CLIMAAX
climate ready regions

Deliverable Phase 1 – Climate risk assessment

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

Italy, Molise

Version 2.0 | August 2025

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 1 – 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	Regione Molise
Author(s)	• Antonio Cardillo (Civil protection department of Molise Region)
Deliverable submission date	07/09/2025
Final version delivery date	07/09/2025
Nature of the Deliverable	R – Report
Dissemination Level	PU - Public

Version	Date	Change editors	Changes
1.0	07/09/2025	Molise Regione - Civil Protection Service	Deliverable submitted

Table of contents

Document Information 2
Table of contents 3
List of figures 4
List of tables 4
Abbreviations and acronyms 5
Executive summary 6
1 Introduction 7
1.1 Background 7
1.2 Main objectives of the project 7
1.3 Project team 8
1.4 Outline of the document's structure 8
2 Climate risk assessment – phase 1 9
2.1 Scoping 9
2.1.1 Objectives 9
2.1.2 Context 9
2.1.3 Participation and risk ownership 10
2.2 Risk Exploration 11
2.2.1 Screen risks (selection of main hazards) 11
2.2.2 Workflow selection 12
2.2.3 Choose Scenario 13
2.3 Risk Analysis 13
2.3.1 Workflow #1: Wildfires 13
2.3.2 Workflow #2: Heavy Rains 19
2.4 Preliminary Key Risk Assessment Findings 23
2.4.1 Severity 24
2.4.2 Urgency 24
2.4.3 Capacity 25
2.5 Preliminary Monitoring and Evaluation 26
2.6 Work plan 26
3 Conclusions Phase 1- Climate risk assessment 27
4 Progress evaluation and contribution to future phases 28
5 Supporting documentation 31
6 References 32
6.1 How to manage figures 36

List of figures

Figure 2-1 Seasonal average of the FWI based on RCP2.6 projection 15
Figure 2-2 Historical and projection of days with FWI>30, across different scenarios (best, worst, mean) 16
Figure 2-3 On the left from the top: Seasonal FWI, Burnable vegetation (%), Irreplaceability index, Reconstruction Index. On the right from the top: Fire Danger index, People living in WUI(%), Protected land areas (%), Population density (%) 18
Figures 2-4: Annual maximum precipitation for 3h duration in (from the top) Isernia, Campobasso and Termoli cities 21
Figure 2-5: Probability distribution (probability of occurrence) to the annual maximum precipitation series, considering General Extreme Value (GEV) distribution 22
Figures 2-6: Expected precipitation for 3h event for 2041-2070 period in (fom the top) Campobasso, Isernia, Termoli cities considering the following returning periods: 2, 5, 10, 50, 100 years. 23
Figures 2-7: Extreme precipitation 24h (mm) for 2041-2070 period under RCP 8.5 climate projections 24
Figures 4-1: Workshop participation in Barcelona 31

List of tables

Table 2-1 Data overview workflow #1 13
Table 2-2 Data overview workflow #2 19
Table 4-1 Overview key performance indicators 29
Table 4-2 Overview milestones 30

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
RCM	Regional Climate model

Executive summary

Il presente documento illustra i risultati della Fase 1 della Valutazione del Rischio Climatico realizzata nell'ambito del progetto CLIMAAX per la Regione Molise, in Italia. Il rapporto risponde all'esigenza cruciale di valutare in modo sistematico i rischi climatici, 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, tra cui piogge molto intense ed incendi boschivi.

Durante questa prima fase, le attività principali hanno riguardato l'applicazione della metodologia standardizzata di Valutazione del Rischio Climatico (CRA) sviluppata da CLIMAAX, utilizzando il Toolbox CLIMAAX e dati provenienti da fonti riconosciute, come EURO-CORDEX o ERA5. L'analisi ha permesso di elaborare una valutazione dettagliata dei pericoli, evidenziando vulnerabilità e fattori di esposizione critici associati a ciascun rischio climatico.

Dai workflow applicati sono emersi scenari critici per il futuro della Regione.

Il periodo a rischio degli incendi boschivi si farà sempre più esteso, con prolungati periodi di siccità che andranno ad aumentare la disponibilità a bruciare del combustibile morto. Parallelamente le porzioni di territorio esposte agli incendi aumenteranno di sensibilità, in quanto la zona di interfaccia urbano foresta è destinata ad incrementare per via dell'abbandono colturale dei terreni agricoli. Questi aspetti verranno approfonditi ed analizzati con dati a maggior risoluzione spaziale nella Fase 2 del Progetto CLIMol.

Circa le precipitazioni intense, emergono degli scenari altrettanto preoccupanti. Alla diminuzione dei millimetri di pioggia annuali, corrisponde un aumento delle precipitazioni cumulate, che determina eventi meteorologici sempre più intensi ed estremi. Anche in questo caso si prospetta un aumento della vulnerabilità del territorio poiché tali fenomeni potranno essere di maggiori estensioni invece che localizzati.

Nel complesso, la Fase 1 ha contribuito in modo significativo a migliorare la comprensione dei rischi climatici nel territorio del Molise, ponendo le basi per le fasi successive del progetto. Il lavoro svolto fornisce conoscenze concrete e operative, utili per orientare le strategie di adattamento, la pianificazione territoriale e le attività di preparazione alle emergenze.

Le principali conclusioni emerse da questa fase sottolineano l'urgenza di creare un sistema resiliente per la protezione della popolazione e di infrastrutture dalle alluvioni e rafforzare la gestione degli incendi boschivi attraverso il coinvolgimento della comunità e misure preventive di riduzione del rischio.

1 Introduction

1.1 Background

La Regione Molise si colloca nella parte centro sud dell'Italia, fra Abruzzo, Lazio, Campania e Puglia. La Regione ospita circa 289.224 abitanti, concentrati nella maggior parte nelle grandi città di Isernia, Campobasso e Termoli, in un contesto collinare e montano 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, caratterizzato da zone boschive ad alta biodiversità.

L'approccio CLIMAAX contribuirà a fornire informazioni utili per la valutazione dei rischi climatici a livello regionale, consentirà una comprensione più approfondita di alcuni rischi specifici e aumenterà la capacità finanziaria e di risorse umane necessaria per attuare misure di adattamento ai cambiamenti climatici.

1.2 Main objectives of the project

Come indicato nella Strategia Regionale di Adattamento del Molise, l'obiettivo dell'amministrazione è quello di potenziare la valutazione dei rischi climatici nel suo complesso, facendo leva sui più avanzati strumenti e risultati della ricerca scientifica, e la l'applicazione della metodologia "CLIMAAX handbook" ne dà la possibilità. L'approccio multi-rischio proposto dal progetto CLIMol rappresenta un contributo significativo per affinare l'analisi delle vulnerabilità, aggiornare le mappe dei pericoli e includere scenari futuri nei processi decisionali. Le analisi specifiche messe a disposizione aiuteranno enti locali e comunità ad elaborare strategie di adattamento efficaci e ad attuare interventi mirati. Per rafforzare la capacità di risposta e aumentare la resilienza territoriale, è necessario disporre di strumenti analitici strutturati a livello locale, utili a costruire un sistema di monitoraggio continuo dei rischi climatici. Questo è particolarmente rilevante per affrontare con efficacia le problematiche legate agli incendi boschivi e ai fenomeni idrogeologici.

I rischi considerati in CLIMol sono estremamente diversi l'uno dall'altro, sia per natura che per effetti, tuttavia rappresentano due facce della stessa medaglia. La loro mitigazione è l'obiettivo del presente progetto, e dato che vengono analizzati insieme è necessario stabilire obiettivi specifici e comuni ad entrambi i rischi, tramite la gestione integrata multirischio. Quest'approccio si traduce nell'individuazione di punti strategici di gestione all'interno del territorio che proprio grazie alla loro natura strategica hanno bassi costi di realizzazione (essendo aree molto ridotte rispetto alla superficie totale della Regione) ma un grande effetto sull'ambiente circostante.

In conclusione, i più importanti benefici attesi dal presente progetto sono relativi alle analisi approfondite circa i rischi sulle precipitazioni intense e incendi boschivi anche tramite metodologie standardizzate e con strumenti innovativi e relativo anche alla progettazione di opere efficaci di mitigazione di tali rischi.

1.3 Project team

Il Progetto CLIMol prevede il coinvolgimento di diversi attori che ricoprono ruoli differenti. Il coordinatore del progetto è rappresentato dal Servizio di Protezione Civile di Regione Molise con il supporto di esperti esterni.

Si prevede che venga coinvolto anche il personale rappresentante di comunità locali in fase di definizione degli interventi da applicare.

L'approccio multidisciplinare e il coinvolgimento di personale amministrativo, tecnico e locale fornisce un ottimo punto di partenza per il raggiungimento degli obiettivi prefissati dal progetto CLIMol.

1.4 Outline of the document's structure

La prima parte del presente documento (report Fase 1) fornisce una generale prospettiva dell'area oggetto di studio, degli obiettivi del progetto CLIMol e del gruppo di lavoro. La parte centrale del presente documento riguarda l'analisi del pericolo e del rischio di alluvioni derivanti da piogge forti (heavy rainfalls) e di incendi boschivi con specifiche sulle metodologie utilizzate e relativo flusso di lavoro. La parte finale del presente report fornisce le dovute conclusioni dell'analisi del rischio con riflessioni su possibili potenziali evoluzioni nel processo di mitigazione dei rischi nelle fasi successive del progetto CLIMol. Il documento si conclude con tutta la documentazione utilizzata.

2 Climate risk assessment – phase 1

2.1 Scoping

La fase di scoping definisce obiettivi, contenuti e personale coinvolto, necessari per una corretta valutazione del rischio.

2.1.1 Objectives

L'obiettivo principale della valutazione del rischio climatico (CRA) nel progetto CLIMol è offrire una comprensione chiara e basata su dati concreti di due pericoli climatici rilevanti per la Regione Molise, ossia le forti precipitazioni e gli incendi boschivi tramite l'utilizzo della metodologia e degli strumenti messi a disposizione dal Climate Risk Assessment di CLIMAAX. Questi strumenti potranno essere di fondamentale aiuto nelle decisioni politiche (sia a livello sociale che ambientale, che territoriale) come supporto verso decisioni sensate ed efficaci volte alla tutela del patrimonio naturalistico e della popolazione. In particolare CLIMol si propone di produrre una serie di cartografie, fra le quali carte di rischio, pericolo, vulnerabilità, esposizione, per permettere una successiva focalizzazione degli interventi per la mitigazione degli impatti degli eventi estremi e fornire una chiara e comprensibile situazione dei potenziali effetti sulla popolazione e sul territorio.

È tuttavia necessario considerare i limiti degli obiettivi. Questi possono essere economici (una buona pianificazione ha interventi mirati per ridurre i costi), geografici/topografici (gli interventi in punti strategici in territori come il Molise sono spesso resi ardui dalle elevate pendenze) e temporali (gli interventi previsti devono avere una valenza temporale calibrata sugli scenari attesi). Si ritiene che l'elenco dei limiti non sia completo ed esaustivo, ma rappresenta i limiti attesi in questa fase di progetto. É probabile che nelle successive fasi di CLIMol altre limitazioni possano emergere.

2.1.2 Context

In Italia, la materia di Protezione civile è disciplinata dal D.L. n°1 del 2/1/2018 in cui si stabiliscono materie e doveri dello Stato e delle singole Regioni. Questa legge tuttavia non individua precisi iter di pianificazione sociale e territoriale per la gestione di problematiche relative alla protezione civile derivanti da rischi climatici. Inoltre in Italia i settori di prevenzione, previsione e lotta attiva degli incendi boschivi sono completamente demandati alle Regioni, le quali possono settorializzare questi compiti all'interno del Settore Protezione Civile oppure del Settore Forestazione. In Regione Molise, i temi inerenti gli incendi boschivi sono sotto il Settore di Protezione Civile.

Il progetto CLIMol quindi si svolge in un contesto regionale in cui il Servizio di Protezione Civile ha competenza e doveri sia sugli incendi boschivi che in casi di "heavy rainfall". Tuttavia, mentre per la gestione e la pianificazione antincendio boschivo esiste un documento che recepisce la legge quadro nazionale e le indicazioni nazionali (Piano operativo Antincendio Boschivo Regione Molise), e che pianifica tutte le attività antincendio boschivo, il relativo organico legislativo per le piogge intense è disciplinato solo sulla parte di previsione e monitoraggio degli eventi, ma non sulla parte di gestione operativa delle emergenza (Sistema Regionale Multirischio della Regione Molise, Cardillo, 2018). Questo contesto, posto all'interno di un quadro regionale in cui le risorse sono limitate, ha determinato una completa assenza di pianificazione dei rischi integrati (o pianificazione multirischio). Questo assetto politico ed istituzionale ha portato, come risposta gestionale alle emergenze ambientali, ad un approccio emergenziale, in cui la prevenzione consiste quasi esclusivamente nella formazione degli operatori di vari livelli.

È infatti ancora fortemente presente e radicata nell'immaginario comune, che le emergenze ambientali trovino soluzione in un approccio emergenziale invece che preventivo. Per quanto negli

ultimi anni la parte di formazione verso gli operatori sia diventata sempre più centrale, quest'approccio verte nella direzione giusta, ma non è sufficiente; l'approccio preventivo sembra essere l'unico che possa portare davvero risultati, e grazie a CLIMol il Molise ne ha l'opportunità.

I settori che più sono suscettibili a eventi estremi sono proprio i principali che sostengono l'economia rurale della Regione, ossia l'agricolo e il pastorizio, insieme ovviamente a tutta la popolazione rurale. È da specificare tuttavia, che quasi la totalità della popolazione è soggetta a rischi ambientali, soprattutto alle piogge intense, a causa dell'orografia stessa della Regione.

Il progetto CLIMol si pone proprio come obiettivo quello di collegare le gestioni di vari rischi, di sviluppare un contesto di approccio preventivo alle emergenze, con l'aiuto fondamentale e necessario della popolazione e di vari interessati, come associazioni di categoria, amministrativi locali.

2.1.3 Participation and risk ownership

La prima fase del progetto CLIMol prevede, fra le altre attività, anche la ricerca di portatori di interesse che possano avere un importante ruolo all'interno del progetto. Sono stati ricercati i soggetti che possono trarre benefici dal lavoro svolto, che compartecipano alla gestione del rischio e delle emergenze ambientali o soggetti che possono contribuire alla divulgazione dei processi e risultati di CLIMol:

- Associazioni di categoria
- Enti ed agenzie regionali
- Enti di educazione
- Istituzioni pubbliche
- Media
- NGO
- Ricerca e formazione (Academia)
- Sanità

In Italia, i singoli Comuni giocano un ruolo fondamentale nell'organizzazione gestionale delle emergenze di Protezione Civile, in quanto il Sindaco è Autorità locale di Protezione Civile per gli eventi che interessano il proprio Comune. Operativamente parlando, nelle emergenze invece interviene prioritariamente Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, ed in via secondaria il Volontariato ed eventualmente ad associazioni di categoria con specifiche convenzioni con la Regione o con i Comuni.

La sinergia e le interazioni fra i diversi interessati durante le emergenze ed "in tempo di pace" non segue una specifica regolamentazione. I rapporti fra i vari attori si instaurano durante gli interventi e, caso per caso, vengono regolati e gestiti dal chi ha la responsabilità della gestione dell'emergenza. Queste dinamiche, per quanto siano state sufficientemente efficienti nella gestione degli eventi passati, hanno fatto emergere delle grosse lacune gestionali ed operative che con un network solido di rapporti e convenzioni fra i diversi interessati possono essere colmate (le convenzioni potrebbero riguardare, ad esempio, specifiche intese fra proprietari terrieri o associazioni di categoria con le amministrazioni locali per la messa a disposizione di mezzi meccanici).

Lo schema attuato fino ad ora segue un approccio prevalentemente emergenziale come detto anche nei capitoli precedenti, in cui la sinergia fra le varie istituzioni è risultata fondamentale, tuttavia con il Progetto CLIMol si propone non solo di migliorare la già buona cooperazione fra i vari enti e portatori di interesse, ma soprattutto di iniziare a dirigere l'approccio verso la prevenzione e la mitigazione dei rischi ambientali.

2.2 Risk Exploration

Concretamente, l'inizio della fase 1 del Progetto CLIMol consiste nella ricerca generale di tutti i rischi climatici a cui la Regione può essere soggetta, dei soggetti particolarmente vulnerabili e di eventuali "stakeholders" coinvolti.

2.2.1 Screen risks (selection of main hazards)

Basandosi sull'evidenza, l'analisi del passato e l'esperienza di funzionari di Protezione Civile i rischi climatici a cui il Molise è soggetto sono i seguenti:

1. Incendi boschivi: rispetto a una media di circa 1.200 ettari all'anno di superficie bruciata dal 1992, e quasi 400 incendi all'anno, gli episodi recenti si sono rivelati delle eccezioni molto significative: nel 2007 sono andati persi circa 4.000 ettari, e nel 2021 oltre 2.100 ettari. Questi eventi hanno incluso danni a edifici pubblici e privati, l'evacuazione di numerose persone, gravi danni al bestiame e alle aziende agricole e zootecniche, richiedendo una mobilitazione straordinaria delle strutture statali e regionali. Con la delibera del Consiglio dei Ministri del 26 agosto 2021, è stato dichiarato lo stato di emergenza per sei mesi a causa della diffusione eccezionale degli incendi boschivi. La ripetizione, in periodi sempre più frequenti, di lunghi periodi di siccità e le conseguenti stagioni degli incendi più lunghe espongono l'intero territorio molisano a un rischio crescente di propagazione del fuoco.
2. Alluvioni fluviali e costiere: durante la primavera del 2023, piogge eccezionali hanno colpito il territorio causando allagamenti, frane, chiusure di strade e danni ad aziende agricole. La Regione ha richiesto al Ministero dell'Agricoltura, della Sovranità Alimentare e delle Foreste di dichiarare lo stato di calamità naturale per i comuni colpiti, al fine di attivare specifiche misure di intervento, poiché il totale dei danni è stato di 5.981.987 €, oltre a quelli già causati dalla siccità del 2021 e 2022. Inoltre, l'esondazione del fiume Biferno nel gennaio 2003, oltre ai danni economici, causò la morte di numerosi capi di bestiame.
3. Siccità e ondate di calore: a livello nazionale, è stata registrata una perdita del 51,5% delle risorse idriche in un solo anno rispetto alla media dal 1950. I settori più colpiti sono l'agricoltura e l'idroelettrico. Anche il Molise, durante il biennio 2021-2022, ha affrontato una crisi idrica senza precedenti: le precipitazioni totali sono diminuite drasticamente e il manto nevoso ha registrato un forte deficit rispetto alla media. Ciò ha costretto l'amministrazione regionale a gestire numerose richieste di sostegno, a seguito dei danni subiti.
4. Neve e vento: neve e ghiaccio causano solitamente problemi alla mobilità, interruzione della fornitura di servizi, isolamento temporaneo di frazioni, case sparse, interi comuni, crolli dei tetti di edifici e capannoni, e danni alle colture. Eventi eccezionali si sono verificati nel 2017, caratterizzati da forti nevicate, basse temperature e venti di burrasca che hanno raggiunto anche le aree costiere. Fu dichiarato lo stato di emergenza per 180 giorni, che ha portato all'assegnazione di 2.932.466,15 € a favore di soggetti privati. Ancora più recentemente, nell'aprile 2024, si sono verificati eventi nevosi problematici, soprattutto per il periodo in cui sono avvenuti e per i danni arrecati alle colture già in fase di germogliazione.

Dall'Atlante di Copernicus (Copernicus Atlas) sono stati esplorati scenari relativi all'area mediterranea, dove ricasca il Molise. Le carte mostrate, evidenziano ciò che empiricamente è stato osservato, ossia un aumento della frequenza dei fenomeni estremi, aumento delle ondate di calore, diminuzione della media delle precipitazioni giornaliere. Tuttavia si ritiene che dell'elenco sopra riportato i primi due fenomeni siano i più importanti, dato che hanno un maggiore impatto sula popolazione e sugli ecosistemi molisani.

2.2.2 Workflow selection

In seguito allo screening del capitolo precedente, il team di CLIMol ha selezionato, sulla base di evidenze ed esperienze, 2 pericoli maggiori, ossia incendi boschivi e "heavy rainfalls", a cui il progetto CLIMol ha applicato i relativi workflow derivanti dal CLIMAAX handbook e toolbox.

2.2.2.1 Workflow #1: Wildfires

Il workflow scelto per gli Incendi boschivi è stato quello relativo all'FWI, sia per la valutazione del rischio sia per la valutazione del pericolo. Questo processo permette di visualizzare le tendenze spaziali e temporali dei valori dell'FWI e di comprendere i cambiamenti delle stagioni Antincendio boschivo basandosi sui valori dell'FWI, usando dati provenienti da Copernicus Climate Data Store e come modello di proiezione RCP2.6 (RCP4.5 e RCP8.5 sono stati lasciati come seconde opzioni). Questo, come detto in precedenza, è un rischio maggiore per la Regione Molise, in quanto coinvolge non solo ecosistemi di alto valore ambientale, ma anche e soprattutto la popolazione. Questo dato emerge da constatazioni empiriche dei tecnici locali e dal modello FWI, da cui emerge, fra altre cose, una maggiore esposizione in futuro della popolazione, corrispondente all'aumento delle zone di interfaccia urbano-bosco (WUI).

Altro aspetto fondamentale da tenere in considerazione è relativo alla natura degli incendi; a differenza di altre emergenze ambientali, il fuoco è un fattore governabile, finché l'incendio rimane entro la capacità di estinzione delle forze terrestri ed aeree. Questa sua natura offre un ventaglio di possibilità entro cui l'uomo ha margine di gestione, e proprio per questo l'antincendio boschivo è un settore che merita essere finanziato e strutturato.

2.2.2.2 Workflow #2: Heavy Rains

È stato scelto per CLIMol il rischio associato alle precipitazioni intense perché l'esposizione del territorio è altissimo, in quanto in tutta l'area regionale si sono riscontrati negli ultimi anni tali fenomeni. Inoltre, essendo montuosa gran parte della zona, questi fenomeni sono particolarmente intensi e frequenti, e possono creare forti disagi alla comunità, come allagamenti e frane.

Il workflow utilizzato per le "heavy rainfalls" è quello delle precipitazioni estreme ("Extreme precipitation"). Sono stati estratti dei valori massimi annuali di precipitazioni (per eventi di 3h e 24h), l'adattamento delle distribuzioni statistiche per le proiezioni delle precipitazioni massime e il calcolo dei periodi di ritorno per durate e scenari specifici per l'Europa. Per tale analisi il CLIMAAX Handbook ha utilizzato la proiezione climatica EURO-CORDEX relativa al flusso di precipitazioni con risoluzione spaziale di 12 km, in cui frequenza e magnitudo sono i parametri fondamentali da considerare per avere una valutazione efficace del pericolo associato alle precipitazioni estreme. Per tale analisi è stato usato un dataset temporale dal 1976 al 2005 per le simulazioni storiche, mentre le proiezioni climatiche sono per il periodo 2041-2070. I modelli utilizzati per la creazione degli scenari sono una combinazione fra General Circulation Model (GCM), Regional Climate model, (RCM) e Representative Concentration Pathways (RCP).

Si specifica che i dati considerati e gli scenari futuri non tengono conto delle precipitazioni convettive, data la loro natura di difficile previsione e la loro ridotta estensione.

2.2.3 Choose Scenario

L'obiettivo di questa fase del Progetto è quello di identificare scenari futuri rilevanti e consoni per Regione Molise.

Per quanto riguarda gli incendi boschivi, è stata selezionata la media dell'insieme multi-modello come punto di partenza della proiezione, poiché fornisce il risultato più robusto possibile. In questo modo è inoltre possibile scegliere alla fine fra 3 diverse tipologie di proiezione, la "migliore", "peggiore" o "media".

Per le "heavy rainfalls" il modello utilizzato è quello presente nei workflow di CLIMAAX, ossia una combinazione fra modelli globali (General Circulation Model, Regional Climate model e Representative Concentration Pathways) e il modello europeo EURO-CORDEX. Più precisamente è stato implementato il modello CORDEX-EUR-11 che fornisce un output di maggiore risoluzione spaziale (0.11° corrispondono a circa 12.5 km).

2.3 Risk Analysis

2.3.1 Workflow #1: Wildfires

Table 2-1 Data overview workflow #1

Hazard data	*Vulnerability data*	*Exposure data*	*Risk output*
Copernicus Climate Data Store – Fire Weather Index (FWI), Seasonal FWI, EURO-CORDEX scenarios: historical and RCP scenarios (low: 2.6, intermediate: 4.5, high: 8.5)	. European Forest Fire Information System	. European Forest Fire Information System	Pareto analysis of risk
. European Forest Fire Information System			

Il Molise si colloca in un contesto mediterraneo in cui gli ecosistemi vegetali si sono evoluti ed adattati agli incendi boschivi. Alcune specie sfruttano il fuoco per potersi rinnovare con maggiore facilità (pirofite attive) mentre altre specie hanno sviluppato dei meccanismi di resistenza al passaggio del fuoco (pirofite passive). La problematica degli incendi boschivi emerge quando all'interno del contesto di questi ecosistemi l'insediamento antropico diventa considerevole: infatti le zone più critiche per la gestione di tali incendi sono le aree di interfaccia (wildland urban interface – WUI) sempre più spesso critiche a causa dell'abbandono colturale dei terreni circostanti.

La media annuale, che dal 1992 al 2004 registrava circa 400 incendi che coprivano 1200 ha circa, è stata ampiamente superata da annate estreme, come il 2007 o il 2021, in cui si sono registrati estensioni cumulative rispettivamente di 4000 e 2100 ha.

Da questo quadro della situazione, emerge un contesto critico aggravato dalla topografia ripida e spesso inaccessibile, e si necessita di una buona capacità preventiva invece che emergenziale. Questo approccio si traduce operativamente nella ricerca delle zone a maggiore rischio incendi con maggiore vulnerabilità per poter effettuare interventi mirati alla sua mitigazione ed al suo impatto sull'edificato, senza trascurare anche l'aspetto economico. Il progetto CLIMol quindi può aiutare

l'amministrazione regionale e le comunità locali a ridurre gli effetti sia sull'aspetto antropico che economico.

CLIMol ha utilizzato il workflow relativo all'indice FWI, di origine canadese per generare delle proiezioni secondo il modello RPC2.6. Tale indice ha come sottostanti altri indici e codici, che si riducono a quattro variabili ambientali: umidità relativa dell'aria, vento a 2 mt da terra, temperatura e precipitazioni cumulate.

2.3.1.1 Hazard assessment

L'indice FWI si limita ad analizzare solamente variabili meteorologiche (vedi capitolo precedente), mentre la carta del rischio necessita di altre informazioni, come la presenza di insediamenti urbani, l'uso del suolo, l'incendiabilità. In questo modo la carta evidenzia il rischio di incendi boschivi nel contesto territoriale urbano, da cui emergono quindi le aree a maggiore vulnerabilità. Come detto in precedenza, questo permette di focalizzare gli interventi di prevenzione nell'ottica dell'ottimizzazione economica, temporale e di risorse.

I dati stagionali dell'indice meteorologico degli incendi provengono dal Copernicus Climate Data Store. L'indice stagionale FWI rappresenta il valore medio dell'indice stagionale degli incendi durante la stagione degli incendi in Europa (giugno-settembre). Questo valore è calcolato come la somma dell'indice giornaliero degli incendi durante la stagione degli incendi in Europa diviso per il numero totale di giorni compresi in questo intervallo di tempo. I dati FWI stagionali sono disponibili in intervalli di tempo di 5 anni e nel progetto CLIMol ne sono stati selezionati due, 2046-2050 e 2051-2055. È stato scelto lo scenario di emissione RCP2.6 mentre RCP4.5 e RCP8.5 sono stati lasciati come eventuali altre opzioni. La media dell'insieme multimodello è stata selezionata come fonte della proiezione, poiché fornisce la massima robustezza dei risultati. Infine, per quanto riguarda la gravità delle proiezioni, l'utente può scegliere tra gli scenari "migliore", 'peggiore' o "medio", con quest'ultimo selezionato per questo esempio.

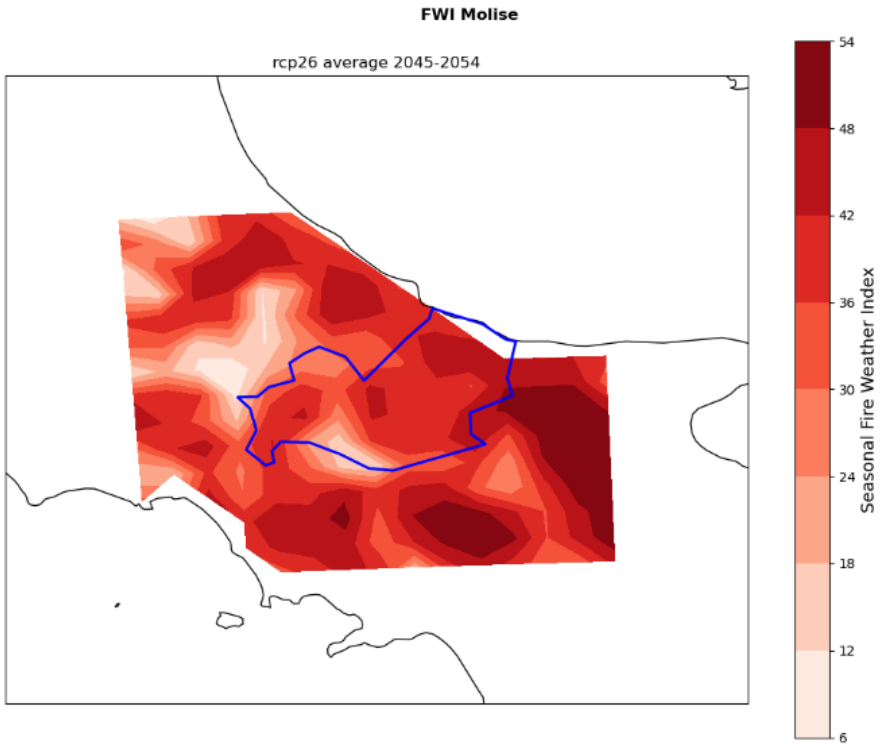
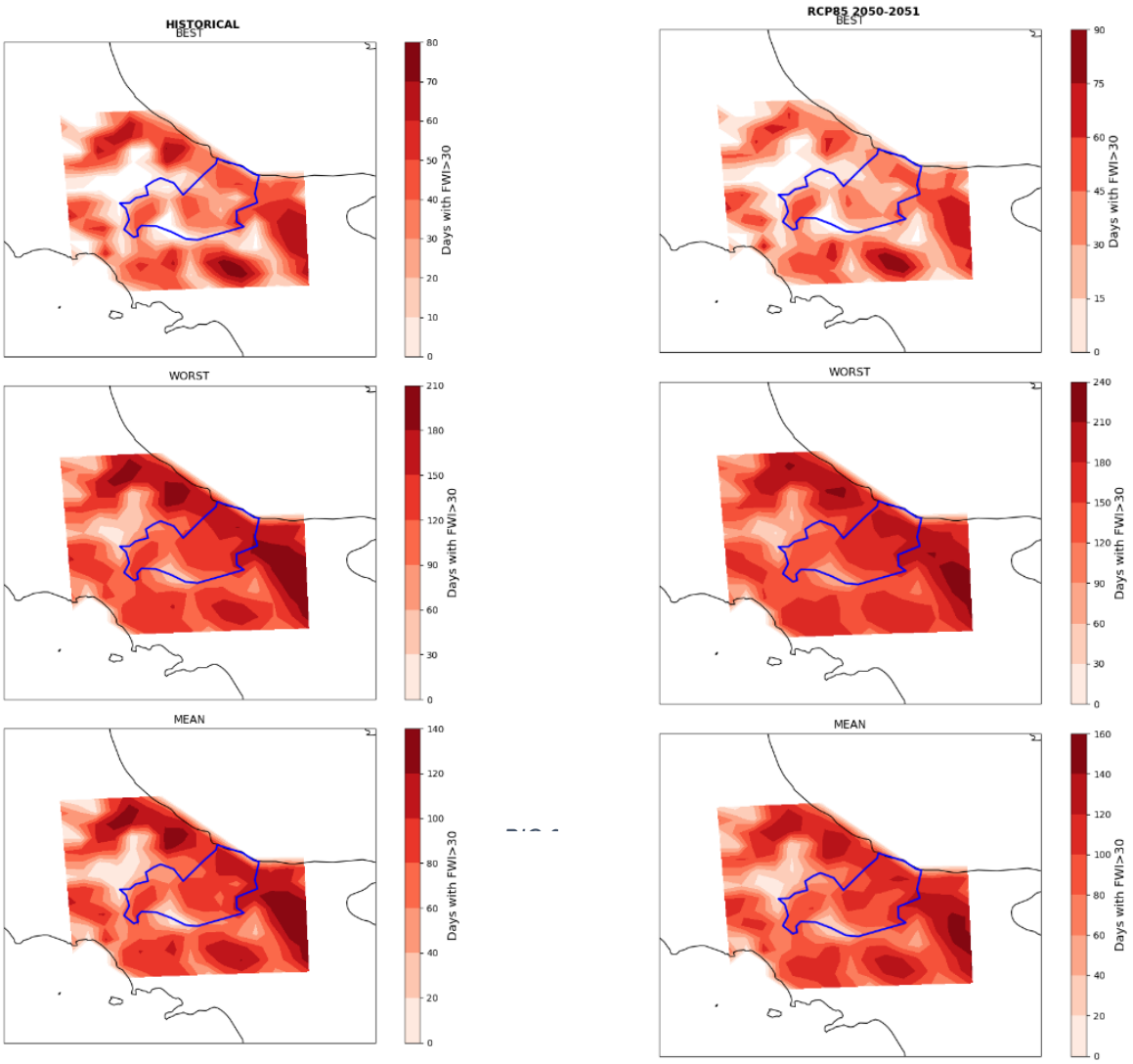


Figure 2-1: Seasonal average of the FWI based on RCP2.6 projection.

Le mappe storiche e future consentono di comprendere come potrebbe evolversi la durata della stagione degli incendi con il cambiamento climatico. Confrontando i risultati di diversi casi (cioè il migliore, il peggiore e quello medio), è possibile comprendere quale sia il possibile intervallo di variazione previsto. Gli scenari "migliore" e "peggiore" sono stati ottenuti rispettivamente sottraendo e aggiungendo la deviazione standard intermodello e interannuale della stagione meteorologia degli incendi boschivi. Gli scenari migliori e peggiori saranno spesso significativamente diversi tra loro e dalla media, principalmente a causa delle differenze nelle previsioni FWI prodotte dai diversi modelli climatici. Questa variabilità nei risultati non deve essere considerata come una mancanza di accuratezza, poiché tutti i valori che rientrano nei casi migliori e peggiori hanno la stessa probabilità di verificarsi e possono essere interpretati come indicatori delle condizioni più positive e negative (cioè estreme) che potrebbero verificarsi nella Regione Molise.



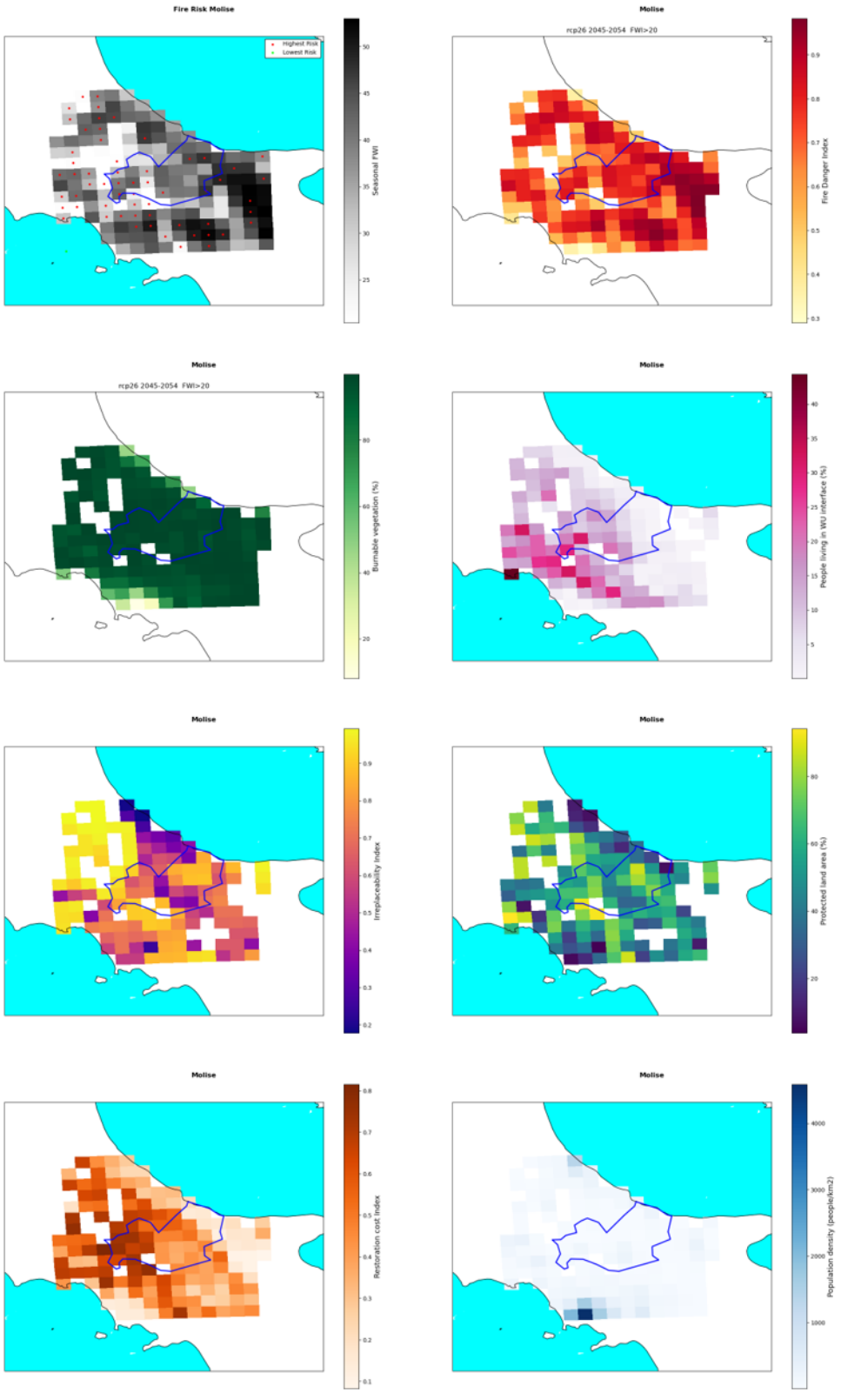
Figures 2.2: Historical and projection of days with FWI>30, across different scenarios (best, worst, mean)

2.3.1.2 Risk assessment

Il rischio di incendi boschivi è definito secondo l'approccio del “European Forest Fire Information System” (EFFIS), che lo caratterizza come la combinazione del pericolo di incendi boschivi e della vulnerabilità (Jacome Felix Oom, 2022). In sintesi, il pericolo di incendi boschivi viene calcolato a partire dalla combinazione dell’aspetto climatico (FWI stagionale) e della quantità di combustibile disponibile. I due indicatori di pericolo vengono normalizzati e mediati per produrre un indice di pericolo di incendio spazializzato. Questo indicatore di pericolo composito sarà combinato con una serie di indicatori di vulnerabilità agli incendi boschivi per produrre un indice di rischio. Gli indicatori di vulnerabilità (provenienti dal dataset di EFFIS) qui utilizzati sono rappresentati da aspetti che potrebbero essere direttamente influenzate dagli incendi boschivi, quali:

- Popolazione: per questo indicatore è stato tenuto conto della percentuale di cittadini che vivono nelle WUI (zone di interfaccia urbano-bosco) e della densità di popolazione nel territorio molisano.
- Ecologia: per tale aspetto gli indicatori scelti sono stati i seguenti.
    - Aree protette: distribuzione nella Regione
    - Indice di insostituibilità: rappresenta l’unicità e il valore di ogni singolo pixel
    - Indice di restauro ecologico: rappresenta il costo di ripristino in caso di perdita da incendio

Per produrre l'indice di rischio dall'indice di pericolo e dagli indicatori di vulnerabilità, viene eseguita un'analisi di Pareto per individuare quali aree della regione presentano il rischio complessivo più elevato in base agli indicatori selezionati. Tale analisi suppone che tutti i fattori considerati nell’analisi contribuiscano con lo stesso peso al rischio incendi boschivi.



Figures 2-3: On the left from the top: Seasonal FWI, Burnable vegetation (%), Irreplaceability index, Reconstruction Index. On the right from the top: Fire Danger index, People living in WUI(%), Protected land areas (%), Population density (%)

2.3.2 Workflow #2: Heavy Rains

I principali dataset utilizzati sono riassunti nella seguente tabella

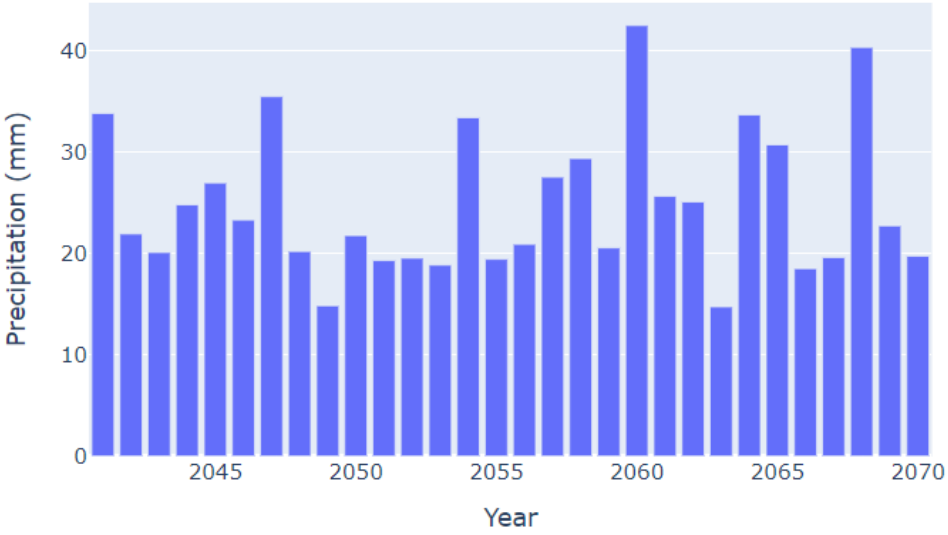
Table 2-2 Data overview workflow #2

Hazard data	*Vulnerability data*	*Exposure data*	*Risk output*
•EURO-CORDEX from the Climate Data Store: two different 30-year frames the historical one (1976-2005) and the projection one (2041-2070) RCP 8.5	–	–	–
•EURO-CORDEX precipitation datasets (temporal series of annual maximum precipitation for 3h and daily resolution)	–	–	–

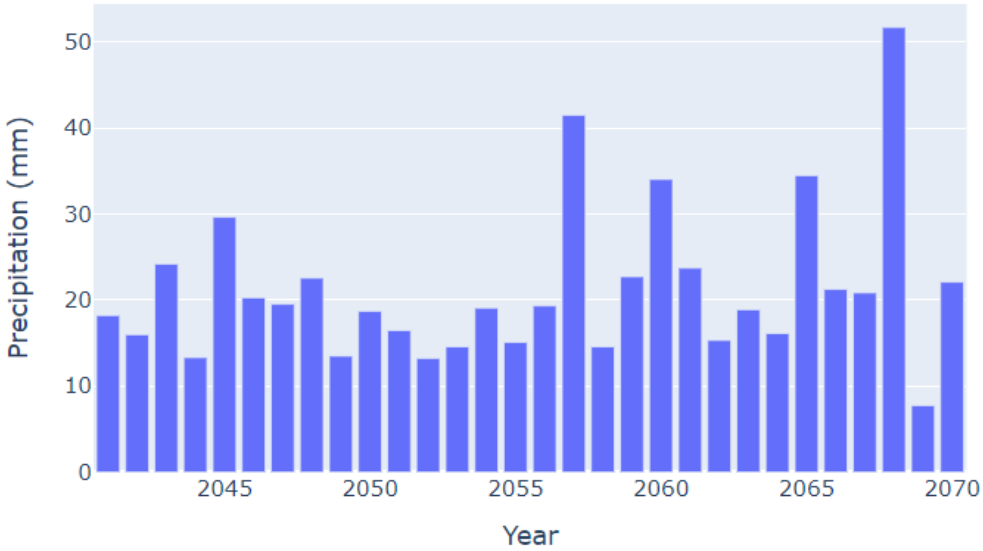
2.3.2.1 Hazard assessment

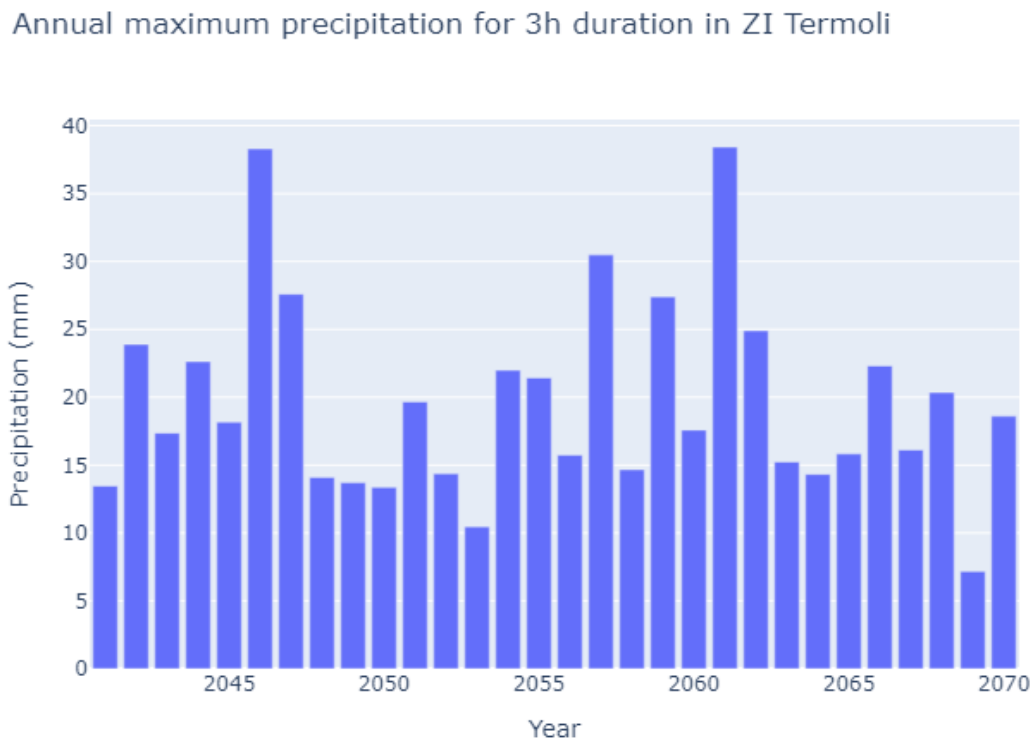
La valutazione del pericolo si è svolta in ambiente Python tramite l'utilizzo di dati Copernicus. Le serie storiche sono state analizzate e usate come input per elaborare le proiezioni future su una fascia di 30 anni. Sono state indagate le precipitazioni massime relative alle città maggiori del Molise, ossia Campobasso, Isernia e Termoli.

Annual maximum precipitation for 3h duration in Isernia



Annual maximum precipitation for 3h duration in Campobasso





Figures 2-4: Annual maximum precipitation for 3h duration in (from the top) Isernia, Campobasso and Termoli cities

Oltre alle proiezioni delle precipitazioni massime della durata di 3h, sono stati prodotti altri risultati, come la distribuzione di probabilità delle serie di precipitazioni massime considerando la distribuzione di “General Extreme Values” (GEV).

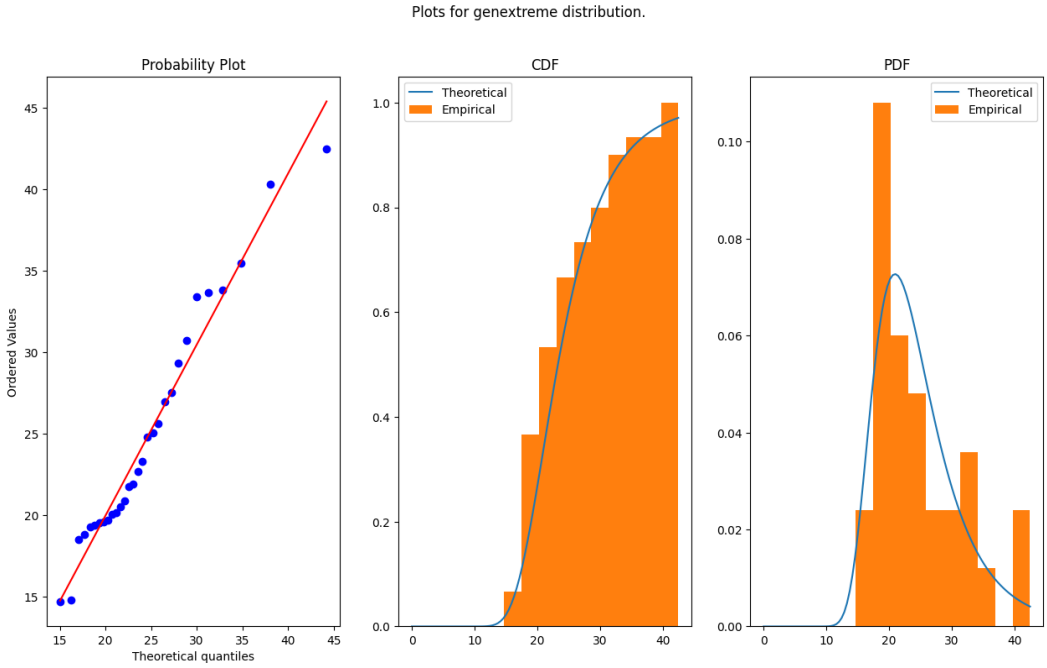
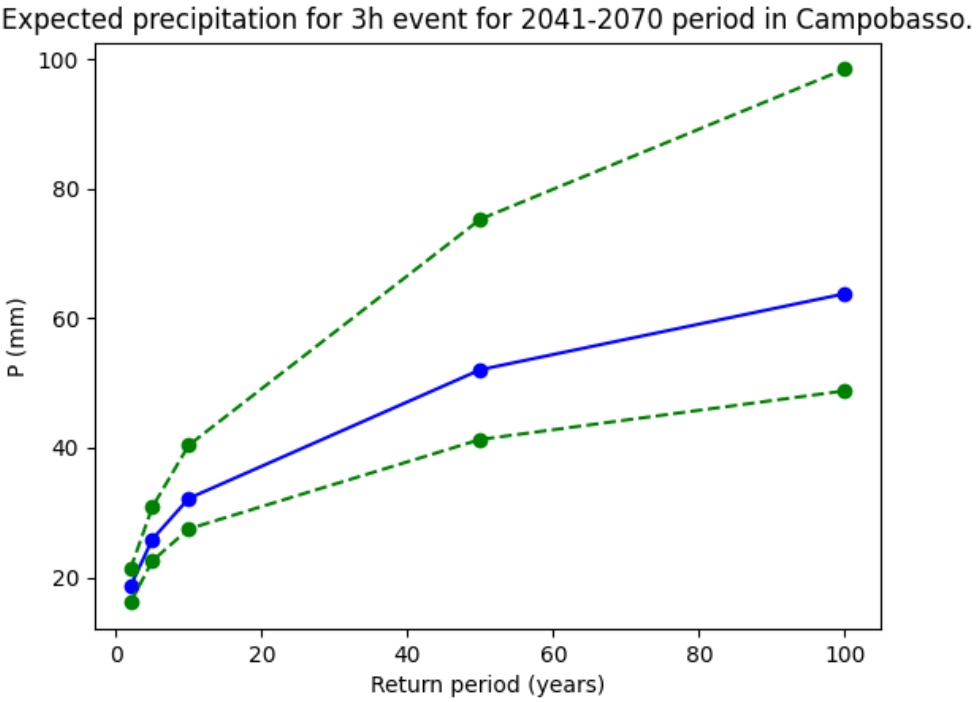
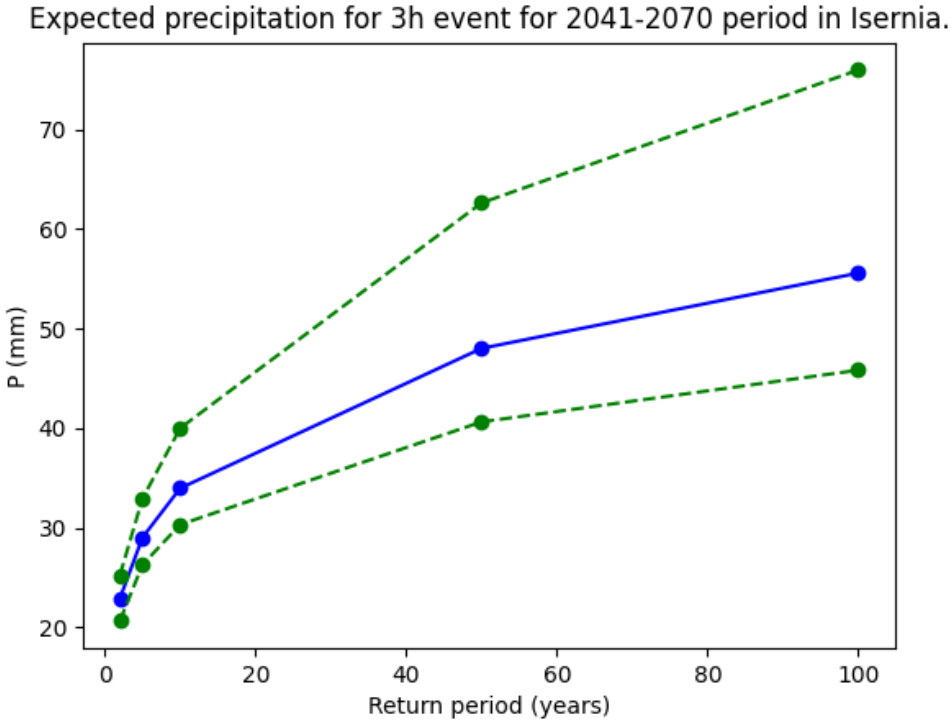
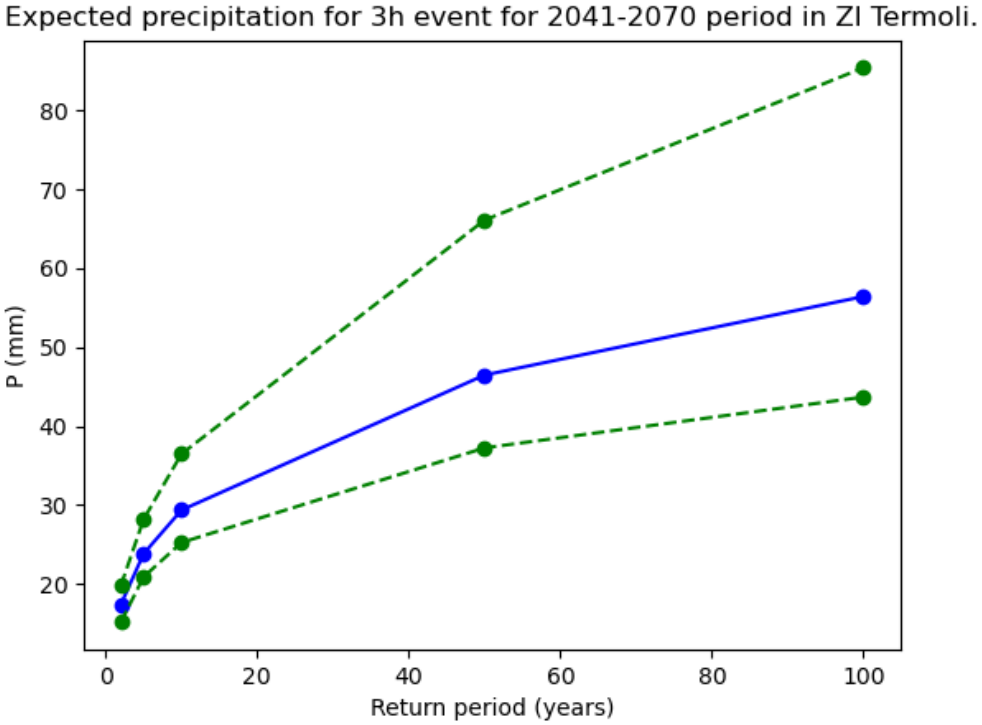


Figure 2-5: Probability distribution (probability of occurrence) to the annual maximum precipitation series, considering General Extreme Value (GEV) distribution

Sono stati prodotti grafici relativi alle precipitazioni di 3h attese nella proiezione 2041-2070 nelle città principali del Molise, Isernia, Campobasso e Termoli, con diversi tempi di ritorno (2, 5, 10, 50 e 100 anni).

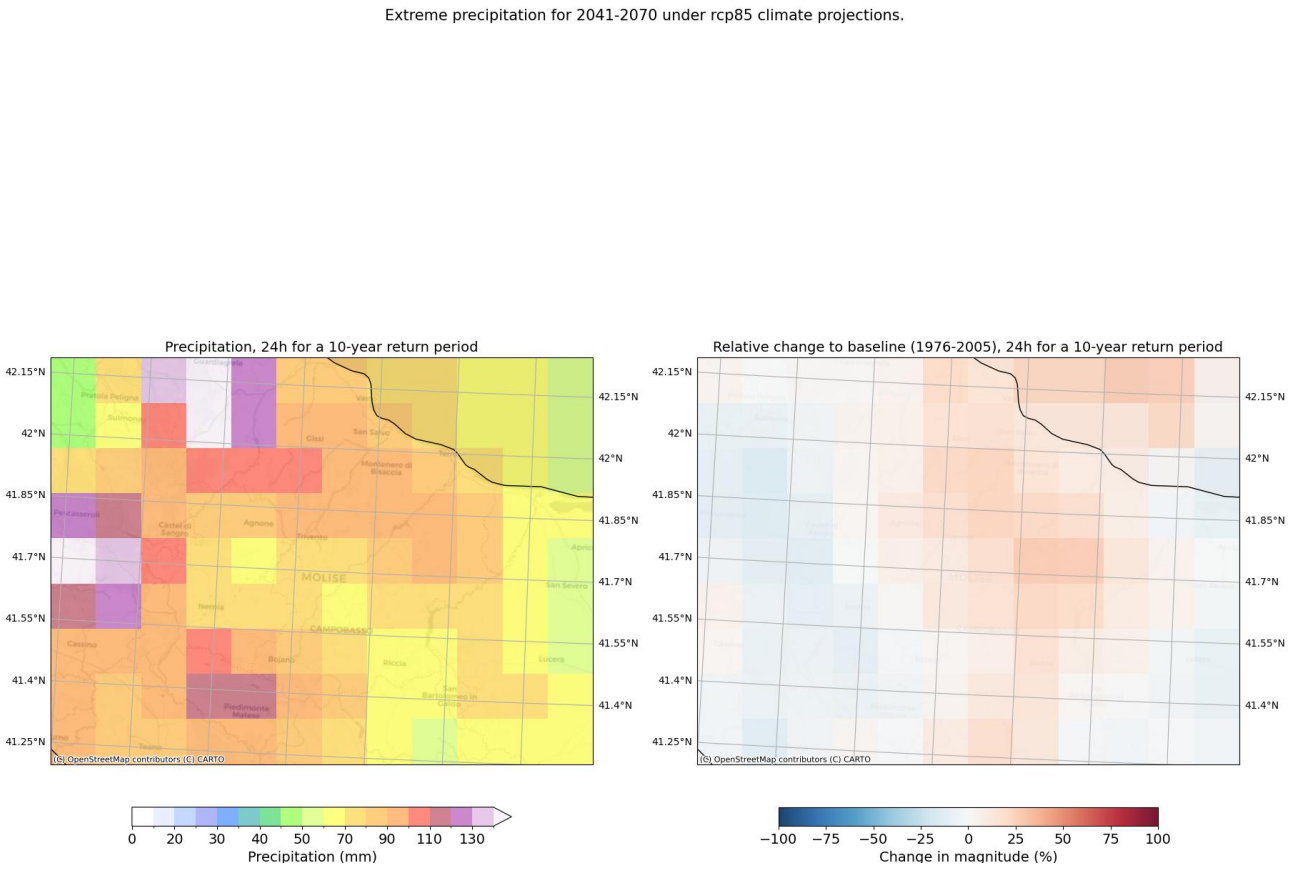






Figures 2-6: Expected precipitation for 3h event for 2041-2070 period in (fom the top) Campobasso, Isernia, Termoli cities considering the following returning periods: 2, 5, 10, 50, 100 years.

In conclusione gli ultimi grafici prodotti mostrano la variazione futura, secondo il modello RCP8.4 delle precipitazioni di 24h con tempi di ritorno di 10 anni.



Figures 2-7: Extreme precipitation 24h (mm) for 2041-2070 period under RCP 8.5 climate projections

2.3.2.2 Risk assessment

Purtroppo non è stato possibile concludere la valutazione del rischio, in quanto è risultato impossibile scaricare il file GeoTiff dei valori soglia delle precipitazioni 3h e 24h (il seguente link rimanda ad una pagina inesistente: https://object-store.os-api.cci1.ecmwf.int/climaax/precipitation_idf_europe/). Tuttavia questo non rappresenta un problema per il progetto CLIMol in quanto il Centro Funzionale del Molise ha i dati necessari per poter concludere questa valutazione. Questo dataset spazialmente si riferisce esclusivamente alla Regione Molise, quindi è un dato locale; proprio per questo è stato programmato di usarli nella fase 2 del presente progetto.

2.4 Preliminary Key Risk Assessment Findings

La valutazione della severità e dell'urgenza relativa ai rischi analizzati nel Progetto CLIMol aiuta ad interpretare i risultati ottenuti ed a pianificare, con livelli prioritari, le azioni necessarie per la loro mitigazione. Infine un'analisi delle capacità, interpretata come sistema di risposta regionale alle emergenze, può fornire informazioni su aspetti di forza e debolezza del Sistema regionale di Protezione Civile. In questa fase è stato fondamentale considerare la capacità di tutti gli enti o personale che partecipano a questo Sistema.

2.4.1 Severity

Per severità si intende la magnitudo degli effetti di un rischio climatico su un determinato target, o la frequenza con cui si manifesta un rischio climatico. Nel caso specifico dei rischi ambientali considerati in CLIMol la severità si traduce nel seguente modo:

- "heavy rainfalls": quantità di precipitazioni cumulate in un preciso arco temporale e/o la frequenza con cui precipitazioni eccezionali si manifestano.
- Incendi boschivi: gravità dell'impatto su certi obiettivi, come ecosistemi, infrastrutture o danni all'essere umano ed estensione della stagione incendi boschivi (quindi aumento della frequenza).

Un ottimo indicatore della severità, *ex post* dell'evento, è sicuramente il costo necessario per il ripristino della situazione *ex ante*.

I risultati della Fase 1 di CLIMol hanno mostrato come effettivamente l'esposizione ai rischi di precipitazioni intense e incendi boschivi della Regione Molise sia molto alta, nel presente e nelle proiezioni future:

- Incendi boschivi: dall'incrocio delle mappe ottenute, emerge nelle proiezioni al 2045-2054 un aumento della severità del rischio relativo dovuto a diversi fattori: aumento dei valori dell'indice FWI, aumento della durata delle stagioni degli incendi, aumento dell'esposizione (incremento delle zone di interfaccia urbano-foresta). Questo può comportare una serie di problematiche relative agli impatti sulla popolazione: aumento dell'intensità di fiamma comporta un ripristino più difficile e duraturo, probabile cambio di vegetazione, perdita di valori ecologico/ambientali del soprassuolo, maggiore impatto su strutture ed infrastrutture con possibilità di interessamento di vite umane.
  É probabile che possano esserci conseguenze irreversibili, come perdita di vite umane, perdita di ecosistemi ad alto valore ambientale, ma è altrettanto probabile che si instaurino effetti a cascata sull'economia regionale, essendo l'agricoltura un settore preponderante.
- Precipitazioni intense: dai grafici prodotti nella fase di valutazione del pericolo, si nota che le precipitazioni intense aumenteranno negli anni. Sia gli eventi di durata 3h che quelli di durata 24h rappresentano un possibile rischio in aumento, data non solo la loro potenziale magnitudo (aumento di mm nello stesso arco temporale), ma è probabile che i tempi di ritorno diminuiscano, esponendo quindi l'intera regione a maggiori eventi estremi.

2.4.2 Urgency

L'urgenza si riferisce alla dimensione temporale del pericolo. Se un pericolo è atteso manifestarsi prima o più rapidamente di quanto aspettato, l'urgenza aumenta.

- Incendi boschivi: la proiezione nel medio-lungo termine mostra un incremento della frequenza degli incendi e dei periodi predisponenti. Questo porta ad un grado di urgenza alto (corrispondente a "rapid onset") in quanto sono attesi periodi più prolungati e più favorevoli allo sviluppo di incendi boschivi nel medio termine (a livello empirico e su scala nazionale è stato notato che, negli ultimi 25 anni, il tempo di ritorno delle stagioni estive particolarmente critiche per gli incendi è di 5 anni, in sensibile aumento rispetto al periodo precedente). Tali eventi inoltre possono essere considerati improvvisi, in quanto si limitano ad un breve periodo (per "breve" si intende su scala annuale o pluriennale) ma che hanno effetti per lungo periodo (il tempo naturale di ricovero di un ecosistema bruciato varia, ma spesso servono almeno 5 o 7 anni per la sua naturale ricostituzione simile ad ante danno). Infine si può

affermare con la stessa certezza dei modelli utilizzati che il fenomeno così descritto persisterà, se le condizioni ambientali rimarranno le stesse.

- Precipitazioni intense: anche per le precipitazioni intense lo scenario atteso nelle proiezioni di medio-lungo termine è di un aumento della frequenza (abbassamento dei tempi di ritorno) e dell'intensità di tali precipitazioni, quindi il grado di urgenza è alto ("rapid onset").

  Anche in questo caso, il rischio associato è considerato rapido, in quanto su scala pluriennale la sua durata è molto breve, e il tempo di recupero del danno può essere duraturo. Così come il rischio di incendi boschivi, le precipitazioni intense avranno la stessa certezza dei modelli di persistere, fino al momento in cui non si avrà un cambiamento nelle variabili ambientali.

  Si consideri anche che le strategie preventive di mitigazione del rischio di precipitazioni intense possono avere costi e tempi di realizzazione più alti rispetto al rischio di incendi boschivi.

2.4.3 Capacity

La capacità resiliente corrisponde all'abilità di rispondere, affrontare ed adattarsi a determinati potenziali pericoli. Questo aspetto consiste, all'atto pratico, nella consistenza del personale interessato, delle risorse economiche, delle strutture difensive e preventive già esistenti.

La Regione Molise non ha normative regionali specifiche per la gestione di eventi climatici estremi, ma negli ultimi anni si stanno producendo dossier e report che porteranno sicuramente a breve ad un'implementazione del tema nel sistema decisionale regionale. Le ultime esperienze sono date dal progetto ADRIACLIM (Interreg IT-HR) e VALORADA (Horizon 2020).

Per quanto riguarda il personale, Regione Molise può fare affidamento su personale del Servizio di Protezione Civile della Regione Molise, dell'organico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, gli operai specializzati nella lotta agli incendi boschivi dell'ARSARP e dei Volontari di Protezione Civile e di altre strutture locali. È necessario considerare anche le varie competenze pratiche e conoscenze teoriche di cui tutto il personale gode: l'ottima preparazione alla gestione degli eventi estremi e rischiosi purtroppo non garantisce l'incolumità del territorio e della popolazione, in quanto sempre più spesso tali eventi eccedono la capacità operativa umana (sia negli incendi boschivi che nelle precipitazioni intense, gli strumenti, attrezzature o tecniche di intervento spesso non sono in grado di fermare l'evento a causa della sua magnitudo).

Circa le risorse economiche, la Regione Molise può contare su fondi limitati, data la sua economia che è basata prevalentemente su attività agricole e in minor parte su attività industriali. Tuttavia, una corretta pianificazione in termini di organizzazione, spazio e tempo può permettere l'esecuzione di interventi preventivi efficaci. Inoltre è possibile che l'amministrazione regionale possa godere in futuro di fondi di origine nazionale o europea.

Il livello di infrastrutture già esistenti si ritiene non sia sufficiente per garantire una corretta prevenzione, per entrambi i rischi affrontati dal progetto CLIMol, mentre a livello socio-culturale le problematiche legate a rischi ambientali estremi stanno diventando sempre più attuali, ma permangono ampie lagune sulla loro gestione, preparazione e prevenzione.

Il Progetto CLIMol offre diverse opportunità di miglioramento anche riguardante la capacità resiliente, fra cui l'accesso a fondi comunitari e la diffusione di buone pratiche e conoscenze verso la gestione e prevenzione di rischi climatici per i portatori di interesse e per tutta la popolazione.

2.5 Preliminary Monitoring and Evaluation

La prima fase del processo CLIMol ha evidenziato una serie di aspetti positivi e negativi che comunque costituiscono una buona base solida per la fase 2 del progetto. Innanzitutto la standardizzazione a livello Comunitario della valutazione del pericolo e del rischio per diversi rischi ambientali pone delle solide basi per una corretta pianificazione territoriale a fini preventivi, tuttavia sono emerse alcune criticità a riguardo:

1 Per quanto dati di origine Europea possano essere un ottimo punto di partenza, si è manifestata la necessità di avere dati di maggiore accuratezza per poter analizzare in modo più approfondito tali problematiche. Questo si è reso necessario perché la grande variabilità topografica, ecosistemica e sociale del Molise non permette un efficace utilizzo di dati a bassa risoluzione.
2 Non è stato possibile concludere la valutazione del rischio associato alle precipitazioni estreme in quanto l'estrazione del GeoTiff dei valori soglia è resa impossibile dall'inesistenza della pagina internet a cui il codice rimanda.
3 È emerso inoltre il bisogno di armonizzare il dato di origine europea con quello locale proveniente dal Centro Funzionale del Molise. Tale processo verrà presumibilmente avviato nella seconda fase del progetto CLIMol.

Per quanto riguarda invece l'aspetto del coinvolgimento di vari portatori di interesse, sono emersi senz'altro aspetti positivi riguardo l'intero progetto CLIMol, poiché porta un'approfondita analisi tecnica e fondi per la realizzazione di opere di prevenzione, ma allo stesso tempo è emersa la criticità dell'assenza di coinvolgimento di altre strutture (associazioni di categoria, ONG, popolazione rurale) e la necessità di pubblicizzare più approfonditamente il presente progetto ai fini di educazione ambientale.

In ultima analisi avere un ampio spettro di portatori di interesse e collaboratori ha aiutato alla realizzazione dei due workflow di CLIMol, tuttavia si è reso necessario il coinvolgimento anche di personale informatico per l'analisi e l'esecuzione dei codici. Il risultato è stato esposto nei capitoli precedenti, ma risulta certamente necessario un miglioramento dei dati di origine per ottenere degli output più esplicativi della realtà e consoni per la realizzazione degli interventi di mitigazione.

2.6 Work plan

La prima fase del Progetto CLIMol ha permesso di disegnare un quadro generale completo relativo ai rischi derivanti dal Cambiamento Climatico. L'implementazione dei workflow ha permesso di identificare su larga scala quali sono le zone più vulnerabili rispetto ai rischi considerati (incendi boschivi e precipitazioni intense) e il coinvolgimento di vari portatori di interesse, in particolar modo gli amministratori locali regionali, ha portato ad una prima bozza di analisi sulla mitigazione di questi rischi.

Le fasi successive del presente progetto si concentreranno sull'approfondimento di questi rischi, a livello spaziale (tramite l'utilizzo di dati ad alta risoluzione) e a livello tecnico (verrà coinvolto personale tecnico esperto per ogni singolo rischio) al fine di redigere una carta del rischio adatta per strutturare gli interventi di mitigazione.

L'obiettivo delle successive fasi è molteplice: da una parte, come detto in precedenza, si necessita l'individuazione di punti strategici di gestione per ridurre gli impatti di eventi estremi sull'ambiente e sulla popolazione, d'altra parte è altrettanto importante creare una rete di portatori di interesse e di personale coinvolto che sia in grado non solo far fronte a tali eventi e prevenirne l'impatto, ma anche di creare una gestione integrata e multifunzionale del territorio.

3 Conclusions Phase 1- Climate risk assessment

In questa sezione vengono analizzati i risultati ottenuti nella fase 1 del progetto CLIMAAX applicato alla Regione Molise. Il Progetto CLIMol si è focalizzato, fra tutti, su due rischi ambientali specifici, le precipitazioni intense e gli incendi boschivi. Per l'analisi di tali rischi sono stati usati i workflow previsti e messi a disposizione da CLIMAAX Toolbox. I risultati emersi sono un ottimo punto di partenza per indagini più approfondite, ma soprattutto per una pragmatica gestione integrata del territorio a fini preventivi con obiettivi e tempistiche chiare.

- Incendi Boschivi: le proiezioni future mostrano, in particolar modo RCP8.5, un incremento dell'indice canadese FWI. Quest'analisi più precisamente mostra una certa probabilità nell'aumento dei giorni nelle stagioni estive con FWI>30, sia nello scenario "medio" che in quello "peggiore". L'analisi di altri aspetti ecologici, come l'incendiabilità della vegetazione e l'insostituibilità, mostrano un generale peggioramento delle condizioni socio-ambientali in quando si aumenta l'esposizione della popolazione agli incendi boschivi e un peggioramento delle condizioni vegetazionali.
- Precipitazioni intense: anche in questo caso le proiezioni future mostrano un aumento delle criticità legate alle piogge intense. Di fatto i modelli mostrano come i tempi di ritorno di eventi eccezionali possano diminuire e, parallelamente, come la magnitudo di ogni singolo evento (3h e 24h) possa aumentare nel periodo 2041-2070.

La prima fase del Progetto CLIMol è stata fondamentale per iniziare ad indagare quali sono le maggiori problematiche legate al cambiamento climatico per la Regione Molise. È stato visto come dataset europei ed un workflow comune a tutta la Comunità Europea, possa fornire un ottimo indirizzo verso il quale orientare future analisi. Si è notato tuttavia che nella fase due sono diversi gli aspetti da perseguire per ottenere un prodotto effettivamente applicabile alla realtà molisana.

- Integrazione dei dati: i dati utilizzati permettono un'oggettiva standardizzazione dei workflow a livello europeo, tuttavia le carte risultanti hanno un carattere puramente generico ed indicativo. Questi risultati sono serviti all'amministrazione molisana ad avere una prospettiva dei rischi circa gli incendi e le precipitazioni intense (di cui le proiezioni future RCP sono senz'altro utili per una corretta pianificazione di interventi), tuttavia non sono assolutamente esaustivi per il fine ultimo del Progetto CLIMol, ossia pianificare degli interventi a carattere territoriale e sociale (a titolo di esempio: migliorare infrastrutture per la mitigazione dei rischi, individuare Punti Strategici di Prevenzione, incrementare e migliorare il corpo legislativo relativo alla Protezione Civile ed alla Gestione delle Emergenze Ambientali, incrementare il personale della Protezione Civile ecc..). Per giungere quindi ad una conclusione concreta, la fase 2 del progetto CLIMol verterà il più possibile ad orientare l'analisi in modo più dettagliato, per fornire alla fase 3 sufficienti elementi per pianificare gli interventi da eseguire.

La qualità migliore del dato riguarda non solo una risoluzione spaziale maggiore degli output dei modelli utilizzati, ma anche degli input, ad esempio relativamente allo storico degli incendi ed alla loro tipicizzazione, alla presenza di insediamenti urbani, all'uso del suolo ecc..

- Integrazione degli stakeholders: i soggetti interessati fino ad ora si sono limitati all'amministrazione regionale ed a tecnici del settore. Si ritiene tuttavia che una buona applicazione delle azioni preventive debba coinvolgere un maggior numero di interessati, per rendere il processo di adattamento più partecipato e soprattutto più utile all'intera comunità del Molise, quali autorità locali, settore privato e associazioni di categoria.
- Integrazione dei fondi: ultimo aspetto purtroppo da considerare come sfida del futuro è la ricerca di risorse necessarie per proseguire sulla strada di CLIMol. In particolare è necessario trovare risorse regionali e statali che possano portare a termine gli interventi previsti dal presente progetto, ma per fare questo è fondamentale che emerga dal Progetto serietà e pragmaticità.

4 Progress evaluation and contribution to future phases

I seguenti KPI mostrano un buon progresso del Progetto CLIMol durante la Fase 1. In particolare sono stati conclusi i due workflow prefissati relativi al rischio incendi boschivi e precipitazioni intense, mentre il numero di portatori di interesse è stato parzialmente raggiunto. I risultati dei workflow mostrano la suscettibilità di Regione Molise ai Cambiamenti Climatici e la necessità di analizzare dati a risoluzione spaziale maggiore per meglio identificare le aree a rischio. D'altra parte il coinvolgimento di diversi portatori di interesse ha permesso lo sviluppo e la diffusione di questi risultati per far si che abbiamo un maggiore impatto sul territorio molisano.

Table 4-1 Overview key performance indicators

Key performance indicators	*Progress*
At least [2] workflows successfully applied on Deliverable 1	Completato
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)	Completato
A minimum of [3] publications and dissemination actions (also using official social media pages (@pcmolise) while creating the hashtag #CLIMol for better spreading information)	Completato Nel mese di settembre 2025 (19.9.2025) presenteremo i primi risultati della fase 1 del progetto CLIMAAX - CLIMOL al workshop internazionale REMTECH di Ferrara con una comunicazione orale.
[2] press conference	In fase di organizzazione la conferenza di presentazione dei primi risultati.
A minimum of [2] articles in regional media mentioning the project	In fase di organizzazione la pubblicazione di presentazione dei primi risultati.

Key performance indicators	*Progress*
A minimum of [2] fully updated hazard maps of the applicant territory included in Deliverable 2	
A minimum of [2] updated exposure maps of the applicant territory included in Deliverable 2	
A minimum of [2] updated risk maps of the applicant territory included in Deliverable 2	
A minimum of [7] different categories of stakeholders involved in the activities of the project	In parte completato

La fase 1 si è concentrata sull'applicazione completa della metodologia CLIMAAX Climate Risk Assessment (CRA), fornendo una base solida e preliminare riguardo i rischi per la Regione Molise. In questa fase sono stati raggiunti i traguardi riassunti nella seguente tabella.

Table 4-2 Overview milestones

Milestones	*Progress*
MS1: CLIMAAX 1st workshop participation in Barcelona	Raggiunto
MS2: Stakeholders mapping	Raggiunto
MS3: Workflow 1 application	Raggiunto
MS4: Workflow 2 application	Raggiunto
MS5: Data collection	
MS6: Risks scenario(s) refinement and improvement	
MS7: Evaluate impacts on RM plans	
MS8: Stakeholders participation meetings	
MS9: Stakeholders mitigation proposals integration	
MS10: CLIMAAX 2nd workshop participation in Bruxelles	…

MS1: First workshop in Barcelona. Il Team di Progetto (Cardillo, Tocci, De Lisi) ha partecipato al workshop di Barcellona, presentando un poster illustrativo delle attività che andranno realizzate all'interno del progetto CLIMAAX-CLIMOL.



Figures 4-1: Workshop participation in Barcelona

MS2: Stakeholder mapping. Sono stati coinvolti numerosi portatori di interesse come amministrazioni locali e regionali, accademia, e professionisti per creare una rete di scambio di idee e informazioni al fine di rendere la Fase 1 pragmatica ed una base solida per le successive fasi.

MS3 ed MS4: Workflow 1 and 2 application. Sono stati implementati e conclusi i workflow riguardanti il rischio incendi boschivi e precipitazioni intense tramite l'utilizzo del Toolbox messo a disposizione da CLIMAAX. Questo processo è risultato fondamentale sia per armonizzare un preciso output a livello europeo, sia come base per sviluppi più precisi e puntuali nella Fase 2.

5 Supporting documentation

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

6 References

- F. Avanzi, S. Gabellani, F. Delogu, F. Silvestro, F. Pignone, G. Bruno, L. Pulvirenti, G. Squicciarino, E. Fiori, L. Rossi, S. Puca, A. Toniazzo, P. Giordano, M. Falzacappa, S. Ratto, H. Stevenin, A. Cardillo, M. Fioletti, O. Cazzuli, E. Cremonese, U. Morra di Cella, and L. Ferraris: IT-SNOW: a snow reanalysis for Italy blending modeling, in situ data, and satellite observations (2010–2021), https://doi.org/10.5194/essd-15-639-2023, 2023.
- Bisci C., Fazzini M., Beltrando G., Cardillo A. and Romeo V.: "The February 2012 exceptional snowfall along the Adriatic side of Central Italy". Meteorologische Zeischrift, 21, 5, 503-508. (IF2012 MZ - 1.084).
- Bisci C., Fazzini M., Cardillo A., Romeo V. "Intense snowfalls of January 2017 along the central-southern Apennines (Italy), in comparisons with the 2015, 2012 and 205 events" presentato alla "34th International Conference on Alpine Meteorology, Reykjavík, Iceland" ICAM 2017.
- Cardillo A. :" Progetto SNOW Life, analisi della densità nevosa nel Massiccio del Matese ai fini dell'analisi della disponibilità idrica", 28 pp, www.protezionecivile.molise.it.
- Cardillo A., Cassardo C., Fazzini M., Scarlatelli S.: "The incorrect information of extreme weather events: the case of the "record snowfall" in the mountains of Abruzzo and Molise of March 2015". 33nd International Conference on Alpine Meteorology, ICAM, 31/8 - 4/9 2015 Innsbruk – Austria, pp 115-116 (P 3.19). https:// www.uibk.ac.at/congress/icam2015/.
- Cardillo A., Di Pilla S.: "Piano Dinamico di Utilizzazione della Risorsa Idrica Conseguente alla Situazione Meteoclimatica in Atto - 28.11.07", www.protezionecivile.molise.it.
- Cardillo A., Di Pilla S., Fazzini M: "Exceptional snowfalls in the region Molise (Central Italy) in a contest of extremes of climate". 32nd International Conference on Alpine Meteorology, ICAM, 3-7 giugno 2013, Kranjska Gora, Slovenia. ISBN 978-961-6024-60-0, pp 98.
- 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.
- Cardillo A., Di Pilla S.: "Sistema di Allertamento per il Rischio Meteo, Idraulico ed Idrogeologico della Regione Molise, approvato con Deliberazione di Giunta Regionale n. 550 del 29.11.2016.
- Cardillo A., Di Talia V., Antonioni A. " Citizens as additional mobile sensors in case of natural disasters: a new emergency decision support systems" https://dx.doi.org/10.13140/rg.2.2.19433.98405, 2022.

- 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 Internationale De Climatologie – Nice, France – Luglio 2018. (in corso di valutazione) - § Sciencesconf.org:aic2018:181727.
- Cardillo A., Fazzini M., Scarlatelli S.: “L'analyse de la distribution spatiale du reseau de surveillance de la defense civil de la Region de Molise”. XXVIII Colloque de l’Association International de Climatologie, 1-4 luglio 2015 Liegi, Belgique. ISBN 978-2-907696-21-0, pp. 111-116.
- Cardillo A., Fazzini M., Beltrando G., Romeo V.: « L’enneigement exceptionnel de février 2012 dans la Région de Molise (Italie centrale). Actes XXV Colloque de l’Association International de Climatologie. 5-8 settembre 2012, Grenoble, Francia. ISBN 978-2-907696-18-0, pp171-176.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1988) Applied Hydrology. International Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Christensen, O.B., Kjellström, E. Partitioning uncertainty components of mean climate and climate change in a large ensemble of European regional climate model projections. Clim Dyn 54, 4293–4308 (2020). https://doi.org/10.1007/s00382-020-05229-y.
- Déqué, M., D. P. Rowell, D. Lüthi, F. Giorgi, J. H. Christensen, B. Rockel, D. Jacob, E. Kjellström, M. de Castro, B. van den Hurk, 2007: An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections. Climatic Change 81:53–70, https://doi.org/10.1007/s10584-006-9228-x.
- El Garroussi, S., Di Giuseppe, F., Barnard, C., & Wetterhall, F. (2024). Europe faces up to tenfold increase in extreme fires in a warming climate. Npj Climate and Atmospheric Science, 7(1). https://doi.org/10.1038/s41612-024-00575-8.
- Fazzini M., Bisci C., Cardillo A., Perucci R., Aringoli D., Farabollini P., Materazzi M., Pambianchi G. “Earthquake-triggered avalanches along Central Apennines (Italy) in January 18th, 2017” presentato alla “34th International Conference on Alpine Meteorology, Reykjavík, Iceland” ICAM 2017.
- Fazzini M., Cardillo A., Di Fiore T., Lucentini L. Scozzafava M. “Extreme temperatures in the cold air pool of the central Apennines (Italy): comparison with those of the Veneto Pre-Alps during winter 2016-17” presentato alla “34th International Conference on Alpine Meteorology, Reykjavík, Iceland” ICAM 2017.
- Fazzini M., Cardillo A., Di Pilla S., Beltrando G.: "Tendences des precipitations depuis le milieu du XXeme siècle sur le versant adriatique de la Region Molise (Italie Centrale)". Actes XXVI

Colloque de l'Association International de Climatologie 3-7 settembre 2013, Cotonou, Benin. ISBN 10-999919-58-64-9; ISSN 18405452, pp 230-235.

- Fisher, R. A., & Tippett, L. H. (1928). Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 24(2), 180–190. https://doi.org/10.1017/s0305004100015681.
- Fosser, G., Gaetani, M., Kendon, E. J., Adinolfi, M., Ban, N., Belušić, D., Caillaud, C., Careto, J. A., Coppola, E., Demory, M.-E., de Vries, H., Dobler, A., Feldmann, H., Goergen, K., Lenderink, G., Pichelli, E., Schär, C., Soares, P. M., Somot, S., & Tölle, M. H. (2024). Convection-permitting climate models offer more certain extreme rainfall projections. Npj Climate and Atmospheric Science, 7(1). https://doi.org/10.1038/s41612-024-00600-w.
- Jacome Felix Oom, D., De Rigo, D., Pfeiffer, H., Branco, A., Ferrari, D., Grecchi, R., Artes Vivancos, T., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Libertà, G. and San-Miguel-Ayanz, J. (2022). Pan-European wildfire risk assessment, EUR 31160 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-55138-6, doi:10.2760/437309, JRC130136.
- Jenkinson, A. F. (1955). The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 81(348), 158–171. https://doi.org/10.1002/qj.49708134804.
- Jones, M. W., Abatzoglou, J. T., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., et al. (2022). Global and regional trends and drivers of fire under climate change. Reviews of Geophysics, 60, e2020RG000726. https://doi.org/10.1029/2020RG000726.
-
- Knutti, R., G. Abramowitz, M. Collins, V. Eyring, P.J. Gleckler, B. Hewitson, and L. Mearns, 2010: Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. In: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland. https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-assessing-multi-model-projections-2010-01.pdf.
- Lund, M. T., Nordling, K., Gjelsvik, A. B., & Samset, B. H. (2023). The influence of variability on fire weather conditions in high latitude regions under present and future global warming. Environmental Research Communications, 5(6), 065016. https://doi.org/10.1088/2515-7620/acdfad .
- Manuele P., Cardillo A. “Gestion des risques météorologiques et hydrogéologiques avec un système de suivi en temps réel et en continu: l'étude de cas du glissement de terrain de Civitacampomarano”. Presentato al XXXIE Colloque Annuel De L'Association Internationale

De Climatologie – Nice, France – Luglio 2018. (in corso di valutazione) - § Sciencesconf.org:aic2018:182243.

- Maraun, D., Widmann, M., Gutiérrez, J. M., Kotlarski, S., Chandler, R. E., Hertig, E., Wibig, J., Huth, R. and Wilcke, R. A.I. (2015), VALUE: A framework to validate downscaling approaches for climate change studies. Earth's Future, 3: 1–14., https://doi.org/10.1002/2014EF000259
- Martel, J.-L., Brissette, F. P., Lucas-Picher, P., Troin, M., & Arsenault, R. (2021). Climate change and rainfall intensity–duration–frequency curves: Overview of Science and guidelines for adaptation. Journal of Hydrologic Engineering, 26(10). https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0002122he.1943-5584.0002122).
- Rasmus Benestad, Erasmo Buonomo, José Manuel Gutiérrez, Andreas Haensler, Barbara Hennemuth, Tamás Illy, Daniela Jacob, Elke Keup-Thiel, Eleni Katragkou, Sven Kotlarski, Grigory Nikulin, Juliane Otto, Diana Rechid, Thomas Remke, Kevin Sieck, Stefan Sobolowski, Péter Szabó, Gabriella Szépszó, Claas Teichmann, Robert Vautard, Torsten Weber, Gabriella Zsebeházi (2021). Guidance for EURO-CORDEX climate projections data use. EURO-CORDEX community. https://euro-cordex.net/imperia/md/content/csc/cordex/guidance_for_euro-cordex_climate_projections_data_use__2021-02_1_.pdf
- Sven Kotlarski, Péter Szabó, Sixto Herrera, Olle Räty, Klaus Keuler, Pedro M. Soares, Rita M. Cardoso, Thomas Bosshard, Christian Pagé, Fredrik Boberg, José Manuel Gutiérrez, Francesco A. Isotta, Adam Jaczewski, Frank Kreienkamp, Mark A. Liniger, Cristian Lussana, Krystyna Pianko, Kluczyńska, 2017: Observational uncertainty and regional climate model evaluation: a pan European perspective, Int. J. Clim., doi: https://doi.org/10.1002/joc.5249.