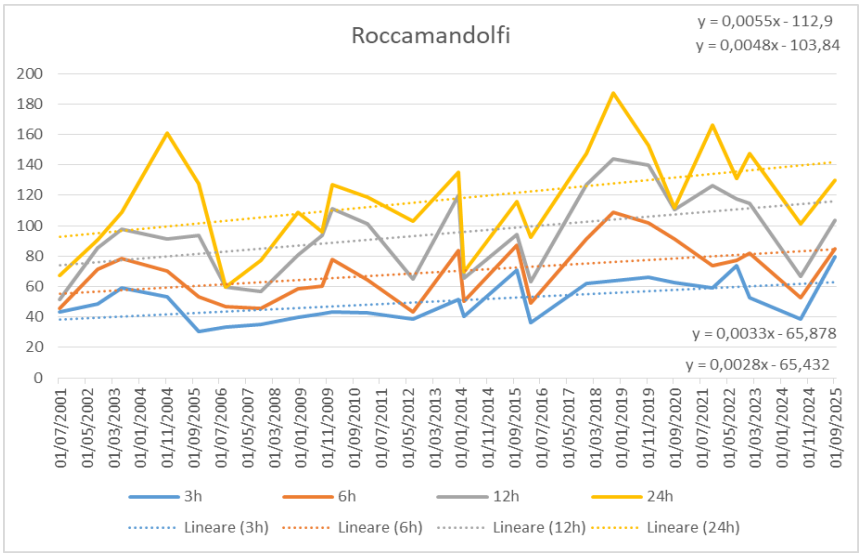
Cercando di trovare una **relazione tra parametri meteorici estremi e quota**, risulta evidente che non vi sia alcun rapporto statisticamente significativo – con i coefficienti di correlazione prossimi a zero per tutti i periodi temporali esaminati. Piuttosto risulta nuovamente evidente il più volte menzionato effetto della barriera orografica esercitata dal massiccio del Matese. Tuttavia, come si può osservare nelle tabelle soprastanti, l'area costiera presenta valori meteorici assoluti relativamente ai fenomeni brevi, provocati da *deep convection* persino superiori a quelli tipici dell'area matesina.

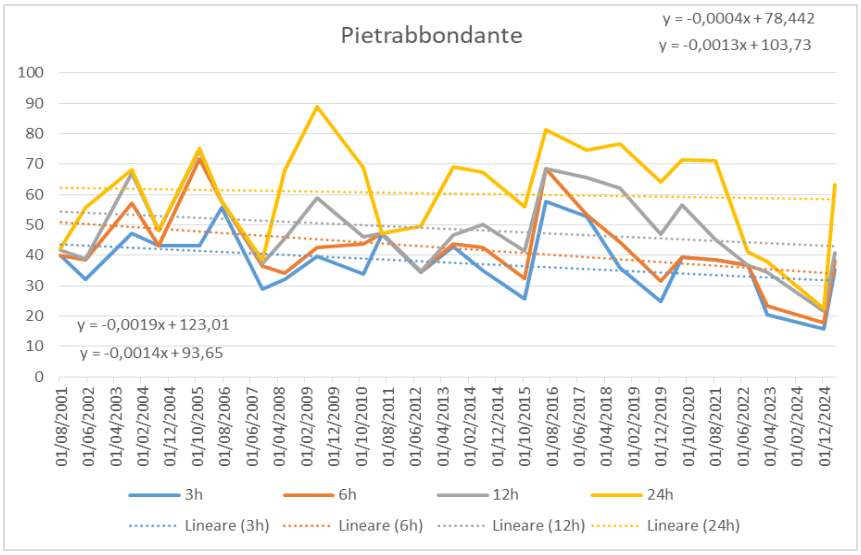
Ciò va a confermare che, stante il sempre più comprovato riscaldamento superficiale del mare Mediterraneo, il sistema terra - mare - troposfera dispone – almeno nell'intero semestre caldo e non più solamente nel trimestre luglio - settembre - di enormi quantità di calore latente che, in presenza di una bassa e media troposfera instabile, possono innescare fenomenologie brevi ma particolarmente intense: gli effetti al suolo di tali manifestazioni meteoriche si traducono sempre più spesso in condizioni di elevato rischio geoidrologico - allagamenti nella aree urbane di pianura, alluvioni lampo lungo il reticolo idrografico minore e movimenti gravitativi di versante nelle aree argillose del territorio basso e medio collinare regionale.

Figure 2-19 1-4 – andamento climatologico recente delle massime precipitazioni annuali per i timespan da 3 a 24 ore con evidenziate le funzioni lineari interpolanti con relative equazioni


Termoli
y = -0,0019x + 147,95
y = -0,0029x + 182,07
y = -0,0027x + 158,24
y = -0,0023x + 130,15
3h
6h
12h
24h
Lineare (3h)
Lineare (6h)
Lineare (12h)
Lineare (24h)


Campobasso Meteo
y = 0,0016x - 17,831
y = 0,0015x - 21,069
y = 0,0013x - 24,807
y = 0,0013x - 21,753
3h
6h
12h
24h
Lineare (3h)
Lineare (6h)
Lineare (12h)
Lineare (24h)


Roccamandolfi
y = 0,0055x - 112,9
y = 0,0048x - 103,84
y = 0,0033x - 65,878
y = 0,0028x - 65,432
3h
6h
12h
24h
Lineare (3h)
Lineare (6h)
Lineare (12h)
Lineare (24h)



Se si vanno ad analizzare gli output relativi al segnale meteorico recente (figg. 1-4), risulta evidente un segnale non omogeneo. Nell'area sannita – matesina, seppur con una statistica non significativa, il trend sembra essere in lieve generale aumento per tutti i *timespan* analizzati mentre nel comparto costiero e dell'alto Molise - alto bacino del Volturno si osserva un trend lievemente negativo.

Ciò non equivale ad affermare che le precipitazioni intense ed abbondanti assolute stiano aumentando nella prima area e diminuendo nella seconda; piuttosto analizzando piu dettagliatamente i grafici, risulta evidente che gli *outlayer* precipitativi recenti si siano verificati con maggiore frequenza negli ultimi decenni nella prima area e nel primo decennio del secolo in corso nella seconda area.

Tale evidenza porta a pensare che alla **base di fenomeni estremi non vi sia il pur evidente riscaldamento che caratterizza anche quest'area di studio quanto piuttosto fattori alla mesoscala e alla scala locale** che possono determinare l'andamento quantitativo dei fenomeni impulsivi convettivi s.l. piuttosto che advettivi s.l.

Evidentemente, la prima citata analisi relativa all'ultimo ventennio per tutte le serie storiche disponibili potrà confermare o smentire tale preliminare segnale.

In conclusione, dai primi risultati dell'analisi statistica del dato disponibile risultano evidenti molti limiti dell'attuale rete di rilevamento meteoclimatica, eccellentemente gestita dalla Protezione Civile delle Regione Molise:

- Mancanza di un significativo numero di serie storiche omogenee e continue sulle quali poter effettuare analisi statistiche tali da poter paragonare i relativi risultati con quelli delle elaborazioni modellistiche di ERA 5. Evidentemente tra un ventennio, la rete attuale anche in

mancanza di un raffittimento della stessa, potrà essere considerata adeguata per caratterizzare la climatologia del territorio fisico molisano.

Relativamente all'attuale distribuzione spazio – altitudinale della rete operativa si suggerisce quanto segue:

- IMPLEMENTAZIONE della sensoristica dedicata assolutamente necessaria nell'area montana della Meta, dove manca qualsiasi stazione di monitoraggio al di sopra dei 500 metri di quota.
- Raffittimento della rete nell'area dei Monti Frentani, specialmente sulle creste spartiacque secondarie, laddove l'orografia gioca un ruolo fondamentale nella distribuzione delle fenomenologie orografico-convettive estive ed advettive nel semestre freddo. In particolare si necessita di stazioni nell'area compresa tra Agnone, Castiglione Messer Marino – Schiavi d'Abruzzo e Torrebruna, al confine con la provincia di Chieti
- Completamento della sensoristica nell'area costiera e basso collinare al confine con la provincia di Foggia – area Larino - Campomarino – Ururi – San Martino in Pensilis, area che negli ultimi anni è stata interessata da alluvioni lampo di notevole magnitudo. Stessa problematica affligge anche l'area sannita meridionale e l'area dauna *s.s.*, sempre al confine con la provincia di Foggia e con quella di Benevento

Raffittimento della rete nivometrica oltre i 1200 metri di quota, soprattutto in relazione alla possibilità del verificarsi di alluvioni lampo nei bacini minori sottostanti i maggiori rilievi regionali, e di piene ad elevata magnitudo nei segmenti medio e basso vallivi dei maggiori bacini imbriferi, in concomitanza di una fase con abbondanti nevicate seguite da avvezioni di aria mediterranea, con precipitazioni liquide sino a quote elevate e rapida ablazione del manto nevoso. Tale tipo di evoluzione meteorologica alla scala regionale di bacino mediterraneo si sta verificando con sempre maggiore frequenza in primavera o secondariamente nel tardo autunno non solo lungo la catena appenninica ma anche nelle aree prealpine.

2.7 Work plan Phase 3

La terza ed ultima fase del progetto si propone di intervenire sul territorio per mitigare i rischi analizzati nelle prime due fasi del presente progetto.

Dal punto di vista delle piogge, è emerso che l'attuale distribuzione spaziale delle stazioni meteorologiche non è in grado di fornire una copertura omogenea di dati, quindi la loro analisi risulta difficoltosa. Per tale motivo uno degli obiettivi riguarderà l'analisi della dislocazione nel territorio di queste stazioni ed un maggiore dettaglio di analisi dei dati riportati nel paragrafo 2.6.

Dal punto di vista incendi boschivi è stato rimarcato come gli interventi di mitigazione sul territorio debbano essere affiancati da un'adeguata struttura organizzativa, fatta di persone, competenze, tecnologie e procedure. A questo proposito è auspicabile che il progetto CLIMoI nella sua fase 3, inizi ad avviare la procedura di aggiornamento del Piano Operativo Antincendio Boschivo, ossia il documento tramite il quale ogni regione italiana disciplina ed organizza il proprio assetto AIB. Questo documento è utile non soltanto per stabilire *al momento* precisi protocolli, analisi e percorsi di formazione, ma anche per *programmare* attività in futuro, quali ad esempio opere di prevenzione aib (miglioramento di viabilità, implementazione di infrastrutture ecc..). L'implementazione delle stazioni meteorologiche è sicuramente utile anche per l'aspetto previsionale degli incendi: il monitoraggio dell'umidità, temperatura, vento e precipitazioni fornisce un dato molto accurato degli incidenti e codici che compongono l'FWI.

3 Conclusions Phase 2- Climate risk assessment

In conclusione al progetto CLIMOI si possono trarre alcune conclusioni, che verranno esposte divise per rischio analizzato.

Incendi boschivi.

Molise è una regione suscettibile agli incendi boschivi dati gli elementi di sensibilità (ecosistemi, insediamenti urbani, attività economiche ad esempio). L'analisi di questo rischio ambientale ha permesso di focalizzare meglio sulle problematiche relative alla previsione (mancanza di un dataset significativo locale) ed alla pianificazione territoriale (molte aree turistico-ricettive sono particolarmente esposte a questo problema).

Piogge intense.

Anche se i risultati emersi sono discordanti, rimane la certezza che la vulnerabilità e l'esposizione della Regione rimangono sensibili a questa problematica. Si pensi a titolo di esempio all'evento di precipitazioni (in parte a carattere nevoso) di aprile 2026 che hanno colpito il Molise e interrotto temporaneamente le comunicazioni viarie verso il sud Italia.

Altro aspetto emerso in tale analisi è la necessità di migliorare il dataset della rete regionale tramite l'installazione spazialmente omogenea e completa di nuove ed ulteriori stazioni meteorologiche.

4 Progress evaluation

Table 4-1 Overview key performance indicators

Key performance indicators	*Progress*
At least [2] workflows successfully applied on Deliverable 1	**goal achieved**
A minimum of [2] communication actions taken to share results with stakeholders (specific project sections also on www.regione.molise.it and www.protezionecivile.molise.it)	**goal achieved**
A minimum of [3] publications and dissemination actions (also using official social media pages (@pcmolise) while creating the hashtag #CLIMol for better spreading information)	**goal achieved**
[2] press conference	**objective partially achieved (1 press conference held, second to be held)**
A minimum of [2] articles in regional media mentioning the project	**goal achieved**
A minimum of [2] fully updated hazard maps of the applicant territory included in Deliverables 2	**goal achieved**
A minimum of [2] updated exposure maps of the applicant territory included in Deliverables 2	**goal achieved**
A minimum of [2] updated risk maps of the applicant territory included in Deliverables 2	**goal achieved**
A minimum of [7] different categories of stakeholders involved in the activities of the project	**goal achieved**

Table 4-2 Overview milestones

Milestones	*Progress*
CLIMAAX 1st workshop participation in Barcelona	**goal achieved**
Stakeholders mapping	**goal achieved**
Workflow 1 application	**goal achieved**
Workflow 2 application	**goal achieved**
Data collection	**goal achieved**
Risks scenario(s) refinement and improvement	**Objective partially achieved (the inhomogeneity of the local network data does not allow the complete application of the CLIMAAX workflows, but we are very satisfied as it was an opportunity to enhance and analyse the data of our local network and hypothesize spatial distribution solutions for the**

Milestones	*Progress*
	new network to be proposed in the Phase 3 deliverable, at the end of the project)
Evaluate impacts on RM plans	**goal achieved. Regional stakeholders have shared the project results and, above all, the proposed intervention priorities—foremost among them being data sharing to gain insight into what is happening across the territory. We are committed to achieving this shared goal as soon as possible, specifically to ensure universal access to recorded data, as we believe that data-driven insight is the foundation of knowledge. In any case, we will strive to improve outcomes in this area during Phase 3, which is already underway.**
Stakeholders participation meetings	**goal achieved**
Stakeholders mitigation proposals integration	**Ongoing activities**
CLIMAAX 2nd workshop participation in Bruxelles	**Activities to do**

5 Supporting documentation

- Diffusione

Document/Site	Note	Link
Protezione Civile Molise	Section of the Molise Civil Protection's official website dedicated to disseminating the project results.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
Dissemination of the Phase I report	Italian Version	https://protezionecivile.molise.it/wp-content/uploads/2026/10/CLIMAAX_M6_Deliverable_template_FSTP_final_rev02.pdf
Dissemination of the Phase I report	English Version	https://protezionecivile.molise.it/wp-content/uploads/2026/10/CLIMAAX_M6_Deliverable_template_FSTP_final_rev02_en.pdf
Dissemination geographic data of CLIMAAX-CLIMOL project	Civil Protection Geocatalog with accredited access to the entire catalog (approximately 200 agencies)	https://resilience.arpes.it/login
Heavy Raifall Analyses based on CLIMAAX toolbox algorithms and local sensor network		https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/

molise_heavyrain_risk_shift_magnitude_rcp85_100mm24h_2041-2070 2_CAE.png	Change in Heavy Rainfall Magnitude (RCP8.5, 2041–2070) Maps the projected shift in precipitation intensity for 24-hour rainfall events exceeding 100 mm under the high-emissions RCP8.5 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_risk_shift_frequency_rcp85_100mm24h_2041-2070 2_CAE.png	Change in Extreme Event Frequency (RCP8.5, 2041–2070) Displays the expected change in frequency for 24-hour extreme rainfall events (≥100 mm) under the RCP8.5 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_pr_annualMax_3h_2041-2070_Termoli_CAE.png	3-Hour Annual Maximum Rainfall Hazard – Termoli (2041–2070) Projections of maximum annual 3-hour precipitation hazard for the municipality of Termoli.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_pr_annualMax_3h_2041-2070_Isernia_CAE.png	3-Hour Annual Maximum Rainfall Hazard – Isernia (2041–2070) Projections of maximum annual 3-hour precipitation hazard for the municipality of Isernia.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/

molise_heavyrain_hazard_pr_annualMax_3h_2041-2070_Campobasso_CAE.png	3-Hour Annual Maximum Rainfall Hazard – Campobasso (2041–2070) Projections of maximum annual 3-hour precipitation hazard for the municipality of Campobasso.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_mean_prec_rcp85_24h_2010-2025_2041-2070_CAE.png	Mean 24-Hour Precipitation Hazard Comparison (RCP8.5) Comparative hazard assessment of mean 24-hour precipitation between the baseline (2010–2025) and future projections (2041–2070).	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_espo_rcp85_24h_10y_return_period_2041_2070_CAE.png	10-Year Return Period Exposure – RCP8.5 (2041–2070)Exposure analysis for a 24-hour rainfall event with a 10-year return period under the high-emissions RCP8.5 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_espo_rcp45_24h_10y_return_period_2041_2070_CAE.png	10-Year Return Period Exposure – RCP4.5 (2041–2070)Exposure analysis for a 24-hour rainfall event with a 10-year return period under the moderate RCP4.5 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/

molise_heavyrain_espo_rcp26_24h_10y_return_period_2041_2070_CAE.png	10-Year Return Period Exposure – RCP2.6 (2041–2070) Exposure analysis for a 24-hour rainfall event with a 10-year return period under the low-emissions RCP2.6 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
Heavy Rainfall Analyses based on CLIMAAX toolbox algorithms and CHAPTER_RISICO data		
molise_heavyrain_risk_shift_magnitude_rcp85_100mm24h_2041-2070 2_CHAPTER_RISICO.png	Change in Heavy Rainfall Magnitude (RCP8.5, 2041–2070) Shift in precipitation intensity for 24-hour rainfall events exceeding 100 mm under the high-emissions RCP8.5 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_risk_shift_frequency_rcp85_100mm24h_2041-2070_CHAPTER_RISICO.png	Change in Extreme Event Frequency (RCP8.5, 2041–2070) Shift in frequency of 24-hour extreme rainfall events (≥100 mm) under the RCP8.5 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_pr_annualMax_3h_2041-2070_Termoli_CHAPTER_RISICO.png	3-Hour Annual Maximum Precipitation Hazard – Termoli (2041–2070) Projections of annual maximum 3-hour rainfall hazard for the municipality of Termoli.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/

molise_heavyrain_hazard_pr_annualMax_3h_2041-2070_Isernia_CHAPTER_RISICO.png	3-Hour Annual Maximum Precipitation Hazard – Isernia (2041–2070) Projections of annual maximum 3-hour rainfall hazard for the municipality of Isernia.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_pr_annualMax_3h_2041-2070_Campobasso_CHAPTER_RISICO.png	3-Hour Annual Maximum Precipitation Hazard – Campobasso (2041–2070) Projections of annual maximum 3-hour rainfall hazard for the municipality of Campobasso.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_mean_prec_rcp85_24h_1982-2022_2041-2070_CHAPTER_RISICO.png	Mean 24-Hour Precipitation Hazard Comparison (RCP8.5) Comparison of mean 24-hour precipitation hazard between the historical baseline (1982–2022) and future projections (2041–2070).	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_GEV_termoli_CHAPTER_RISICO.png	Generalized Extreme Value (GEV) Distribution – Termoli GEV statistical model fit for extreme precipitation hazard analysis in Termoli.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/

molise_heavyrain_hazard_GEV_isernia_CHAPTER_RISICO.png	Generalized Extreme Value (GEV) Distribution – Isernia GEV statistical model fit for extreme precipitation hazard analysis in Isernia.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_GEV_campobasso_CHAPTER_RISICO.png	Generalized Extreme Value (GEV) Distribution – Campobasso GEV statistical model fit for extreme precipitation hazard analysis in Campobasso.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_expected_prec_3h_2041-2070_Termoli_CHAPTER_RISICO.png	Expected 3-Hour Rainfall Hazard – Termoli (2041–2070) Expected 3-hour precipitation hazard projections for the municipality of Termoli.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_expected_prec_3h_2041-2070_Isernia_CHAPTER_RISICO.png	Expected 3-Hour Rainfall Hazard – Isernia (2041–2070) Expected 3-hour precipitation hazard projections for the municipality of Isernia.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_hazard_expected_prec_3h_2041-2070_Campobasso_CHAPTER_RISICO.png	Expected 3-Hour Rainfall Hazard – Campobasso (2041–2070) Expected 3-hour precipitation hazard projections for the municipality of Campobasso.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/

molise_heavyrain_espo_rcp85_24h_10y_return_period_2041_2070_CHAPTER_RISICO.png	10-Year Return Period Exposure – RCP8.5 (2041–2070) Exposure analysis for a 24-hour rainfall event with a 10-year return period under the high-emissions RCP8.5 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_espo_rcp45_24h_10y_return_period_2041_2070_CHAPTER_RISICO.png	10-Year Return Period Exposure – RCP4.5 (2041–2070) Exposure analysis for a 24-hour rainfall event with a 10-year return period under the moderate RCP4.5 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_heavyrain_espo_rcp26_24h_10y_return_period_2041_2070_CHAPTER_RISICO.png	10-Year Return Period Exposure – RCP2.6 (2041–2070) Exposure analysis for a 24-hour rainfall event with a 10-year return period under the low-emissions RCP2.6 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
Fire Analyses based on CLIMAAX toolbox algorithms		
molise_wildfire_vulnerability_Wui_rcp26_2045_2054.png	Wildfire Vulnerability: Wildland-Urban Interface (RCP2.6, 2045–2054) Assesses wildfire vulnerability focusing on the Wildland-Urban Interface (WUI) area under the low-emissions RCP2.6 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/

molise_wildfire_vulnerability_RestCost_rcp26_2045_2054.png	Wildfire Vulnerability: Restoration Costs (RCP2.6, 2045–2054) Evaluates vulnerability based on potential ecosystem restoration costs following a wildfire under RCP2.6.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_wildfire_vulnerability_ProtArea_rcp26_2045_2054.png	Wildfire Vulnerability: Protected Areas (RCP2.6, 2045–2054) Maps wildfire vulnerability specifically within protected nature reserves and ecological zones under RCP2.6.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_wildfire_vulnerability_PopDens_rcp26_2045_2054.png	Wildfire Vulnerability: Population Density (RCP2.6, 2045–2054) Analyses wildfire vulnerability in terms of human exposure and population density distribution under RCP2.6.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_wildfire_vulnerability_Irrep_rcp26_2045_2054.png	Wildfire Vulnerability: Ecological Irreplaceability (RCP2.6, 2045–2054) Measures vulnerability based on irreplaceability of ecological species and habitats at risk under RCP2.6.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/

molise_wildfire_vulnerability_FWI_rcp26_2045_2054.png	Wildfire Vulnerability: Fire Weather Index (RCP2.6, 2045–2054) Vulnerability assessment derived from projected meteorological fire risk factors (FWI) under RCP2.6.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_wildfire_vulnerability_BurnVeg_rcp26_2045_2054.png	Wildfire Vulnerability: Burnable Vegetation (RCP2.6, 2045–2054) Evaluates vegetation susceptibility and fuel availability for wildfire propagation under RCP2.6.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_wildfire_risk_FWI_risk.png	Overall Wildfire Risk (FWI-Based) Integrated wildfire risk assessment based on Fire Weather Index (FWI) mapping.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_wildfire_risk_FWI_rcp26_average_2045_2054.png	Projected Wildfire Risk (RCP2.6, 2045–2054) Average projected wildfire risk based on FWI under the low-emissions RCP2.6 scenario.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_wildfire_risk_FWI_historical_average_1982_2022.png	Historical Wildfire Risk (1982–2022) Baseline assessment showing the 40-year historical average wildfire risk derived from FWI data.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/

molise_wildfire_hazard_FWI_historic_rcp85.png.png	Historical vs. RCP8.5 Wildfire Hazard Comparison Comparative hazard assessment between historical baseline conditions and high-emissions RCP8.5 projections.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_wildfire_hazard_FWI_hazard.png	Wildfire Hazard Map (FWI-Based) General hazard map illustrating overall meteorological conditions favorable to fire occurrence.	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
molise_wildfire_hazard_FWI_furure_rcp85_2050_2051.png	Future wildfire hazard map for the Molise region (Italy) under the RCP 8.5 emissions scenario, showing the projected Fire Weather Index (FWI) for the 2050–2051 period	https://protezionecivile.molise.it/climaax_climol/
HeavyRainfall based Molise Region Civil Protection methodology		
molise_heavyrain_vulnerability_vulnerable_buildings.tif	Heavy Rain Vulnerability: Buildings Spatial layer mapping the structural vulnerability of buildings exposed to heavy rainfall events in Molise.	https://resilience.arpes.it/login
molise_heavyrain_risk_mean_24h_precipitation.tif	Heavy Rain Risk: 24-Hour Mean Precipitation Integrated risk map for heavy rainfall impacts evaluated over a 24-hour duration.	https://resilience.arpes.it/login

molise_heavyrain_risk_mean_3h_precipitation.tif	Heavy Rain Risk: 3-Hour Mean Precipitation Integrated risk map for sub-daily heavy rainfall impacts evaluated over a 3-hour duration.	https://resilience.arpes.it/login
molise_heavyrain_hazard_24h.tif	Heavy Rain Hazard: 24-Hour Event Raster hazard layer representing precipitation intensity and potential hazard for 24-hour storm events.	https://resilience.arpes.it/login
molise_heavyrain_hazard_3h.tif	Heavy Rain Hazard: 3-Hour Event Raster hazard layer representing short-duration extreme precipitation intensity for 3-hour storm events.	https://resilience.arpes.it/login
molise_heavyrain_basic_data_mean_24h_precipitation.tif	Baseline Data: 24-Hour Mean Precipitation Base input dataset representing mean 24-hour precipitation levels used for hazard and risk modeling.	https://resilience.arpes.it/login
molise_heavyrain_basic_data_mean_3h_precipitation.tif	Baseline Data: 3-Hour Mean Precipitation Base input dataset representing sub-daily mean 3-hour precipitation levels used for modeling.	https://resilience.arpes.it/login
Fire based on Molise Region Civil Protection methodology		

molise_wildfire_vulnerability_wildfire.tif	Wildfire Vulnerability Layer Raster dataset mapping overall territorial vulnerability to wildfire impacts across Molise.	https://resilience.arpes.it/login
molise_wildfire_risk_winter_wildfire_risk.tif	Winter Wildfire Risk Map Raster layer evaluating seasonal wildfire risk conditions during winter months.	https://resilience.arpes.it/login
molise_wildfire_risk_summer_wildfire_risk.tif	Summer Wildfire Risk Map Raster layer assessing peak seasonal wildfire risk conditions during summer months.	https://resilience.arpes.it/login
molise_wildfire_hazard_hazard_municipalities.shp	Wildfire Hazard by Municipality Vector dataset providing aggregated wildfire hazard levels at the municipal administrative level (Comuni).	https://resilience.arpes.it/login
molise_wildfire_hazard_hazard_basic_areas.shp	Wildfire Hazard by Basic Territorial Units Vector dataset presenting wildfire hazard assessment segmented by local sub-municipal units (Aree di Base).	https://resilience.arpes.it/login
Multi risk based on Molise Region Civil Protection methodology		

molise_cumu_risk_upper_third.shp	Highest Cumulative Risk Zones (Upper Tertile) Vector dataset identifying territorial areas falling within the highest third (top 33%) of combined cumulative multi-risk.	https://resilience.arpes.it/login
molise_cumu_risk__hr24h_inc.tif	Cumulative Risk: 24-Hour Heavy Rain & Wildfire Raster layer combining multi-hazard risk for 24-hour heavy rainfall events and wildfire hazard (incendi).	https://resilience.arpes.it/login
molise_cumu_risk__hr3h_inc.tif	Cumulative Risk: 3-Hour Heavy Rain & Wildfire Raster layer combining multi-hazard risk for short-duration 3-hour heavy rainfall events and wildfire hazard (incendi).	https://resilience.arpes.it/login

- Main report
- Workflow:
    - Wildfire: FWI
    - Heavy rainfalls

6 References

Cardillo, Di Florio, Valerio, Fazzini : Calcul des matrices d'attitudes avec des forçages lies aux donnees meteo climatiques et applications de l'intelligence artificielle dans l'actualisation des donnees. 37ème Colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie - 2024. Paris (FRA). DOI:10.13140/RG.2.2.23136.49927

Cardillo A., Fazzini M. "Janvier 2017: enneigment exceptionnelles sur l'Apennin central, étude de cas de la région du Molise". Presentato al XXXIE Colloque Annuel De L'Association International De Climatologie – Nice, France – Luglio 2018. (in corso di valutazione) - § Sciencesconf.org:aic2018:181727

Cardillo A., Di Pilla S., Fazzini M.: “Analyse statistique des champs de précipitations pendant 30 ans sur le versant adriatique de la Région Molise(Italie centrale): premiers résultats“. Actes XXIII Colloque de l’Association International de Climatologie. 1-5 settembre 2009, Cluy-Napoca, Romania, pp 109-114.