

Corso di laurea in Informatica per il Management

**Sperimentazione del sistema AIRAS basato su
IA generativa per l'allertamento
meteo-idrologico**

Relatore
Prof. Angelo Di Iorio

Presentata da
Matteo Cardinale

Sessione III Anno Accademico 2024/2025

Indice

1. Il contesto climatico e le fragilità del sistema italiano - Pag 3
 - 1.1. Impatti sociali
 - 1.2. Narrazione mediatica
 - 1.3. Limiti del sistema di allertamento
 - 1.4. Obiettivi della tesi
 - 1.5. Metodologia
 - 1.6. Struttura della tesi
 2. Il Sistema di Allertamento Meteo-Idrogeologico in Italia: Normativa, Processi e Criticità - Pag 7
 - 2.1. Quadro normativo e livelli di allerta
 - 2.2. Fasi operative e flussi decisionali
 - 2.3. Strumenti e documenti di allertamento
 - 2.4. Declinazione regionale e criticità del sistema
 - 2.5. Il ruolo dei report post-evento nel sistema di allertamento meteo-idro
 - 2.6. Le prime sperimentazioni RAG in ambito meteo-idro
 3. Sistema AIRAS: IA generativa per l'allertamento meteo-idrologico - Pag 16
 - 3.1. Dall'idea alla pratica: nascita del progetto AIRAS
 - 3.2. Obiettivi e funzionalità di AIRAS
 4. Architettura tecnica di AIRAS - Pag 18
 - 4.1. Panoramica dell'architettura basata su Cosmo42
 - 4.1.1. Architettura RAG-based
 - 4.1.2. Architettura MLLM-based
 - 4.2. Vantaggi e limiti dell'approccio attuale
 - 4.3. Sviluppi futuri ed evoluzioni previste
 5. Sperimentazione di AIRAS su scenari reali - Pag 26
 - 5.1. Scopo, impostazione e perimetro
 - 5.2. L'interfaccia dell'applicativo
 - 5.3. Scenario di validazione: Bardonecchia
 - 5.4. Risultati osservati
 - 5.5. Limiti emersi, note d'uso ed evidenze
 6. Conclusioni - Pag 46
 7. Bibliografia - Pag 47
 8. Appendice 1: Ruoli e responsabilità degli attori istituzionali - Pag 49
-

1. Il contesto climatico e le fragilità del sistema italiano

La crisi climatica e i suoi effetti sul territorio italiano sono ormai una realtà allarmante e sempre più documentata. Negli ultimi anni, il Paese ha assistito a un incremento significativo sia nella frequenza sia nell'intensità degli eventi meteorologici estremi, in particolare alluvioni, frane, ondate di calore e nubifragi, con impatti devastanti su comunità e infrastrutture. Secondo i rapporti dell'Osservatorio CittàClima di Legambiente, il numero di eventi meteo-idrogeologici che causano danni è passato da poche decine a diverse centinaia l'anno: ad esempio, nel 2015 si contarono circa 60 episodi di rilievo, mentre nel triennio 2022–2024 se ne sono registrati oltre 300 ogni anno (Legambiente, 2024). Questo trend conferma come non si tratti più di episodi eccezionali e isolati, ma di una condizione di emergenza climatica costante, nel mondo così come in Italia. L'Italia risulta inoltre tra i Paesi europei più esposti a questi rischi, complici la conformazione geografica e le diffuse fragilità idrogeologiche del territorio nazionale. Basti pensare che 7.145 comuni italiani (l'88% del totale) presentano almeno un'area classificata a elevato rischio idrogeologico, coinvolgendo oltre 7 milioni di cittadini (Legambiente, 2017).

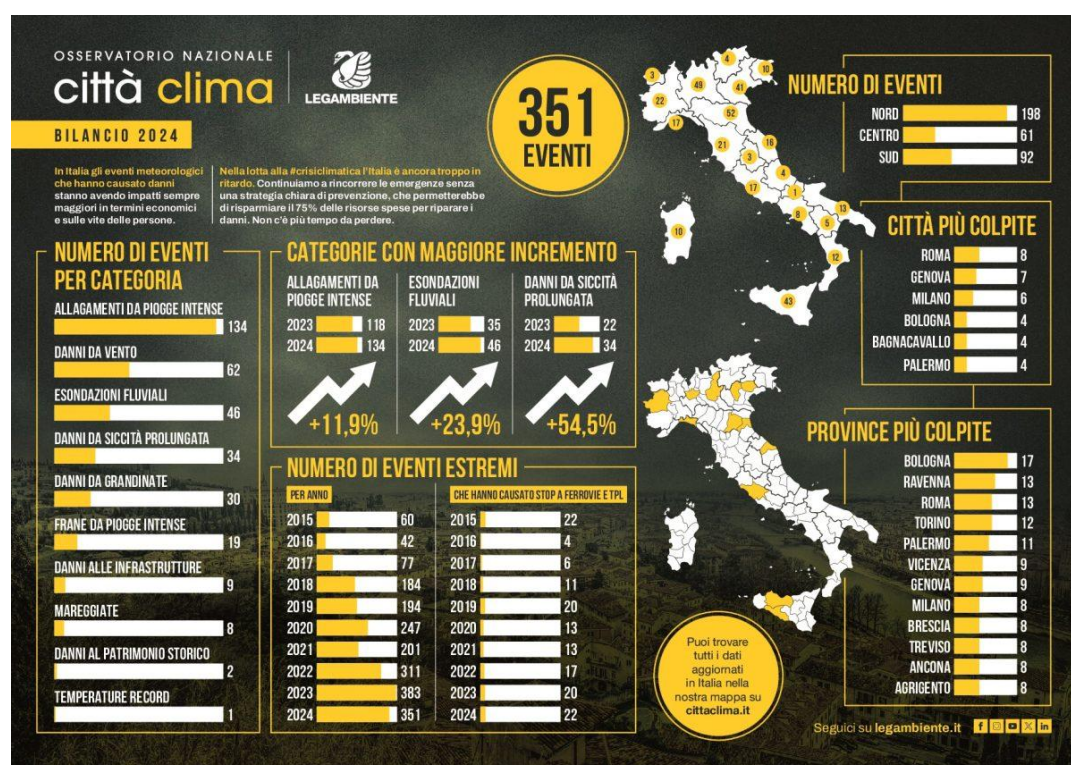


Figura 1.1: Infografica città clima 2024

1.1 Impatti sociali

Gli impatti sociali diretti di tali eventi sono già oggi evidenti. Alluvioni e frane causano innanzitutto perdite di vite umane ed evacuazioni su larga scala. Solo tra il 2010 e il 2016 le alluvioni hanno provocato almeno 145 morti e l'evacuazione di oltre 40.000 persone (Legambiente, 2017). Eventi più recenti hanno purtroppo confermato questa tendenza: l'alluvione che ha colpito l'Emilia-Romagna nel maggio 2023, ad esempio, ha causato 17 vittime e costretto oltre 36.000 persone a lasciare le proprie abitazioni. Oltre alle vite perse, le emergenze producono distruzione di infrastrutture, danni a edifici pubblici in cui si erogano servizi essenziali, come ospedali, scuole, reti elettriche e di telecomunicazione, con costi economici elevatissimi. Secondo le stime, dal 2013 al 2016 i danni da frane e alluvioni hanno superato i 7,6 miliardi di euro, a fronte di spese di prevenzione decisamente inferiori. Le conseguenze degli eventi idrometeorologici si protraggono ben oltre la fase acuta, incidendo sulla vita delle comunità e sulla ripresa delle attività economiche.



Figura 1.2: Completa inondazione dell'abitato di Solarolo (Ravenna) il 17 maggio 2023 (autore ignoto, via pagina [FB Emilia Romagna Meteo](#)).



Figura 1.3: Faenza allagata, le immagini dal drone. 19/09/2024 [RaiNews.it Stefano De Nicolo](#)

1.2 Narrazione mediatica

Oltre ai dati oggettivi, è rilevante anche analizzare come questi eventi vengono percepiti e narrati. La comunicazione mediatica italiana ha spesso adottato un linguaggio sensazionalistico, ad esempio l'uso diffuso dell'espressione "bomba d'acqua", che non appartiene alla terminologia meteorologica scientifica e contribuisce a una rappresentazione fatalista e poco costruttiva. Tale narrazione, pur attirando attenzione, rischia di ridurre la consapevolezza del ruolo delle scelte politiche nella gestione del territorio e, in generale, del comportamento dell'individuo, e di ridurre l'attenzione alle misure concrete di prevenzione e protezione, che se applicate su larga scala, potrebbero ridurre notevolmente gli impatti. Legambiente (2023a) ha più volte sottolineato come la crisi climatica non debba diventare un alibi per giustificare carenze nella pianificazione e nella manutenzione del territorio. Negli ultimi anni, fortunatamente, sono emersi segnali di miglioramento, con una crescente attenzione al linguaggio scientifico e a una comunicazione più responsabile (Agenzia ItaliaMeteo, 2024).

1.3 Limiti del sistema di allertamento

In tale contesto, diventa cruciale rafforzare sia la capacità di risposta e coordinamento del sistema di Protezione Civile, ma anche il disegno di misure di prevenzione efficaci. Il Servizio Nazionale di Protezione Civile è strutturato e capillare, ma mostra alcuni limiti, tra i quali, quelli nel processo di diffusione e gestione delle allerte, che rappresenta il primo anello della catena per una risposta adeguata agli eventi idro-meteorologici severi. Le allerte vengono spesso trasmesse tramite canali tradizionali che non garantiscono rapidità e uniformità. Anche la frammentazione comunicativa tra enti e la diversa percezione del rischio tra i decisori locali possono generare inefficienze. Così come è differenziata la percezione di chi riceve la comunicazione di una allerta e dovrebbe agire di conseguenza. È opinione condivisa che il sistema necessiti di innovazioni per passare da un approccio reattivo a uno più proattivo, anche sfruttando le potenzialità delle nuove tecnologie.

1.4 Obiettivi della tesi

In questo contesto si inserisce il presente lavoro di tesi, che esplora l'impiego dell'Intelligenza Artificiale Generativa per migliorare il sistema di allertamento e la gestione delle emergenze. Gli obiettivi principali sono tre: analizzare in dettaglio l'attuale sistema (AS-IS), analizzare il prototipo AI denominato AIRAS come supporto agli operatori, e valutarne l'applicazione in un caso di studio territoriale.

AIRAS si ispira a precedenti sperimentazioni come quella di Polverini (2023), che ha utilizzato modelli GPT per sintetizzare informazioni post-evento, ma intende compiere un passo ulteriore: realizzare un'architettura innovativa in grado di aggregare dati eterogenei (bollettini, piani, rapporti, documentazione scritta) e fornire supporto decisionale in tempo reale nell'emissione delle allerte e nella gestione dell'emergenza.

1.5 Metodologia

Il lavoro adotta un approccio in tre fasi.

(1) Analisi AS-IS: raccolta e valutazione critica del sistema di allertamento attuale, con revisione di norme, linee guida e report istituzionali, per mappare attori, flussi e colli di bottiglia.

(2) Progettazione prototipale: l'architettura e le componenti della piattaforma AIRAS sono state sviluppate da Ex Machina, azienda informatica, utilizzando il framework AI Cosmo42; l'autore non interviene sul codice né sul training, ma contribuisce alla formalizzazione dei requisiti informativi e alla definizione dei criteri di osservazione in uso reale/simulato.

(3) Validazione esplorativa: tramite la demo disponibile, l'autore conduce una simulazione guidata su materiale documentale della Regione Piemonte e del Comune di Bardonecchia (rapporti post-evento, ordinanze, piani e dispacci).

Le interazioni vengono registrate (prompt, risposte e citazioni alle pagine), quindi verificate a campione sui documenti sorgente; le evidenze sono riportate con screenshot e note strutturate. Considerata la natura prototipale del sistema e l'assenza di metriche affidabili, la valutazione è qualitativa e si concentra su: tracciabilità delle risposte alle fonti, pertinenza rispetto al contesto comunale, utilità percepita per il supporto decisionale.

1.6 Struttura della tesi

La tesi si apre delineando il contesto conoscitivo e gli obiettivi della ricerca, per poi entrare nel vivo con un'analisi del sistema di allertamento italiano: il secondo capitolo ricostruisce la cornice normativa e organizzativa, chiarendo livelli di criticità, fasi operative, ruoli e flussi informativi. Il terzo capitolo introduce quindi AIRAS, spiegandone le motivazioni, gli attori coinvolti e il posizionamento rispetto ai limiti dell'AS-IS.

Il quarto capitolo è dedicato all'architettura tecnica: a partire dal framework Cosmo42 (<https://exmachina.ch/it/cosmo-42/>), distingue l'approccio RAG vettoriale (Retrieval Augmented Generation) da quello oggi adottato basato su MLLM (Multimodal Large Language Model), evidenziandone implicazioni progettuali, benefici e vincoli, nonché le evoluzioni previste. Il quinto capitolo presenta la sperimentazione: l'istanza applicativa più recente viene illustrata attraverso la navigazione dell'interfaccia (Zola Predosa) e messa alla prova con sessioni Q&A su materiali documentali del caso Bardonecchia, riportando evidenze e considerazioni critiche. Chiude il lavoro il sesto capitolo, che raccoglie le principali lezioni apprese e le traduce in indicazioni operative e prospettive di sviluppo.

In sintesi, la tesi si inserisce nel solco delle esperienze esistenti ma propone un contributo originale al rinnovamento dell'allertamento in Italia, mostrando come strumenti di IA generativa possano sostenere la resilienza delle comunità e migliorare la gestione delle emergenze in un contesto di crisi climatica.

2. Il Sistema di Allertamento Meteo-Idrogeologico in Italia: Normativa, Processi e Criticità

2.1 Quadro normativo e livelli di allerta

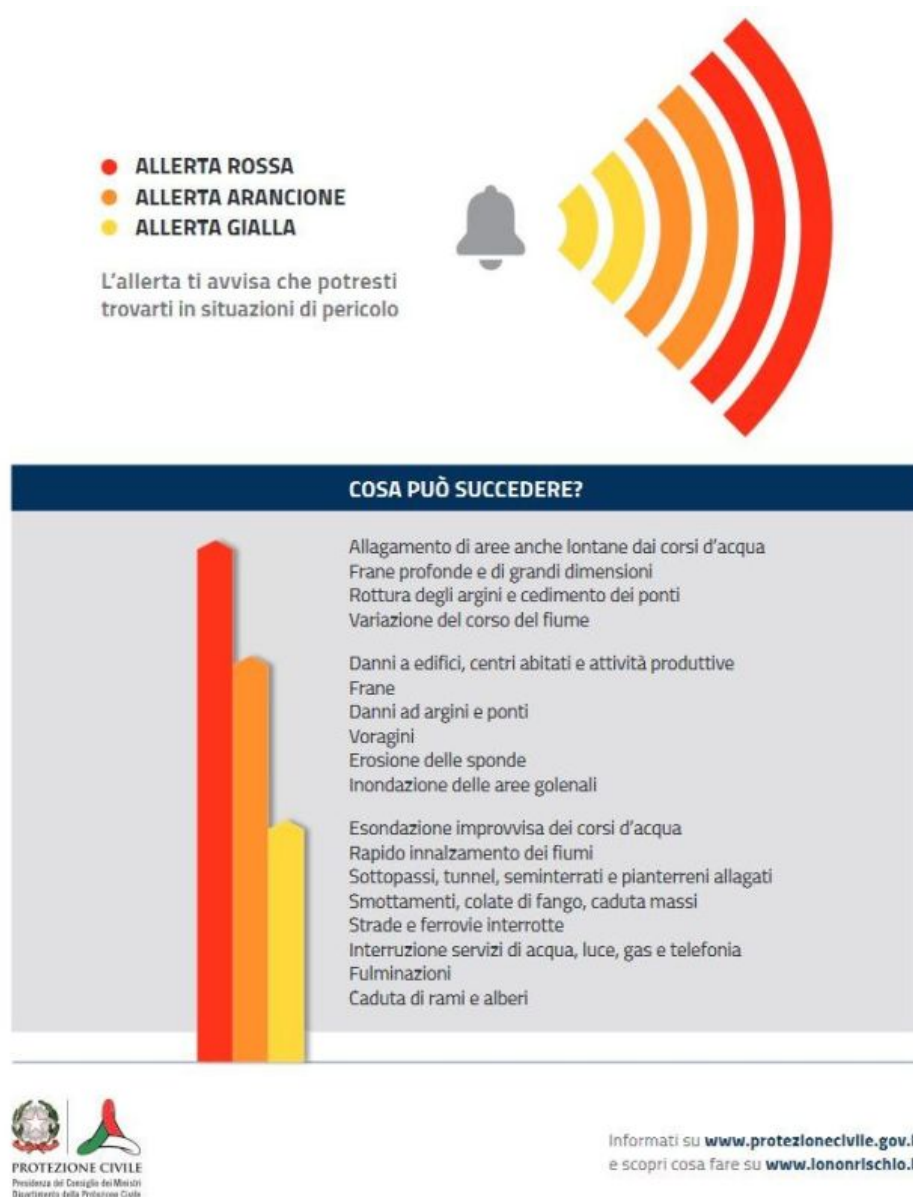
Il sistema italiano di allertamento per il rischio meteo-idrogeologico si basa su un quadro normativo che definisce ruoli e procedure a livello nazionale e locale. Un riferimento fondamentale è il Decreto Legislativo n. 1 del 2/1/2018, altrimenti noto come “Codice di protezione civile” (link: [Decreto Legislativo n.1 del 2 gennaio 2018: Codice della Protezione Civile](#)) che stabilisce le modalità con cui anche il sistema di allertamento viene definito, richiamando la Direttiva del 27 febbraio 2004, che ha stabilito gli indirizzi operativi per l'organizzazione del sistema di allerta nazionale, statale e regionale integrato per fenomeni meteorologici, idrogeologici e idraulici ai fini di protezione civile. In attuazione di tali indirizzi, il territorio di ciascuna Regione è stato suddiviso in zone di allerta omogenee, su cui vengono definite soglie di riferimento per i vari fenomeni; queste soglie delineano scenari d'evento predefiniti articolati su tre livelli di criticità: ordinaria, moderata ed elevata. Ad ogni livello di criticità corrisponde un determinato livello di allerta da attivare nei piani di emergenza. La Direttiva richiede infatti che ogni Regione correli ai propri livelli di criticità i livelli di allerta che attivano le relative fasi operative minimali del sistema di protezione civile. In pratica, però, ogni Regione ha definito procedure proprie per la dichiarazione dello stato di allerta, con una certa autonomia organizzativa. Ciò ha portato a differenze da regione a regione in termini di terminologia utilizzata, modalità con cui si correla la valutazione di criticità all'attivazione dell'allarme, tempistiche con cui viene diramata un'allerta e flussi di comunicazione verso enti e popolazione. Questa autonomia regionale, pur nel rispetto delle linee guida nazionali, è all'origine di alcune criticità del sistema attuale, come si vedrà in seguito.

Per garantire un linguaggio comune e uniformare la comunicazione del rischio, il sistema nazionale, a seguito delle indicazioni del Capo Dipartimento adotta una codifica cromatica dei livelli di allerta associata ai livelli di criticità. In base ai criteri fissati a livello centrale, vi è un'associazione biunivoca tra i tre livelli di criticità (ordinaria, moderata, elevata) e tre codici colore: giallo, arancione e rosso. Al livello di criticità ordinaria corrisponde quindi l'allerta gialla, alla criticità moderata l'allerta arancione e alla criticità elevata l'allerta rossa. Si aggiunge un livello verde ad indicare l'assenza di fenomeni rilevanti o di situazioni di rischio preventivabili (condizioni di normalità, l'assenza di rischio non esiste). La scelta di utilizzare i colori, già impiegati nei bollettini nazionali di criticità, risponde all'esigenza di facilitare la comprensione immediata dello scenario atteso, evitando i possibili fraintendimenti legati a termini tecnici come criticità “ordinaria”, “moderata” o “elevata”, soprattutto presso il pubblico non specialista. Ad ogni codice colore corrisponde una descrizione standard degli effetti attesi sul territorio per le diverse tipologie di rischio: ad esempio, un'allerta *gialla* segnala fenomeni intensi ma generalmente circoscritti con possibili disagi locali, un'allerta *arancione* indica scenari di moderata criticità con fenomeni più diffusi e intensi, mentre un'allerta *rossa* esprime uno scenario di massima gravità, con effetti estesi e situazioni di rischio per l'incolumità pubblica. Questa codifica uniforme, integrata dalla specifica indicazione del tipo di fenomeno atteso (ad es. rischio idrogeologico, idraulico o temporali), garantisce un linguaggio condiviso tra tutte le componenti del sistema e verso i cittadini. Ogni Regione, inoltre, pur potendo prevedere ulteriori tipologie di scenario di rischio (come valanghe, vento

forte, ecc.), adotta la stessa scala cromatica nazionale per classificare le allerte, d'intesa con il Dipartimento della Protezione Civile.

In sintesi, il quadro normativo istituzionale ha creato un sistema integrato in cui lo Stato fornisce linee guida e strumenti comuni (zone di allerta, livelli di criticità, codici colore e scenari di rischio), mentre le Regioni applicano tali indirizzi nel proprio contesto territoriale. Questo modello coniuga l'esigenza di standardizzazione nazionale con quella di flessibilità locale, ma al contempo genera variabilità nelle prassi attuative. Le differenze regionali nella dichiarazione e gestione delle allerte, in termini di termini impiegati, soglie considerate, tempistiche di riferimento, zone di efficacia e canali di comunicazione, rappresentano una sfida per l'omogeneità del sistema. Tali aspetti di frammentazione verranno approfonditi più avanti nell'analisi delle criticità del sistema.

Figura 2.1: Livelli di allertamento e relative possibili conseguenze.



2.2 Fasi operative e flussi decisionali

Allo scattare di una situazione di possibile rischio, l'allerta meteorologica-idrogeologica non è solo un'informazione tecnica, ma innesca una risposta operativa coordinata secondo fasi prestabilite. A ciascun livello di criticità (e dunque di allerta) corrispondono infatti delle fasi operative di protezione civile, codificate a livello nazionale per assicurare uniformità d'azione. Le fasi operative generalmente previste, recepite nei piani di emergenza a vari livelli territoriali, sono tre: la Fase di attenzione, la Fase di preallarme e la Fase di allarme. Esse rappresentano stadi crescenti di mobilitazione del sistema in relazione alla gravità dello scenario atteso o in atto.

La correlazione tra livello di allerta e fase operativa non è del tutto automatica, ma esistono delle soglie minime di riferimento: in linea di massima un'allerta gialla o arancione comporta l'attivazione almeno della fase di attenzione, mentre un'allerta rossa comporta almeno l'attivazione della fase di preallarme. Oltre queste corrispondenze di base, spetta tuttavia alle autorità di protezione civile valutare caso per caso l'opportunità di passare a una fase operativa più elevata (o direttamente alla fase di allarme) in funzione dell'evoluzione prevista o osservata del fenomeno sul territorio. La decisione di attivare la fase di preallarme o di allarme può avvenire immediatamente all'atto dell'allerta, oppure successivamente, all'approssimarsi dei fenomeni, ed è presa considerando vari fattori: lo scenario atteso (tipo di fenomeno e severità), la probabilità che si verifichi, il tempo a disposizione prima dell'evento e la capacità di risposta complessiva del sistema locale di protezione civile.

Quando una Regione emette un avviso di allerta meteo-idro (gialla, arancione o rossa) sul proprio territorio, contestualmente dichiara la fase operativa attivata per il proprio sistema di protezione civile regionale, comunicandola sia al Dipartimento della Protezione Civile nazionale sia a tutti gli enti territoriali coinvolti (Province, Prefetture, Comuni). L'attivazione di una fase operativa, conseguente a una valutazione di criticità ordinaria, moderata o elevata (allerta gialla, arancione, rossa), non avviene in modo automatico al solo verificarsi delle condizioni di rischio: deve essere formalmente dichiarata dai soggetti responsabili secondo le procedure previste, ciascuno per il proprio livello di competenza. Analogamente, il passaggio a una fase inferiore o la cessazione dello stato di mobilitazione (il "rientro" verso la normalità) deve essere ufficialmente disposto quando si valuta che la situazione è tornata sotto controllo.

Le tre fasi operative tendono a seguire l'ordine sopra descritto in caso di eventi previsti con un certo anticipo. Se un evento critico si manifesta senza preavviso sufficiente (ad esempio un nubifragio estremamente rapido o un collasso arginale imprevisto), il responsabile dell'emergenza può attivare direttamente le risorse e i centri operativi necessari alla risposta, senza dover seguire tutti i passaggi sequenziali. In tali casi, l'attivazione immediata delle strutture di soccorso e delle misure di salvaguardia avviene con la massima urgenza, e deve essere comunicata tempestivamente agli enti superiori e a tutti i soggetti interessati.

Un elemento cruciale del sistema di allertamento italiano è il flusso decisionale e comunicativo che si instaura non appena viene emessa un'allerta e dichiarata una fase operativa.

Quanto alle modalità di comunicazione, per garantire rapidità e ridondanza il sistema utilizza frequentemente canali multipli. Un esempio è offerto dalle procedure in uso in alcune Regioni, dove l'invio dell'allerta avviene tramite un sistema centralizzato che sfrutta contemporaneamente più mezzi di trasmissione.

Negli ultimi anni, accanto ai canali tradizionali, si sono affiancati strumenti più innovativi. Molte Regioni hanno realizzato portali web riservati in cui vengono raccolti tutti gli aggiornamenti sull'allerta in corso, le informazioni sulle reti di monitoraggio, i bollettini emessi e gli scenari modellistici disponibili. Tali piattaforme digitali, accessibili agli operatori di protezione civile autorizzati, facilitano la condivisione costante delle informazioni e fungono da dashboard aggiornate durante l'emergenza.

Durante l'intero periodo di validità di uno stato di allerta, il flusso informativo non si esaurisce con l'emissione iniziale, ma prosegue in modo strutturato. Viene generalmente mantenuto un contatto continuo tra la Sala Operativa regionale e i centri operativi attivati sul territorio (COC comunali, Centri di Coordinamento Soccorsi provinciali, ecc.), in modo da raccogliere segnalazioni sull'evoluzione dei fenomeni e sulle criticità riscontrate localmente. A cadenze regolari, la Regione può predisporre un sistema di reportistica via web che permette di comporre il quadro aggiornato della situazione su scala regionale. Questi rapporti periodici aiutano tutti gli attori istituzionali a mantenere una visione d'insieme sull'emergenza in corso, orientando così le decisioni successive.

È importante sottolineare che il sistema di allertamento si concretizza nell'azione dei Sindaci e dei sistemi comunali di protezione civile. Il Sindaco, per legge, è l'Autorità locale di protezione civile ed è responsabile, in ultima istanza, della salvaguardia della popolazione del proprio Comune. Di conseguenza, ogni volta che un'allerta viene diramata (anche la più bassa, allerta gialla), essa viene comunicata ai Sindaci dei Comuni interessati e comporta per le amministrazioni comunali l'attivazione delle procedure previste nei rispettivi piani di emergenza. I Comuni dunque non possono ignorare un messaggio di allertamento, ma sono tenuti a mettersi in guardia e predisporre le misure necessarie proporzionate al livello di allerta.

2.3 Strumenti e documenti di allertamento

Il passaggio dalle previsioni meteorologiche alla mobilitazione operativa avviene attraverso una serie di documenti ufficiali di allertamento. Tali documenti rappresentano gli strumenti formali con cui le informazioni sul rischio atteso vengono comunicate e condivise tra i vari attori e verso la popolazione. Il sistema documentale è strutturato su più livelli, corrispondenti in parte alle competenze nazionali e regionali, e accompagna l'evoluzione dell'evento dalle prime avvisaglie fino al termine dell'emergenza.

Il **Dipartimento della Protezione Civile**, per il tramite del Centro Funzionale Centrale, emette ogni giorno il **Bollettino di vigilanza** meteorologica nazionale. Si tratta di un bollettino di sintesi che riporta le condizioni meteorologiche attese sul territorio nazionale per le successive 24-48 ore, indicando le aree dove sono previsti fenomeni potenzialmente significativi. Questo bollettino di vigilanza non assegna codici di allerta, ma evidenzia con un codice colore solo le aree di potenziale attenzione meteorologica.

Esso costituisce un primo segnale informativo, utile sia ai Centri Funzionali regionali (che ne tengono conto per le proprie valutazioni) sia al pubblico interessato a conoscere in anticipo eventuali situazioni di maltempo rilevante.

Nel caso in cui dalle previsioni emergano fenomeni di particolare intensità a scala sovraregionale, ad esempio una perturbazione molto forte estesa a più regioni, il settore meteorologico del CFC elabora e diffonde anche uno specifico **Avviso di condizioni meteorologiche avverse** (detto colloquialmente *avviso meteo*). L'Avviso meteo nazionale è un documento ufficiale con cui si segnalano, con qualche giorno di anticipo, eventi atmosferici di notevole criticità, così da allertare preventivamente sia le strutture di protezione civile sia la popolazione.

Gli Avvisi meteo nazionali vengono pubblicati sul sito del Dipartimento e diffusi ai media, spesso costituendo la notizia che preannuncia l'ondata di maltempo in arrivo.

Su scala regionale, il documento cardine è il **Bollettino di criticità** (in alcuni casi identificato con il Bollettino di allerta regionale). Questo bollettino viene redatto dal Centro Funzionale Decentrato e rappresenta la traduzione locale delle previsioni meteorologiche in termini di rischio sul territorio. In esso sono valutati gli effetti al suolo attesi e tale analisi è riportata nel Bollettino come livello di criticità (colore) assegnato ad ogni zona di allerta della Regione.

Parallelamente, viene emanato e diffuso un messaggio di allertamento regionale vero e proprio indirizzato a tutti gli enti interessati. Questo messaggio riassume i contenuti salienti: specifica il livello di allerta dichiarato e soprattutto la fase operativa che viene attivata sul territorio regionale. Inoltre, secondo gli standard procedurali condivisi, l'avviso regionale costituisce il riferimento tecnico per tutti gli enti locali: significa che in base ad esso i Sindaci e gli altri attori devono a loro volta attivare le misure previste nei propri piani di emergenza, in forma autonoma ma coerente con quanto indicato dal livello superiore. In questo senso il messaggio di allertamento regionale funge da "trigger" formale che mette in moto la macchina operativa a cascata.

Una volta dichiarata un'allerta ed entrati in fase di attenzione/preallarme/allarme, la necessità successiva è quella di seguire l'evoluzione dell'evento in tempo reale. A tal fine, molti sistemi regionali prevedono l'emissione di **bollettini di monitoraggio e aggiornamento** evento. Si tratta di bollettini periodici emessi durante la validità dell'allerta, con cadenze che dipendono dal tipo di fenomeno e dal livello di criticità. I bollettini di monitoraggio vengono condivisi con tutti gli attori e spesso pubblicati anch'essi sui siti istituzionali per assicurare trasparenza e informazione continua al pubblico durante l'emergenza.

Sostanzialmente, la catena documentale del sistema di allertamento comprende strumenti informativi e atti ufficiali che accompagnano tutte le fasi che consentono di passare dalla fase di allerta alla mobilitazione. Tale passaggio deve essere informato e tempestivo. Ciò può essere difficoltoso per la mole delle comunicazioni e della documentazione da consultare in brevissimo tempo per assumere immediatamente le decisioni.

2.4 Declinazione regionale e criticità del sistema

Pur avendo un impianto normativo comune, il sistema di allertamento meteo-idrogeologico in Italia si presenta, nella pratica, fortemente declinato su base regionale. Ogni Regione ha recepito le direttive nazionali adattandole alla propria organizzazione e alle proprie risorse, sviluppando strumenti e prassi in parte differenti. Ne risulta un quadro frammentato in cui, accanto a elementi condivisi, si riscontrano sensibili eterogeneità da territorio a territorio.

Un primo aspetto riguarda i format dei bollettini e avvisi. Alcune Regioni hanno adottato piattaforme e sistemi informativi all'avanguardia. La frequenza di aggiornamento delle informazioni può variare: alcune realtà producono due bollettini al giorno in caso di maltempo prolungato, altre mantengono un'unica emissione quotidiana salvo emergenze particolari. Altre ancora modulano l'allerta con una scansione oraria. Anche il linguaggio e la struttura dei documenti possono differire leggermente: pur basandosi tutti sul codice colore nazionale, alcune Regioni aggiungono proprie classificazioni o terminologie per scenari locali. La comunicazione al pubblico rispecchia queste differenze: in alcune zone d'Italia il cittadino può consultare un sito o un'app regionale mentre altrove deve affidarsi alle comunicazioni del Comune o alle news, poiché l'informazione regionale è veicolata tramite canali meno immediati.

Anche il coinvolgimento degli strumenti tecnologici avanzati non è uniforme. Alcune hanno investito in sistemi di supporto decisionale interni, come piattaforme GIS (Sistema Informativo Geografico) che incrociano in automatico le previsioni con le mappe delle aree a rischio del territorio, fornendo ai centri operativi un quadro sintetico delle possibili criticità. Altre regioni invece si basano ancora su processi più manuali, dove l'analisi dell'impatto è lasciata maggiormente all'esperienza degli operatori del Centro Funzionale e la comunicazione coi sindaci avviene attraverso canali istituzionali convenzionali.

Considerando il quadro nazionale la mancanza di omogeneità crea difficoltà nel mettere assieme le informazioni per costruire dataset nazionali di allerta e dunque aggregare i dati richiede un lavoro di normalizzazione complesso. Ciò incide sulla possibilità di svolgere analisi comparative a posteriori sugli eventi e sulle allerte.

A livello istituzionale, il Dipartimento della Protezione Civile ha cercato di ovviare a ciò raccogliendo i bollettini di criticità regionali in un Bollettino nazionale di sintesi, ma questo processo non elimina le disomogeneità di fondo nelle fonti originali.

Malgrado queste criticità, va riconosciuto che il sistema nazionale di allertamento meteo-idrogeologico ha anche dimostrato capacità di risposta e adattamento. Gli eventi calamitosi degli ultimi anni – alcuni dei quali particolarmente estremi – hanno messo alla prova l'intera catena organizzativa, evidenziando sia i punti di forza sia i margini di miglioramento. L'esperienza ha stimolato una riflessione condivisa: è opinione diffusa tra gli operatori che il sistema attuale, pur strutturato, necessiti di innovazioni per diventare più rapido, integrato e proattivo.

Le nuove tecnologie informatiche e di intelligenza artificiale, l'uso di piattaforme unificate di comunicazione, la standardizzazione dei dati e la formazione continua dei decisori locali sono tutti elementi considerati chiave per evolvere il sistema. Nel frattempo, però, rimane fondamentale rafforzare la cultura del rischio e la consapevolezza diffusa: anche il miglior

sistema di allertamento, infatti, si rivela inefficace se i messaggi non vengono compresi o seguiti adeguatamente dagli attori sul territorio.

Figura 2.2: Immagine parziale del bollettino di allerta della regione Piemonte.

ARPA

Regione Piemonte
per la Protezione Ambientale

PIEMONTE

2.5 Il ruolo dei report post-evento nel sistema di allertamento meteo-idro

Nella filiera italiana dell’allertamento per rischio meteorologico e idrogeologico, un momento fondamentale è la fase post-evento. Dopo la gestione operativa dell’emergenza, diversi enti (Regioni, Agenzie regionali per la protezione ambientale, Dipartimento nazionale, centri di competenza, ecc.) producono rapporti e analisi sull’evento appena occorso.

Questi report post-evento contengono la cronistoria dei fenomeni, le decisioni prese, gli interventi attuati e gli effetti/danni osservati sul territorio. Si tratta di documenti preziosi per trarre insegnamenti e migliorare la preparazione a futuri eventi, poiché codificano la conoscenza accumulata dall’esperienza storica in modo spesso rigoroso.

Tuttavia, la produzione di tali rapporti non è standardizzata: ogni organismo adotta formati e approcci diversi, relazioni tecniche, schede di sintesi, comunicati stampa, dossier scientifici, ecc.), con livelli di dettaglio e linguaggio eterogenei. Ne risulta una collezione frammentata di informazioni post-evento, eterogenee per struttura e contenuto, la cui consultazione e confronto sistematico risulta difficile.

Ciò rende complicata la condivisione trasversale delle lezioni apprese, in altri termini, il sistema attuale fatica a capitalizzare in modo strutturato l'esperienza di eventi passati, perdendo opportunità di miglioramento proattivo.

Oltre alla mancata standardizzazione la lettura di tali documenti risulta dispendiosa durante scenari di allerta e ciò ne riduce il valore informativo.

Proprio da questa esigenza nasce l'idea di applicare tecniche di Intelligenza Artificiale ai report post-evento, per estrarne conoscenza fruibile in tempo reale a supporto delle decisioni.

2.6 Le prime sperimentazioni RAG in ambito meteo-idro

Un primo tentativo di impiegare l'intelligenza artificiale generativa su documenti post-evento è rappresentato dalla tesi di Catia Polverini (2023), che può essere considerata un esperimento antesignano in questo ambito. Nel suo lavoro, Polverini ha esplorato l'uso di modelli di Large Language Model (LLM), in particolare della famiglia GPT, applicati a una base di documenti post-evento, adottando un approccio di Retrieval-Augmented Generation (RAG). In pratica, il modello generativo veniva alimentato con informazioni estratte da rapporti di eventi passati, così da poter rispondere a domande e fornire sintesi basate su dati reali. Questo approccio ha dimostrato la fattibilità di sintetizzare automaticamente informazioni post-evento provenienti da fonti testuali, evidenziando come un LLM opportunamente guidato dalle fonti possa ricostruire la dinamica di un evento o trarre indicazioni utili per la gestione del rischio.

Il contributo metodologico della tesi di Polverini è stato dunque duplice: da un lato, ha validato l'integrazione tra LLM e knowledge base documentale come strada promettente per superare la mera consultazione manuale dei report; dall'altro, ha messo in luce le sfide pratiche di tale integrazione. È importante notare che l'esperimento di Polverini aveva carattere esplorativo e accademico: si trattava di una prova di concetto condotta in un contesto controllato, con un insieme limitato di documenti e senza l'onere di un utilizzo operativo reale. Ciò non toglie valore ai risultati ottenuti, ma evidenzia il passo che restava da compiere: portare quella soluzione dal laboratorio a un'architettura capace di gestire uno scenario reale, con attori sul territorio e integrazione nei processi decisionali veri.

Proprio su questo passaggio si concentra il progetto, denominato AIRAS, che nasce con l'obiettivo di trasformare quell'idea in un prototipo operativo da testare con enti e comunità locali.

3. Sistema AIRAS: IA generativa per l'allertamento meteo-idrologico

3.1 Dall'idea alla pratica: nascita del progetto AIRAS

Sulla scia delle sperimentazioni accademiche e delle criticità rilevate nel sistema AS-IS, ha preso vita il progetto AIRAS, acronimo di Artificial Intelligence Response on Alert System. L'idea di AIRAS è maturata all'interno del laboratorio di AI della società Ex Machina, in collaborazione con Agenzia Italia Meteo, CINECA e con il coinvolgimento diretto di enti territoriali.

Il progetto si propone come prima soluzione AI alle inefficienze evidenziate nella gestione delle allerte: l'obiettivo primario è creare uno strumento che supporti i decisori (in primo luogo i Sindaci e i responsabili locali di Protezione Civile) durante le fasi di allerta ed emergenza, fornendo informazioni immediate, contestualizzate e affidabili. AIRAS è stato concepito quindi come un sistema di supporto decisionale basato su AI generativa, capace di mettere a fattor comune tutta la conoscenza storica disponibile (norme, procedure, dati ed eventi passati) e di aggiornarla con informazioni in tempo reale.

Le motivazioni alla base di AIRAS risiedono nel rendere fruibili categorie di documenti che non sono velocemente consultabili oltre che spesso dimenticati negli archivi. Il progetto AIRAS mira a ribaltare questo paradigma, offrendo un'unica piattaforma intelligente in cui sono reperibili sia i dati aggiornati sull'evento in corso, sia i riferimenti provenienti da eventi analoghi del passato, con analisi di cosa fu efficace o meno in quelle occasioni.

Dal punto di vista organizzativo, AIRAS vede il coinvolgimento di molteplici attori: Ex Machina ha curato la progettazione e lo sviluppo tecnologico, mettendo a disposizione il proprio framework AI (Cosmo42) e competenze informatiche; Agenzia Italia Meteo ha contribuito tramite know-how e supportando tesi come quella di Polverini e questa; gli enti territoriali coinvolti hanno fornito il contesto applicativo, i dati territoriali e i documenti da analizzare, partecipando anche alla definizione dei requisiti funzionali. Va menzionata inoltre la partnership con il consorzio CINECA, che ha messo a disposizione infrastrutture di supercalcolo per sostenere le componenti più onerose del sistema e ha siglato un accordo triennale con Ex Machina per permettere l'uso del tempo macchina del supercomputer Leonardo per l'addestramento di AIRAS su scala nazionale. Il risultato atteso è una piattaforma robusta e scalabile, validata tramite una sperimentazione reale.

Questa impostazione si colloca nel solco della letteratura recente sul decision-support per i rischi naturali: il sistema MARSHA, ad esempio, mostra come un'architettura RAG orchestrata da agenti specializzati migliori la contestualizzazione e la verificabilità delle risposte su casi d'uso reali (Xie et al., 2025).

3.2 Obiettivi e funzionalità di AIRAS

Gli obiettivi di AIRAS sono in primo luogo, la sintesi automatica dei documenti: il sistema deve poter leggere e comprendere rapidamente grandi moli di dati testuali e restituirne all'utente i punti salienti. Questa funzione di automatic summarization permette ai decisori di

risparmiare tempo, avendo subito una panoramica delle informazioni chiave senza dover sfogliare manualmente ogni documento. In secondo luogo, AIRAS funge da supporto decisionale interattivo: attraverso un'interfaccia conversazionale, gli utenti possono porre domande in linguaggio naturale. Il modello generativo è in grado di collegare fatti ed evidenze provenienti da fonti diverse, fornendo risposte ragionate invece di semplici estratti, e indicando, ove possibile, le fonti da cui trae le informazioni, elemento cruciale per conferire fiducia all'output e permettere verifiche.

Un ulteriore obiettivo è l'interrogabilità multilingua: dato che la tecnologia dei Large Language Models sottostante supporta più lingue, AIRAS consente l'accesso alle informazioni anche a utenti non italofoni. Ciò potrebbe rivelarsi utile in contesti di cooperazione transfrontaliera o per coinvolgere esperti internazionali.

In scenari operativi il sistema dovrà essere capace di fornire consigli pratici ai decisori locali basandosi sulle azioni intraprese negli eventi precedenti. Inoltre nonostante non sia un modello predittivo si potrebbe usare per simulare scenari ipotetici e fare valutazioni what-if.

L'orientamento di AIRAS verso risposte tracciabili e contestualizzate è coerente con evidenze recenti: sistemi multi-agent con RAG come MARSHA ottengono valutazioni superiori rispetto a soluzioni LLM "vanilla" in scenari operativi guidati da esperti (Xie et al., 2025).

4. Architettura Tecnica di AIRAS

4.1 Panoramica dell'architettura basata su Cosmo42

Schema semplificato dell'architettura attuale di AIRAS basata sul framework AI Cosmo42 (sviluppato da Ex Machina). Vengono evidenziate le fasi principali: l'ingestione dei documenti, l'estrazione/arricchimento dei metadati (verde), la gestione tramite orchestratore multi-agente (riquadro a destra) con filtri e routing delle query, il recupero dei documenti pertinenti e infine la generazione della risposta da parte del modello LLM, seguita da eventuali step di pulizia e arricchimento della risposta

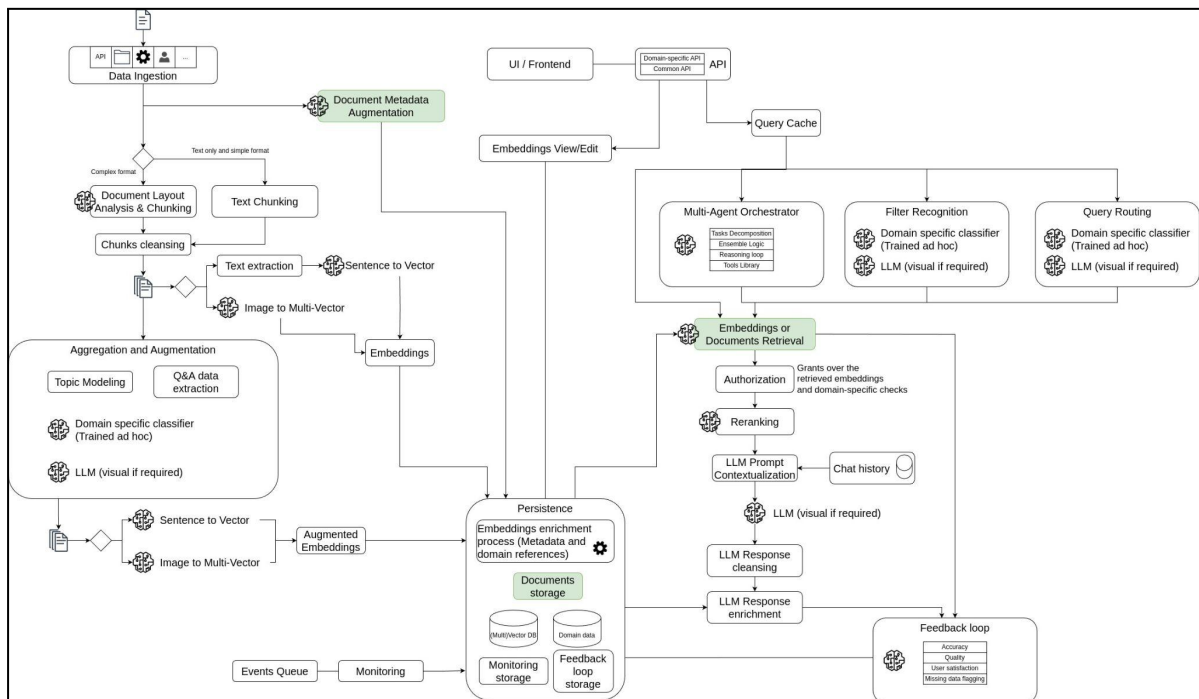


Figura 4.1: architettura di AIRAS

Dal punto di vista tecnico, COSMO42 è nato con un'architettura modulare ispirata al paradigma RAG (Retrieval Augmented Generation), implementata attraverso il framework proprietario Cosmo42. In estrema sintesi, il flusso di elaborazione si compone di due macro-fasi: ingestione dei documenti e query e selezione dei contenuti per la generazione della risposta finale. Ognuna di queste fasi presenta specifiche soluzioni tecniche, come sarà descritto in seguito.

La capacità dei nuovi modelli di digerire documenti di maggiore dimensione grazie all'aumento del contesto visto negli ultimi anni ne ha permesso anche un'evoluzione multimodale arrivando ad ottenere gli MLLM (multimodal-large-language-model). Alla luce di ciò per ogni fase descriveremo sia l'elaborazione svolta per il sistema basato RAG, sia l'elaborazione sfruttando la digestione documentale effettuata direttamente dal provider del modello LLM interrogato.

4.1.1 Architettura RAG-based su database vettoriale

Nel percorso RAG basato su database vettoriale, AIRAS costruisce un corpus indicizzato a partire da documenti eterogenei e, al momento della domanda, recupera solo le porzioni più pertinenti da fornire al modello generativo. L'obiettivo è mantenere tracciabilità e controllo: ogni affermazione è riconducibile alla pagina o alla sezione da cui proviene.

Tecnologia RAG vettoriale: vettori, embedding e spazio semantico. Alla base del RAG c'è uno spazio vettoriale in cui rappresentare il significato dei testi. Nel nostro caso lo spazio è gestito da un database vettoriale (Milvus); per riempirlo occorre un modello di embedding che trasformi ogni frammento testuale in un vettore di n dimensioni. Il valore di n non è un dettaglio cosmetico: più dimensioni permettono di codificare strutture semantiche più complesse, ma aumentano anche il costo di gestione e la sensibilità al rumore. È inoltre importante notare che spazi e modelli di embedding non sono tutti uguali: modelli diversi producono geometrie diverse, e mescolare nello stesso spazio vettori di natura differente (ad es. testo e immagine/video) risulta in pratica problematico, perché le distribuzioni non sono direttamente confrontabili e il ranking perde affidabilità.

Ingestione e indicizzazione. I documenti (bollettini, piani, normative, report) vengono letti, normalizzati e segmentati in unità coerenti (chunk) che rispettano la struttura logica (titoli, paragrafi, tabelle, allegati). A ogni chunk associamo metadati essenziali (fonte, tipologia, ambito territoriale e temporale, pagina/sezione) per preservare la tracciabilità. I chunk testuali sono quindi proiettati nello spazio semantico tramite l'embedding e inseriti in Milvus.

Ricerca semantica e costruzione della risposta. Alla query dell'utente, l'orchestratore interroga l'indice vettoriale con una ricerca semantica (per inerenza e non per semplice corrispondenza letterale) e combina il risultato con i metadati (territorio, tipologia, periodo). Vengono selezionati solo gli estratti più pertinenti, confezionati in un contesto compatto e passati all'LLM. La generazione è ancorata alle evidenze: le citazioni a pagina o porzione sono immediate perché ogni chunk mantiene il collegamento con la propria origine.

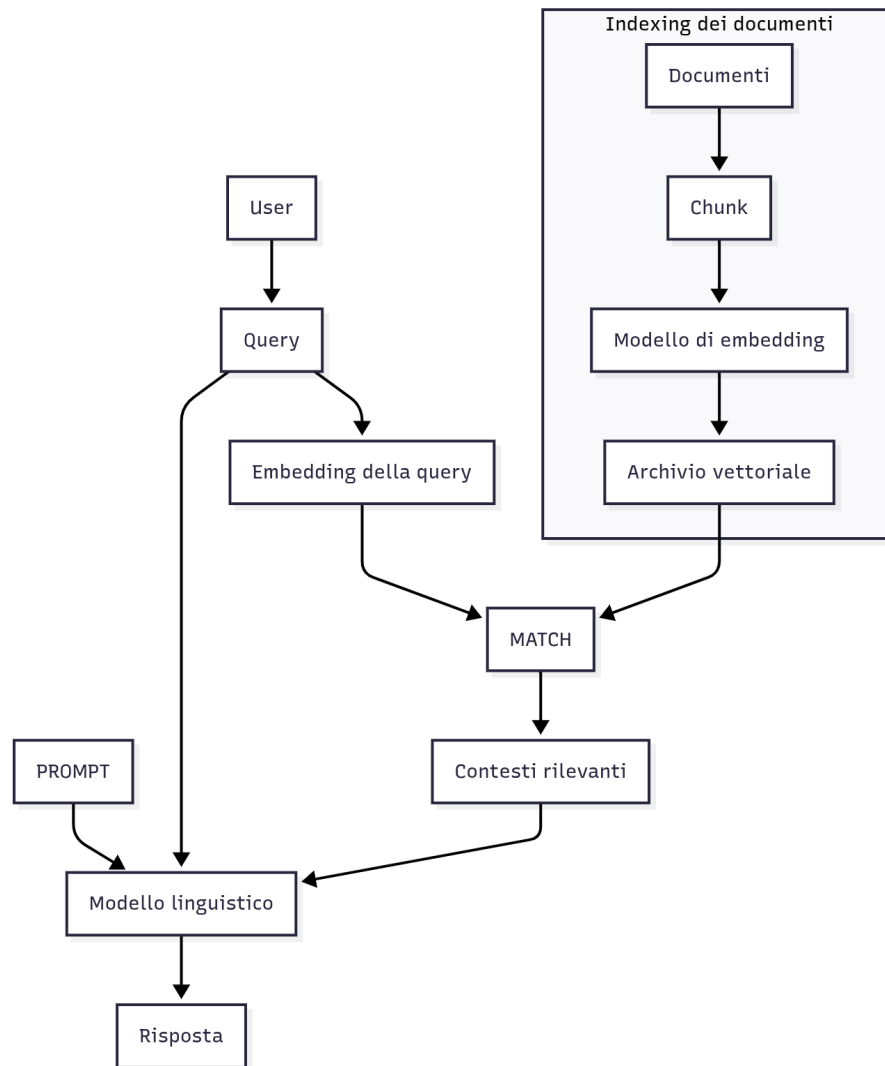


Figura 4.2: Schema di base di pipeline nel RAG Vettoriale

Embedding generici vs specifici di dominio. Nel nostro stadio attuale utilizziamo embedding generici, non addestrati su uno specifico dominio. Questa scelta è sufficiente per molte domande, ma non sempre coglie le sfumature interne allo stesso ambito. In altre parole, un embedding generico tende a rendere adiacenti vettori che parlano "dello stesso tema" anche quando trattano concetti tra loro distinti: ad esempio, può avvicinare e recuperare insieme passi relativi a criticità idraulica e criticità idrogeologica solo perché condividono lessico e contesto, pur riferendosi a dinamiche e procedure differenti. Un embedding tarato sul dominio (o fine-tuned) riuscirebbe invece a separare con maggiore nitidezza queste sfumature, migliorando il ranking e riducendo i falsi positivi all'interno dello stesso tema. La letteratura recente conferma questo quadro: il benchmark HydroLLM per la valutazione della conoscenza idrologica nei LLM evidenzia lacune e confusione concettuale in assenza di adattamenti di dominio, suggerendo l'uso di rappresentazioni specializzate per cogliere le differenze intra-dominio (Kizilkaya, Sajja, Sermet, & Demir, 2025).

Oltre alla specializzazione degli embedding, sta emergendo con forza la specializzazione dei modelli: LLM addestrati e istruiti specificamente sull'idrologia mostrano progressi netti in compiti di domanda-risposta e ragionamento applicato. Il caso WaterGPT è esemplare: un

LLM bilingue, addestrato su corpus idrologici e incapsulato in un framework multi-agent, supera modelli generalisti su un benchmark di ~10.000 domande (EvalWater), con un vantaggio riportato dagli autori pari a +17,83 punti rispetto a GPT-4. Questi risultati rafforzano la tesi secondo cui rappresentazioni e modelli di dominio migliorano il retrieval e l'utilità decisionale nelle pipeline RAG (Ren et al., 2024).

Un risultato complementare proviene da uno studio su EarthArXiv che introduce i modelli HydroEmbed per embedding di frase fine-tuned su idrologia e scienze ambientali. Utilizzando il benchmark HydroLLM e strategie di apprendimento contrastivo mirate (Multiple Negatives Ranking Loss per MCQ/TF; combinazione Triplet Loss + Cosine Similarity per FITB; Cosine + MNRL per domande open-ended), lo studio mostra guadagni misurabili sia in accuratezza di risposta sia in similarità semantica, con benefici marcati proprio nei compiti più difficili (FITB e open-ended). Gli autori sottolineano inoltre il ruolo fondativo della qualità degli embedding nelle pipeline RAG: senza un allineamento al lessico e alla struttura dei testi di dominio, il sistema rischia di non recuperare o non contestualizzare correttamente le evidenze, anche in presenza di modelli generativi potenti. Un ulteriore vantaggio è l'efficienza operativa dei modelli (dimensione compatta, memoria GPU ridotta e latenza di codifica nell'ordine dei millisecondi), coerente con scenari real-time quando gli embedding documentali sono pre-calcolati. Tra le indicazioni metodologiche utili compaiono approcci di selezione adattiva (adaptive-k), diversità dei risultati (ad es. MMR), chunking più rispettoso di frasi/sezioni e reranking leggero: spunti che possono orientare evoluzioni future, senza implicare che siano già implementati in AIRAS.

Vantaggi e attenzioni. Questo approccio garantisce un'eccellente auditabilità (si sa cosa è entrato nel contesto e da dove proviene) e riduce il rumore nelle risposte. Le due attenzioni principali restano: (i) il rischio di decontestualizzazione quando la segmentazione non coglie bene i confini logici; (ii) la limitata comprensione degli elementi non testuali, che in RAG vengono descritti o linearizzati ma non "interpretati" come farebbe un esperto umano.

4.1.2 Architettura MLLM-based (multimodale, LLM-centrica)

La scelta del percorso MLLM nasce dall'esigenza di spostare la complessità della multimodalità (testo, immagini, grafici, mappe) sul provider e sul modello: invece di costruire e mantenere spazi vettoriali misti e comparabili, i documenti vengono letti direttamente dall'LLM multimodale, che gestisce nativamente formati eterogenei. Questo riduce a monte le difficoltà già evidenziate per l'approccio puramente vettoriale.

Evidenze sperimentali recenti indicano che gli MLLM leggono e interpretano con efficacia mappe, grafici e immagini quando tali elementi sono determinanti per la risposta. In un confronto su compiti idrologici, GPT-4 Vision ha prodotto valutazioni accurate di severità di allagamento e qualità dell'acqua; più in generale i modelli multimodali risultano idonei a scenari near real-time quando serve valorizzare contenuti non testuali (Kadiyala et al., 2024). Questo supporta la scelta del percorso MLLM in AIRAS quando coerenza cross-pagina e dato visivo sono centrali.

In ingestione, i documenti sono inviati all'MLLM, che è istruito tramite un template a produrre un set di metadati descrittivi il più possibile esaustivo e coerente tra documenti. Tali metadati confluiscono in un indice che raccoglie quelli di tutto il corpus disponibile.

Nel percorso MLLM l'orchestratore coincide con l'LLM: alla domanda dell'utente, il modello analizza il prompt e l'indice e decide quali file aprire nella chiamata successiva. Grazie alle ampie finestre di contesto e alla lettura multimodale, può caricare uno o più documenti in funzione della dimensione e valutare anche elementi non testuali laddove rilevanti per la risposta.

Durante la lettura, il modello tiene traccia delle pagine consultate e le riporta come riferimenti a supporto dell'output. Trattandosi di un ragionamento dell'LLM, la granularità della citazione non è sempre al singolo paragrafo; nella pratica è generalmente accurata a livello di pagina e indica il documento corretto su cui la risposta si fonda.

Poiché il modello apre documenti interi (o insiemi di pagine coerenti), non dipende dai confini dei chunk: evita i casi in cui estratti troppo piccoli o parziali impediscono di cogliere il significato complessivo. In questo senso il percorso MLLM privilegia coerenza e continuità di lettura, soprattutto quando figure, tabelle e collegamenti tra sezioni richiedono una visione d'insieme.

Punti di forza. Migliore coerenza tra pagine; maggiore valorizzazione di figure/mappe/tabelle; dossier sintetici quando serve una vista di insieme.

Limiti. Costi/latency più elevati; riproducibilità meno "meccanica" rispetto a RAG; necessità di politiche di selezione e cache per restare entro SLA.

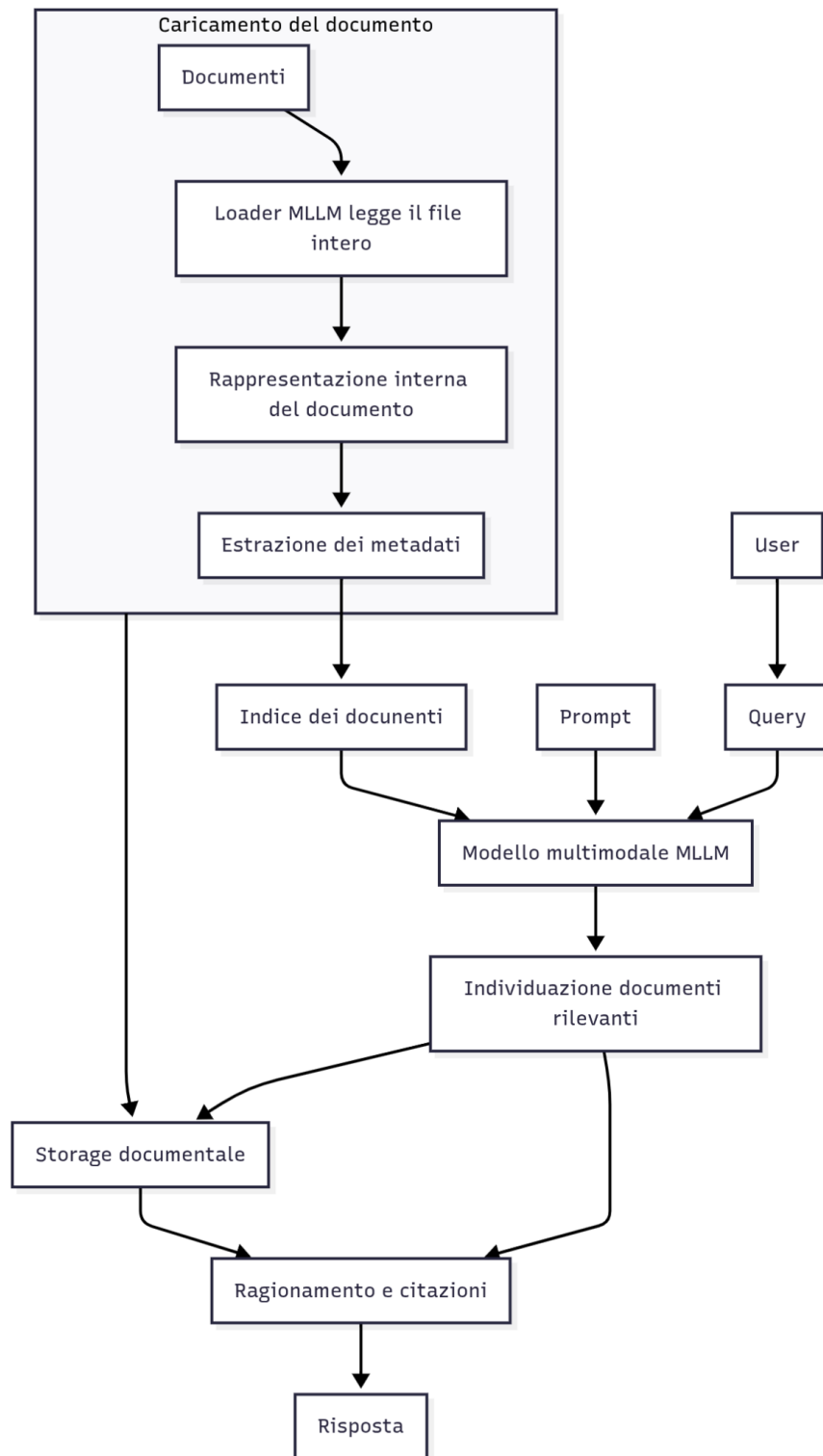


Figura 4.3: Schema della pipeline basata su MLLM

4.2 Vantaggi e limiti dell'approccio attuale

L'adozione del percorso MLLM-based riduce la frammentazione informativa: i documenti vengono letti dal modello nella loro interezza e le risposte riportano le pagine consultate. L'indice di metadati prodotto con template coerente accelera la selezione dei file e rende più uniforme la restituzione; in pratica, si passa da ricerche manuali disperse a una consultazione guidata che restituisce un quadro sintetico ma tracciabile.

I limiti riflettono la natura del percorso scelto. La copertura del corpus, oggi selettiva, può lasciare scoperte aree o varianti locali dei documenti; l'accuratezza dei metadati generati incide sulla qualità della selezione e va monitorata; la granularità delle citazioni è in genere a livello di pagina; costi e latenza sono superiori rispetto a una pipeline puramente vettoriale; la riproducibilità è meno meccanica perché dipende dal ragionamento del modello e dall'ordine/quantità di materiale caricato.

Nel complesso, l'approccio attuale offre risposte contestualizzate con fonti verificabili e riduce sensibilmente il tempo di consultazione per gli utenti. Le priorità di miglioramento sono tre: ampliare la copertura documentale, raffinare i metadati (per evitare esclusioni o classificazioni errate) e ottimizzare costi/tempi con politiche di selezione e cache coerenti con gli scenari d'uso.

4.3 Sviluppi futuri ed evoluzioni previste

Il percorso di evoluzione di AIRAS segue quattro direttrici tra loro complementari, coerenti con l'architettura delineata nel 4.1:

Function calling. Abilitare l'LLM a invocare funzioni esterne quando la domanda richiede dati aggiornati (es. pluviometri/portate, anagrafi territoriali) o calcoli puntuali. Il modello resta responsabile della risposta, ma delega la parte "misurabile" a servizi affidabili, riportandone la fonte.

Selezione documentale più precisa. Raffinare la fase di pre-selezione dai metadati: template di digestione più ricchi e consistenti, score di confidenza sui metadati, riconoscimento di pagine chiave e politiche di caching per ridurre costi/latency. L'obiettivo è caricare meno materiale ma più mirato, mantenendo la tracciabilità delle pagine effettivamente consultate.

Accesso a dati esterni tramite MCP. Oltre alle singole funzioni, l'adozione di MCP (Model Context Protocol) consente di registrare un catalogo di tool con permessi e policy, tracciando le invocazioni e componendo sequenze di operazioni sotto il controllo del modello. Questo amplia l'interoperabilità con sistemi terzi (database, applicativi, sensori) senza snaturare il flusso conversazionale.

Orchestrazione multi-agente e auditabilità. Evolvere l'attuale orchestrazione verso agenti specializzati (comprensione della domanda, consultazione fonti esterne, analisi normativa, storico-eventi), mantenendo per ciascuno log di decisione e prompt chain consultabili. L'obiettivo è aumentare modularità e trasparenza, con la possibilità di riesaminare a posteriori "quali documenti" e "quali passaggi" hanno portato alla risposta.

Queste linee non alterano la filosofia di base: ridurre la frizione informativa per chi decide sul territorio, tenendo insieme rapidità di consultazione, verificabilità delle fonti e chiarezza del processo. Man mano che si estenderanno il corpus e le integrazioni esterne, AIRAS potrà aumentare copertura e tempestività rimanendo aderente ai vincoli operativi del dominio.

5. Sperimentazione di AIRAS su scenari reali

5.1 Scopo, impostazione e perimetro

Obiettivo. Il presente lavoro si propone di dimostrare in che misura l'attuale implementazione di AIRAS sia in grado di assistere il decisore a livello locale nell'istituire un collegamento efficace tra la normativa vigente, i piani d'azione e i report post-evento. L'enfasi è posta sulla capacità del sistema di fornire risposte operative caratterizzate da un elevato grado di tracciabilità (con indicazione puntuale di documento e pagina), in grado di supportare l'azione amministrativa.

Metodologia. La sperimentazione è concepita attraverso l'integrazione sinergica di due componenti fondamentali:

- **L'interfaccia utente e le funzionalità** della nuova istanza realizzata per il Comune di Zola Predosa, utilizzata per l'illustrazione dettagliata della logica di funzionamento e dei flussi operativi dell'applicativo.
- **Le conversazioni storiche** generate durante la dimostrazione relativa all'evento di **Bardonecchia** (periodo luglio - agosto 2025), impiegate per la validazione della qualità delle risposte fornite in relazione a un evento reale e alle connesse azioni amministrative.

Motivazione della Metodologia (UI + Conversazioni Storiche). Il ricorso a una duplice fonte è giustificato dalla necessità di sfruttare i rispettivi punti di forza: l'istanza di Zola Predosa rappresenta la versione più avanzata in termini di esperienza utente (offrendo dashboard, gestione/visualizzazione documenti, pannello di citazioni e funzionalità di chat), mentre il corpus di Bardonecchia fornisce dialoghi preesistenti e ricchi di citazioni puntuali a livello di pagina.

Quest'ultime sono essenziali come "evidenze" concrete dell'output generato dall'agente su un caso operativo verificatosi. Questo approccio permette anche di testimoniare la creazione dell'istanza dedicata a Bardonecchia, nonostante la successiva mancata collaborazione.

Ambito Tecnico e Limitazioni. Le prove condotte sono rigorosamente allineate all'architettura delineata nel Capitolo 4. In questa fase di valutazione, AIRAS opera esclusivamente con un approccio MLLM (dove l'ingestione e l'indicizzazione documentale, basata su metadati, sono delegate al provider esterno), escludendo l'impiego della pipeline RAG su database vettoriale. La valutazione è quindi incentrata sulla qualità del ragionamento sul documento nella sua interezza, sull'accuratezza della tracciabilità delle fonti citate e sull'effettiva utilità operativa delle risposte fornite.

5.2 L'interfaccia dell'applicativo (istanza Zola Predosa)

La nuova UI presenta un flusso lineare: accesso → contesto operativo → consultazione documenti → interrogazione in linguaggio naturale con citazioni.

Login e accesso.

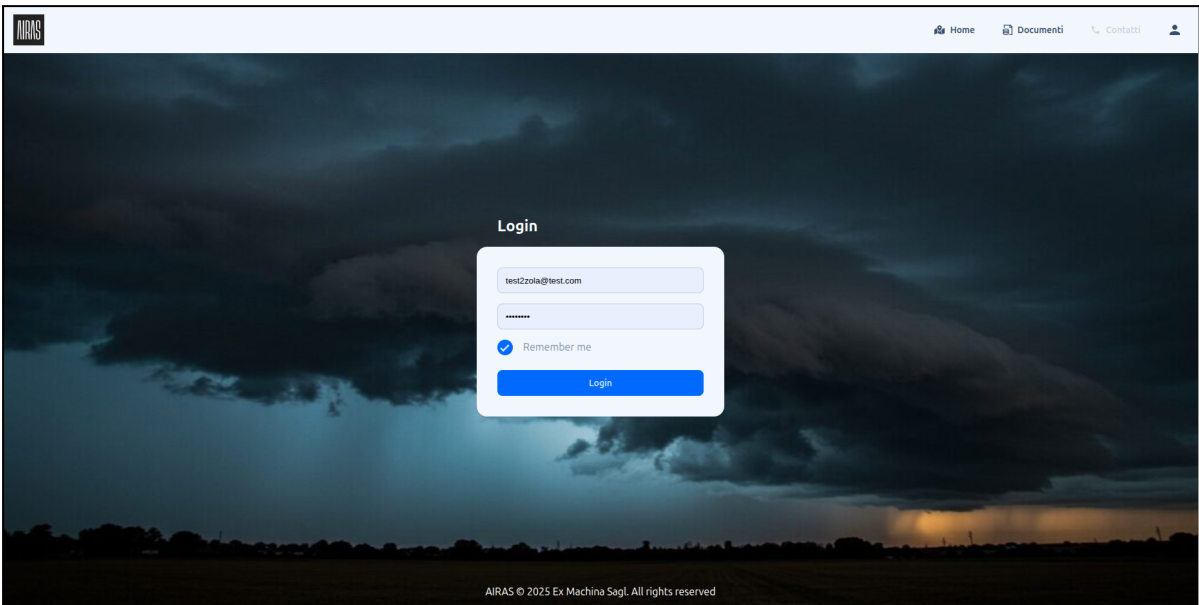


Figura 5.1 – Schermata di autenticazione.

Dashboard e contesto. La home mostra il **bollettino** regionale, il **colore di allerta**, una scheda di **fase operativa** (nessuna/attenzione/pre-allarme/allarme) e la **mappa dei presidi/sensori**. Questi elementi danno il quadro sintetico a supporto del primo orientamento decisionale.

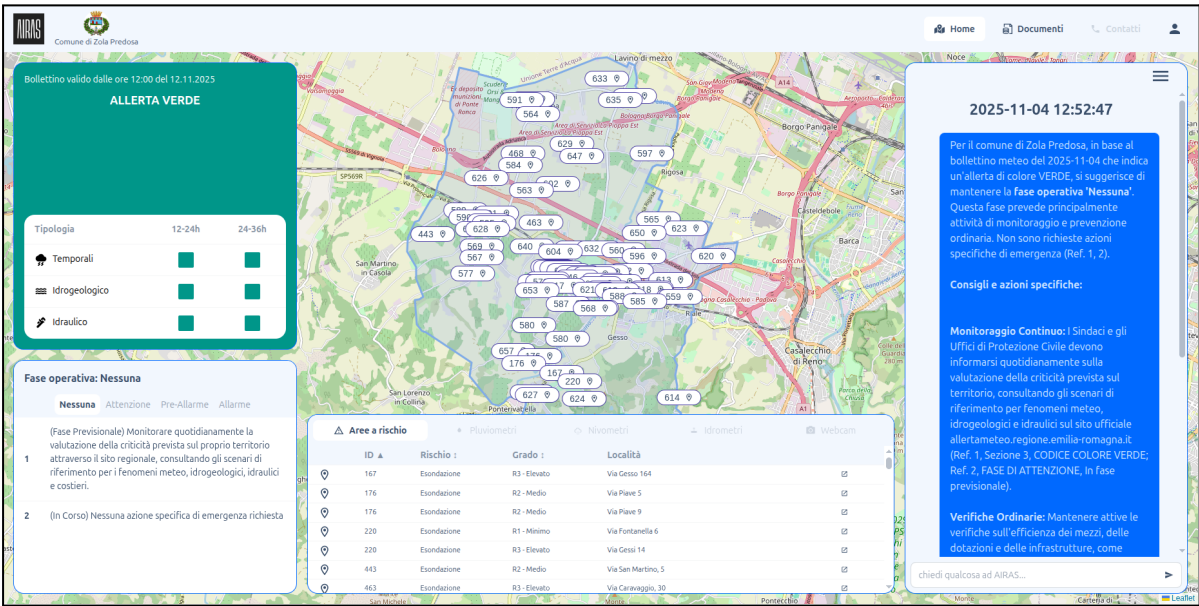


Figura 5.2 – Quadro operativo: bollettino, fase e presidi.

Ricerca/lettura dei documenti. Dal tab **Documenti** si accede alla lista, filtrabile per testo. Il lettore a destra espone metadati (luoghi, data, parole chiave) e un riquadro laterale con la **risposta dell'LLM** e le **citazioni** ai documenti con le pagine utilizzate.

AVAS Comune di Zola Predosa

Lista documenti

Cerca...

- 20250916153503_OS_2023_6.odt.pdf
- 20250916153521_OS_2023_7.odt.pdf**
- 20250916153532_OS_2023_8.odt.pdf
- 20250916154002_OS_2024_18.odt.pdf
- 20250916154012_OS_2024_19.odt.pdf
- 20250916154025_OS_2024_21.odt.pdf
- Evento 01-04 maggio 2023.pdf
- Evento 09-10 maggio 2023.pdf
- Evento 12-14 maggio 2023.pdf
- Evento 17-21 ottobre 2024 - report completo.pdf
- M185_AE_1_8.pdf
- M185_AE_1_9.pdf
- M185_AE_2_26.pdf
- M185_AE_2_27.pdf
- M185_AE_2_28.pdf
- M185_AE_2_29.pdf
- M185_AE_2_30.pdf
- M185_AE_2_31.pdf
- M185_AE_2_32.pdf
- M185_AE_2_33.pdf
- M185_AE_2_35.pdf

Ordinanza Sindacale

[Anteprima](#) [Scarica](#)

Luogo:
Zola Predosa

Altri luoghi:
Regione Emilia Romagna Bologna Bacini Romagnoli Reno Collina bolognese
Unione dei Comuni Reno Lavino Samoggia

Data:
2023-05-17

Parole chiave:
ordinanza chiusura scuole allerta rossa criticità idraulica criticità idrogeologica frane
alluvione Zola Predosa Protezione Civile maltempo

Riassunto:
Il Sindaco di Zola Predosa ha emesso l'ordinanza n. 7 del 16/05/2023 per la chiusura di nidi d'infanzia, scuole di ogni ordine e grado, e centri di aggregazione giovanile (Centro "Torrazza", Centro per bambini e famiglie, Ludoteca "La Ducentola") per la giornata di mercoledì 17 maggio 2023. La decisione è stata presa a seguito dell'allerta rossa per criticità idraulica ed idrogeologica diramata dalla Regione Emilia-Romagna (documento n. 062/2023 del 16/05/2023), valida dal 17/05/2023 al 18/05/2023. Si prevedono precipitazioni diffuse, piene dei corsi d'acqua (anche con livelli prossimi ai massimi storici sui bacini Romagnoli e affluenti di Reno), erosioni spondali, inondazioni e dissesti idrogeologici con frane e ruscamenti. La zona di allerta C2 Collina bolognese, a cui appartiene Zola Predosa, è interessata da criticità idraulica di colore rosso. L'ordinanza è motivata dalla necessità di prevenire pericoli per l'incolumità pubblica e la sicurezza urbana, anche considerando le difficoltà previste per la circolazione stradale. L'ordinanza ha efficacia dalla pubblicazione all'Albo Pretorio online fino alle ore 00:00 del 18 maggio 2023.

Figura 5.3 – Ricerca e selezione degli atti.



Comune di Zola Predosa

Scheda_658_ZOLA_PREDOSA.pdf

SEZ0_INTRODUZIONE.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB01_Inquadramento-Generale.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB02_Geomorfologia.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB03_Idrografia.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB04_Dissesto.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB05_Sismicità.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB06_Clima.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB07_Vegetazione.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB08_Insedimenti.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB09_Trasporti.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB10_Reti_Servizi.pdf

SEZ1_ANALISI-TERRITORIALE_SUB11_Patrimonio_culturale.pdf

SEZ3_ORGANIZZAZIONE-E-RISORSE.pdf

SEZ5_FORMAZIONE-INFORMAZIONE-ED-ESERCITAZIONI.pdf

SEZ6_ORGANIZZAZIONE-DEL-VOLONTARIATO.pdf

SR1.1_RG001_Frane_fenomeni_misti.pdf

SR2.1_RG001_Alluvioni.pdf

SR3.1_RG001_Criticità-idrogeologica-per-Temporali.pdf

Piano di Protezione Civile Intercomunale

Anteprima
Scarica

Luogo:

Unione Valli del Reno, Lavino e Samoggia

Altri luoghi:

Casalecchio di Reno Monte San Pietro Sasso Marconi Valsamoggia Zola Predosa Bazzano

Castello di Serravalle Crespellano Montevoglio Savigno Bologna Parma Marzabotto

Piacenza Cesena Carpi Imola Ravenna Ferrara

Data:

2023-08-27

Parole chiave:

Protezione Civile Analisi Territoriale Unione Valli del Reno Lavino e Samoggia Casalecchio di Reno

Monte San Pietro Sasso Marconi Valsamoggia Zola Predosa Idrografia Popolazione

Classificazione Sismica Servizi Essenziali

Riassunto:

Il documento è la Sezione 1 - Analisi Territoriale del Piano di Protezione Civile Intercomunale dell'Unione Valli del Reno, Lavino e Samoggia. Descrive l'inquadramento generale del territorio, fornendo dati demografici e altimetrici dei comuni membri (Casalecchio di Reno, Monte San Pietro, Sasso Marconi, Valsamoggia, Zola Predosa) con una popolazione totale di 112.998 abitanti su una superficie di 404,31 Km². La sezione elenca le principali fonti utilizzate, incluse quelle della Protezione Civile Nazionale, INGV, Geoportale Nazionale, ISPRA e ISTAT 2011, e dettagli le strutture di protezione civile locale (COC, Polizia Locale, Carabinieri, Vigili del Fuoco, Volontariato). Vengono inoltre riportati dati sui corsi d'acqua principali e minori di ciascun comune. Si menziona la classificazione sismica (Zona 3) e la zona di allertamento regionale (C2), nonché i gestori dei servizi essenziali (Enel, Terna, SNAM, Hera).

Figura 5.4 – Lettore: piano di protezione civile, metadati e citazioni.

5.3 Scenario di validazione: Bardonecchia

Ruolo simulato. Sindaco/COC che, in allerta arancione con possibile peggioramento a rossa, chiede informazioni per pianificazione e risposta rapida.

Traccia di domande. La conversazione è strutturata in blocchi: (1) contesto e analoghi recenti; (2) precipitazioni e livelli; (3) punti critici (strade/ponti/aree abitate); (4) evacuazioni/assistenza; (5) risorse mobilitate e carenze; (6) tempi di preavviso; (7) azioni immediate per arancione e differenze operative se rosso. L'LLM restituisce testi motivati con citazioni a pagina.

Per rendere il risultato verificabile, la sperimentazione ha seguito una traccia standard:

1. **Messaggio iniziale** con indicazione di colore allerta, finestra temporale e soglia di peggioramento.
2. **Domande mirate** che isolano un aspetto alla volta (pioggia/livelli; criticità stradali; evacuazioni; risorse; tempi di reazione; azioni per fase).
3. **Ancoraggio temporale:** ogni domanda ribadisce l'evento di riferimento per evitare contaminazioni tra casi storici.

Nelle successive pagine è riportata una selezione di schermate, con sintesi del contenuto operativo.

Figura 5.6.1 – Inquadramento: richiamo a eventi simili e punti da monitorare.

The screenshot displays a chat window with a light blue background. At the top, a blue speech bubble contains a user's message. Below it, a dark blue speech bubble contains the system's response. At the bottom, a white box lists four references. The chat interface includes timestamps for both messages and thumbs up/down icons at the bottom right.

User Message (Blue bubble):

Sono il sindaco di Bardonecchia. È stata emessa un'allerta arancione per rischio idrogeologico, con possibilità di peggioramento a rossa nelle prossime 12 ore. Le previsioni indicano circa 80 mm di pioggia distribuiti nell'arco di 24 ore, con precipitazioni diffuse sui bacini montani e sulle aree urbanizzate del fondovalle. Voglio capire se l'evento in arrivo presenta somiglianze con situazioni recenti che hanno colpito il territorio e quali elementi dovrei considerare per organizzarmi al meglio. Prendiamo come riferimento l'evento più recente

System Response (Dark blue bubble):

L'evento del 13 agosto 2023 ha visto precipitazioni a carattere temporalesco, localmente intense, interessare le zone alpine e pedemontane, con successiva colata detritica nel torrente Frejus, causando danni significativi all'abitato di Bardonecchia (Ref. 1, 3). Questo evento, come altri recenti, è stato caratterizzato da una rapida intensificazione delle precipitazioni e da danni significativi nonostante l'assenza di allerta specifica (Ref. 2).

Considerando l'imminente allerta, è fondamentale monitorare attentamente le aree critiche, inclusi i ponti sul Rio Gautier e la zona dei Camini, e la zona del bacino di contenimento a monte del conoide del Rio Fosse (Ref. 3). È essenziale, inoltre, rivedere e potenziare il piano di evacuazione, tenendo conto delle aree più vulnerabili e delle vie di fuga (Ref. 4).

Referenze

- 1) [allegato_2_dispaccio_protezione_civile.pdf - Pagina 2](#)
- 2) [allegato_2_dispaccio_protezione_civile.pdf - Pagina 3](#)
- 3) [allegato_2_dispaccio_protezione_civile.pdf - Pagina 7](#)
- 4) [allegato_2_dispaccio_protezione_civile.pdf - Pagina 9](#)

Timestamps: 29/07/2025 12:31:18 (User), 29/07/2025 12:31:51 (System)

L'interazione mostra come AIRAS sia in grado di contestualizzare rapidamente l'allerta corrente richiamando un evento di riferimento recente, la colata detritica del 13 agosto 2023, collegandolo allo scenario descritto dall'utente. Il sistema evidenzia elementi critici rilevanti e fornisce raccomandazioni operative coerenti con le linee guida nazionali.

Figura 5.6.2 – Inquadramento: richiamo a eventi simili e punti da monitorare.

simulazione_idraulico_2023

Sono il sindaco di Bardonecchia. È stata emessa un'allerta arancione per rischio idraulico, con possibilità di peggioramento a rossa nelle prossime 12 ore. Le previsioni indicano un innalzamento significativo dei livelli della Dora di Bardonecchia e dei suoi affluenti, con piogge diffuse di circa 70 mm nell'arco di 24 ore su bacini montani e fondovalle. Voglio capire se questa situazione è paragonabile a episodi recenti e quali elementi dovrei considerare per organizzare risorse e misure preventive.

29/07/2025 12:47:30

In base ai documenti forniti, eventi simili con colate detritiche si sono verificati a Bardonecchia, in particolare nel bacino del T. Frejus, in diverse occasioni (Ref. 1, 2, 3):

- * ****Eventi Recenti:****
 - * ****13 Agosto 2023:**** Una colata detritica ha colpito Bardonecchia, causando danni significativi e una vittima (Ref. 2, 4). Questo evento sembrava innescato in assenza di precipitazioni significative, ma è stato poi collegato a una cella temporalesca con precipitazioni stimate tra 25 e 30 mm (Ref. 1, 4). L'idrometro di Beaulard ha misurato un picco di 92 cm (Ref. 1). L'indice di severità della cella temporalesca era di livello 4 (Ref. 1). La colata ha provocato esondazioni e danni significativi a edifici, attività commerciali e infrastrutture (Ref. 2, 4).
 - * ****7 Agosto 2009:**** Evento temporalesco con colate detritiche nei bacini del T. Rochemolles e T. Frejus. Precipitazioni intense, stimate a circa 50 mm/h, hanno innescato colate detritiche (Ref. 5). L'idrometro di Beaulard ha registrato un picco (Ref. 5).
 - * ****6 Agosto 2004:**** Un temporale ha colpito Bardonecchia, causando una colata detritica con un totale di pioggia stimato tra 8 e 10 mm (Ref. 5). Questo evento ha causato danni significativi (Ref. 5).
- * ****Eventi Storici:****
 - * Eventi significativi di colata detritica sono stati registrati a partire dal 1914, con alta frequenza di accadimento, soprattutto in estate (Ref. 3).

Considerando questi episodi, è essenziale:

- * Monitorare attentamente i livelli della Dora e dei suoi affluenti, soprattutto Rio Frejus, Rochemolles e Merdovine.
- * Verificare le condizioni delle briglie selettive e delle altre opere di difesa idraulica, assicurandosi che siano libere da ostruzioni.
- * Predisporre piani di evacuazione per le aree a rischio, in particolare quelle identificate come zone rosse.
- * Informare la popolazione sui rischi e sulle procedure di emergenza.
- * Garantire la disponibilità di personale e mezzi per la gestione dell'emergenza.
- * In caso di forti precipitazioni, valutare la chiusura di strade e ponti a rischio esondazione

Referenze

L'agente risponde strutturando l'output in tre blocchi: elenco di eventi recenti/storici, sintesi conclusiva e lista di raccomandazioni operative. Richiama più episodi nel bacino del Frejus e li usa come quadro comparativo per lo scenario descritto dal "sindaco", mantenendo la coerenza con il tema del rischio idraulico e delle colate detritiche. La parte finale traduce le informazioni in indicazioni pratiche mostrando una buona capacità di trasformare il contesto storico in checklist decisionale.

Figura 5.7.1 – Quantità di pioggia, idrometri e tipologia di danni attesi.

Quanta pioggia era caduta e in quanto tempo durante quell'evento, e quali effetti principali si erano verificati (frane, allagamenti, interruzioni di viabilità)?

29/07/2025 12:32:37

Durante l'evento del 13 agosto 2023, si sono registrati circa 25-30 mm di pioggia nella parte alta del bacino del rio Fréjus (Ref. 1, 2). La colata detritica ha causato l'esondazione del torrente, danneggiando ponti e opere di difesa spondale, sommergendo auto e camper, e invadendo abitazioni, attività produttive e il Commissariato di Polizia (Ref. 3, 4).

Referenze

- 1) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf](#) - Pagina 5
- 2) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf](#) - Pagina 7
- 3) [allegato_2_dispaccio_protezione_civile.pdf](#) - Pagina 3
- 4) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf](#) - Pagina 11

29/07/2025 12:32:57

Quali strade, frazioni o infrastrutture del Comune erano risultate più critiche durante quell'evento?

29/07/2025 12:36:51

Durante l'evento del 13 agosto 2023, le zone più critiche a Bardonecchia includevano l'asta torrentizia del rio Frejus nel centro abitato, la zona della confluenza con la Dora di Melezet, e diverse vie come Via Modane, Via Medail, Via Einaudi e Piazza Europa (Ref. 1). In particolare, danni ingenti si sono verificati alla Caserma Saponara della Polizia di Stato in Viale della Vittoria (Ref. 2).

Referenze

- 1) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf](#) - Pagina 9
- 2) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf](#) - Pagina 11

29/07/2025 12:37:09

In questa interazione l'agente fornisce una risposta strutturata e coerente: quantifica le precipitazioni, descrive gli effetti principali (esondazione, danni a opere idrauliche, allagamenti di infrastrutture e attività produttive) e collega il tutto al contesto geografico del torrente Fréjus. La citazione di documenti con riferimenti puntuali a pagine specifiche ancora l'analisi al rapporto post evento presente nel dataset.

Nella seconda parte, l'agente dettaglia correttamente le aree urbane critiche del Comune, elencando vie, frazioni e punti sensibili colpiti, con un livello di granularità utile dal punto di vista operativo. L'organizzazione della risposta (quantificazione, effetti, localizzazione e fonti) risulta particolarmente efficace per un decisore locale che necessita di un quadro sintetico immediato.

Figura 5.7.2 – Precipitazioni e livelli idrometrici della Dora

Quanta pioggia era caduta e quali livelli avevano raggiunto la Dora e i principali affluenti durante quell'evento?

29/07/2025 12:56:16

Durante l'evento del 13 agosto 2023, la quantità totale di pioggia stimata al suolo nella testata del bacino del T. Frejus è stata di circa 25-30 mm (Ref. 1). Il pluviometro di Rochemolles ha registrato cumulate giornaliere non superiori ai 3,5 mm, con picchi orari di precipitazione uguali o inferiori a 1,5 mm (Ref. 2). L'idrometro di Beaulard (TO), installato sulla Dora di Bardonecchia, ha misurato un picco repentino di 0,92 m intorno alle 21:30 (Ref. 2). I sistemi radar meteorologici piemontesi hanno stimato intensità di precipitazione oraria massima pari a 55 mm/h alle 18:45 UTC (20:45 ora locale) (Ref. 3).

Referenze

- 1) [Rapporto_preliminare_d_evento_13ago2023pdf.pdf](#) - Pagina 14
- 2) [Rapporto_preliminare_d_evento_13ago2023pdf.pdf](#) - Pagina 15
- 3) [rapporto_temporali_20250630_n.pdf](#) - Pagina 7

29/07/2025 12:56:34

👍 🗨

Il contenuto restituisce una ricostruzione molto articolata della dinamica meteorologica e idrometrica dell'evento, combinando dati provenienti da strumenti diversi e collocandoli all'interno di una sequenza temporale coerente. Le precipitazioni vengono quantificate sia come cumulati complessivi sia come intensità orarie, con un riferimento puntuale alle stime radar che contribuisce a delineare l'evoluzione del fenomeno in tempo quasi reale. Particolarmente significativo è l'inserimento del picco idrometrico della Dora misurato a Beaulard, che permette di collegare direttamente la fase meteorica a una risposta idraulica osservata sul territorio. Nel complesso, la risposta riesce a integrare misure locali, stime modellistiche e orari dei picchi, offrendo un quadro che risulta immediatamente utile per valutare la rapidità dell'innescò e la pericolosità associata ai corsi d'acqua monitorati. Il riquadro delle referenze, infine, supporta la tracciabilità delle informazioni e rafforza la struttura documentale della sintesi.

Figura 5.8 – Localizzazione di strade/ponti sensibili e vie di evacuazione.

Quali strade, ponti o aree abitate erano risultate più vulnerabili o isolate (SS335, accessi a frazioni come Rochemolles o altre zone)?

29/07/2025 12:56:53

A seguito dell'esondazione del torrente Frejus/Merdovine e dei rii minori, diverse aree, strade e ponti a Bardonecchia sono risultati particolarmente vulnerabili o isolati (Ref. 1, 2, 3):

- * ****Vie di Evacuazione:**** Le vie Einaudi, Susa, Torino, Viale della Vittoria (in parte) e Piazza Europa sono state soggette ad evacuazione e divieto di transito (Ref. 1).
- * ****Ponti Chiusi:**** Diversi ponti sul torrente Merdovine sono stati chiusi al transito, tra cui il ponte incrocio Via Medail Alta/Viale Bramafam, il ponte incrocio Via Einaudi/Piazza De Gasperi, il ponte incrocio Via Montenero/Via Einaudi e il ponte incrocio Piazza Europa/Via Einaudi/Viale della Vittoria (Ref. 1).
- * ****Rochemolles:**** Il Rio San Michele nel Vallone di Rochemolles ha esondato, causando eventi franosi in loco, portando all'evacuazione e al divieto di campeggio libero sul lato destro orografico del Vallone di Rochemolles da Loc. Picreaux alla Frazione Rochemolles. La strada a monte della Frazione Rochemolles verso il Rifugio Scarfiotti è stata chiusa al traffico (Ref. 2).
- * ****SS335:**** A valle della confluenza con il T. di Rochemolles, la colata di fango e detriti ha invaso la SS 335, i piani terra e i seminterrati degli edifici limitrofi, box e cortili (tratto di via Susa n.civici 21-27) (Ref. 3).

Le ordinanze sindacali emesse a seguito degli eventi forniscono dettagli specifici sulle aree e sulle limitazioni imposte.

Referenze

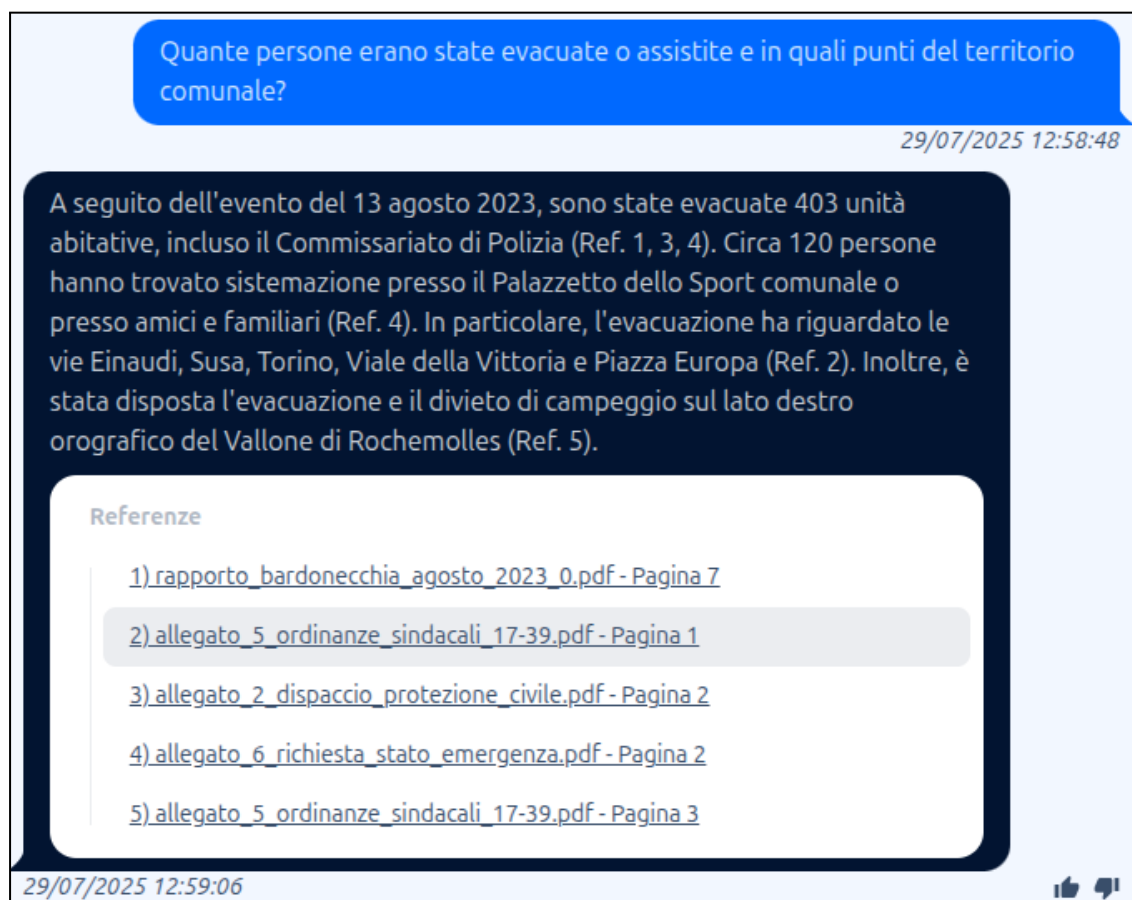
- [1\)allegato_5_ordinanze_sindacali_17-39.pdf - Pagina 1](#)
- [2\)allegato_5_ordinanze_sindacali_17-39.pdf - Pagina 3](#)
- [3\)allegato_5_ordinanze_sindacali_17-39.pdf - Pagina 23](#)

29/07/2025 12:57:13

La risposta dell'agente fornisce un quadro molto strutturato dei punti critici emersi durante l'esondazione del torrente Frejus/Merdovine e dei rii minori.

L'output suddivide le informazioni per categorie operative: vie soggette a evacuazione e interdizione, ponti chiusi o danneggiati e criticità specifiche nella zona di Rochemolles, inclusi fenomeni franosi e chiusure al traffico. Particolarmente utile la descrizione puntuale dei nodi infrastrutturali principali (incroci, vie e tratti stradali specificati), così come la ricognizione del tratto della SS335 interessato da colate detritiche e allagamenti. La chiusura rimanda alle ordinanze sindacali come fonte normativa locale.

Figura 5.9 – Stima unità abitative/persona e aree interessate da evacuazione.



La risposta dell'agente presenta un quadro numerico preciso delle evacuazioni, indicando 403 unità abitative coinvolte e specificando anche strutture pubbliche come il Commissariato di Polizia. Viene fornito il numero delle persone assistite, con la menzione del Palazzetto dello Sport come punto di accoglienza principale. L'elenco delle vie soggette a evacuazione riprende la stessa nomenclatura delle interazioni precedenti, mantenendo coerenza geografica e narrativa. Inoltre, la risposta cita le misure adottate a Rochemolles, come il divieto di campeggio, mostrando attenzione anche alle zone montane.

Figure 5.10 – Volontariato, corpi dello Stato, mezzi e presidi impiegati.

Quali risorse erano state attivate (volontari, mezzi, presidi) e quali si erano rivelate insufficienti o carenti?

29/07/2025 12:39:02

In risposta all'evento del 13 agosto 2023, sono stati attivati il Coordinamento Regionale del Volontariato di Protezione Civile, il Corpo A.I.B. e l'A.N.C. (Ref. 4). Il Volontariato è stato impegnato principalmente nel presidio del territorio, supporto alla gestione della viabilità, rimozione di fango e detriti, pulizia e lavaggio delle strade e assistenza alla popolazione (Ref. 4). Sono stati impiegati mezzi movimento terra, autocarri e cisterne (Ref. 5).

Il rapporto indica che la stima dei danni è ancora parziale (Ref. 1), suggerendo che le risorse disponibili potrebbero essere insufficienti a coprire tutti i fabbisogni. Inoltre, si menziona la necessità di ulteriori verifiche tecniche sui ponti e sulle tubazioni interrato (Ref. 5), il che potrebbe indicare una carenza di risorse specialistiche per queste attività.

Referenze

- 1) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf - Pagina 9](#)
- 2) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf - Pagina 10](#)
- 3) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf - Pagina 11](#)
- 4) [allegato_2_dispaccio_protezione_civile.pdf - Pagina 7](#)
- 5) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf - Pagina 14](#)

29/07/2025 12:39:12

In questa risposta la sintesi richiama gli aspetti più critici emersi nella documentazione, in particolare il fatto che la stima dei danni risulta ancora parziale e potrebbe rendere necessario un ulteriore impiego di risorse. Viene inoltre segnalata la presenza di attività tecniche pendenti, come le verifiche su ponti e tubazioni interrato, che suggeriscono una possibile carenza di mezzi specialistici o competenze dedicate. Questa seconda sezione mette quindi in luce non solo ciò che è stato attivato, ma anche ciò che potrebbe non essere sufficiente in caso di aggravamento dell'emergenza, concludendo con un riferimento puntuale ai documenti citati, utile a garantire la tracciabilità delle informazioni riportate.

Quali risorse erano state mobilitate (volontari, mezzi per arginature, presidi territoriali) e quali si erano rivelate insufficienti?

29/07/2025 13:02:32

In risposta all'evento del 13 agosto 2023, sono state mobilitate diverse risorse. Il Volontariato ha contribuito con il Coordinamento Regionale del Volontariato di Protezione Civile, il Corpo A.I.B. e l'A.N.C (Ref. 1). Nei giorni seguenti all'evento, sono state impegnate fino a 107 unità di volontariato (Ref. 1, 2). Inoltre, il Settore Protezione Civile Regionale ha contribuito con proprie attrezzature, materiali e mezzi, per un numero complessivo di 15 risorse, esclusi i veicoli ordinari (Ref. 1, 2). Sono stati coinvolti anche i Vigili del Fuoco, i Carabinieri, il Commissariato di Polizia, la Polizia di Frontiera, la Guardia di Finanza, il Consorzio Forestale Alta Val di Susa, il Soccorso Alpino, l'ANAS (Ref. 3). Durante l'emergenza, sono state evacuate 403 unità abitative, incluso il Commissariato di Polizia (Ref. 4). I documenti disponibili non specificano quali risorse si sono rivelate insufficienti.

Referenze

- 1) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf](#) - Pagina 7
- 2) [allegato_5_ordinanze_sindacali_17-39.pdf](#) - Pagina 10
- 3) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf](#) - Pagina 2
- 4) [allegato_5_ordinanze_sindacali_17-39.pdf](#) - Pagina 7

29/07/2025 13:03:12



La risposta evidenzia innanzitutto l'ampiezza della mobilitazione messa in campo durante l'evento, richiamando le diverse componenti del sistema di protezione civile attivate nelle prime fasi dell'emergenza. Viene sottolineato il ruolo del Coordinamento Regionale del Volontariato e delle principali associazioni coinvolte, le associazioni A.I.B. e A.N.C., oltre alla partecipazione delle forze dell'ordine e di altri soggetti istituzionali. Le attività svolte vengono descritte con un buon livello di dettaglio operativo: presidio dei punti sensibili, gestione della viabilità, rimozione di fango e detriti, interventi di pulizia e supporto diretto alla popolazione. La ricostruzione restituisce così un quadro immediato della complessità organizzativa richiesta nei momenti iniziali dell'evento.

La seconda parte evidenzia un aspetto rilevante: relativamente all'analisi delle risorse, non essendo espressa esplicitamente una mancanza all'interno del rapporto, il sistema reagisce positivamente alle istruzioni studiate per controllarne il comportamento ed evitarne allucinazioni e risponde segnalando tale mancanza.

Figura 5.11 – Intervalli stimati tra innesco e impatto in paese; attenzione ai fenomeni rapidi.

Rispetto a quell'evento storico, quanto tempo potrei avere prima che i principali punti critici (strade, ponti, aree abitate) diventino pericolosi?

29/07/2025 12:42:23

L'evento del 13 agosto 2023 a Bardonecchia si è sviluppato rapidamente, con un temporale che ha interessato la testata del rio Fréjus e una colata detritica che ha raggiunto l'abitato in un breve lasso di tempo (Ref. 1, 2, 3, 4). Considerato che, come riportato nel documento, le precipitazioni più intense si sono verificate tra le 18:30 UTC e le 19:30 UTC e che la colata ha raggiunto il paese intorno alle 21:00 - 21:30 (Ref. 1, 4), il tempo intercorso tra l'inizio delle precipitazioni intense e l'arrivo della colata in paese è stato di circa 2-3 ore. Tuttavia, il rapporto menziona che in base alle testimonianze dei residenti, il fenomeno si è verificato tra le ore 18 e le 20 (ora legale) ed è stato caratterizzato da alcune pulsazioni (Ref. 5), suggerendo che la situazione potrebbe evolvere rapidamente, con tempi di preavviso molto brevi.

Referenze

1) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf - Pagina 5](#)

2) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf - Pagina 3](#)

3) [rapporto_temporali_20250630_n.pdf - Pagina 7](#)

4) [allegato_2_dispaccio_protezione_civile.pdf - Pagina 3](#)

5) [rapporto_bardonecchia_agosto_2023_0.pdf - Pagina 13](#)

29/07/2025 12:42:42

La risposta ricostruisce con precisione la sequenza temporale dell'evento del 13 agosto 2023, evidenziando il carattere improvviso del fenomeno e l'esiguità del margine di preavviso. Le fasce orarie riportate (precipitazioni intense tra 18:30–19:30 UTC e arrivo della colata intorno alle 21:00–21:30) permettono di stimare un intervallo di circa 2–3 ore tra l'inizio dei fenomeni significativi e l'impatto sull'abitato. Viene inoltre aggiunta una nota rilevante: alcune testimonianze indicano variazioni tra le 18 e le 20 (ora legale), suggerendo pulsazioni del fenomeno e tempi di reazione ancora più ristretti. Il messaggio complessivo che emerge è che situazioni simili possono evolvere rapidamente, lasciando un margine operativo molto limitato. Il riquadro delle referenze mantiene la tracciabilità delle fonti citate.

39

Figura 5.12 – Attivazione flussi informativi, verifica procedure, informazione popolazione

Quali azioni immediate devo attivare come sindaco per l'allerta arancione, considerando il rischio di peggioramento a rossa?

29/07/2025 12:43:48

In caso di allerta arancione con possibile evoluzione a rossa, il Piano Intercomunale di Protezione Civile prevede l'attivazione di specifiche procedure. È fondamentale attivare il flusso delle informazioni, verificare le procedure di pianificazione e informare la popolazione (Ref. 1, 2). Il Sindaco deve assicurare il contatto con l'Ufficio comunale di Protezione Civile e gli altri enti, valutando l'opportunità di chiudere le scuole e annullare manifestazioni pubbliche (Ref. 3, 4).

Referenze

- 1) [4-Procedure_COC_AltaValleSusa.pdf - Pagina 7](#)
- 2) [4-Procedure_COC_AltaValleSusa.pdf - Pagina 11](#)
- 3) [4-Procedure_COC_AltaValleSusa.pdf - Pagina 11](#)
- 4) [4-Procedure_COC_AltaValleSusa.pdf - Pagina 15](#)

29/07/2025 12:44:03

Se l'allerta dovesse diventare rossa, quali differenze operative dovrei applicare rispetto alla fase attuale (coordinamento, evacuazioni, attivazione di strutture sovracomunali)?

29/07/2025 12:45:29

In caso di passaggio all'allerta rossa, si entra nella fase di preallarme, che prevede l'attivazione del Centro Operativo Comunale (C.O.C.), anche in forma ristretta, e il coordinamento delle prime azioni di gestione dell'emergenza (Ref. 1). Sarà necessario richiedere l'attivazione del C.O.C. convocando soltanto i responsabili delle funzioni dell'Unità di Crisi ritenuti necessari e valutare l'evacuazione degli edifici ubicati in aree a rischio (Ref. 2).

Referenze

- 1) [4-Procedure_COC_AltaValleSusa.pdf - Pagina 12](#)
- 2) [4-Procedure_COC_AltaValleSusa.pdf - Pagina 15](#)

29/07/2025 12:45:41

Le risposte sintetizzano in modo efficace le misure operative previste per il livello arancione e per la possibile evoluzione a rosso, richiamando direttamente le procedure del Piano Intercomunale. Per l'allerta arancione vengono evidenziate attività centrali come l'attivazione dei flussi informativi, la verifica delle procedure pianificate, il contatto costante con gli uffici di Protezione Civile e la valutazione di misure precauzionali quali chiusure scolastiche o annullamento di eventi pubblici.

Nel caso di passaggio all'allerta rossa, la descrizione si concentra sull'innalzamento del dispositivo operativo, in particolare attraverso l'attivazione del Centro Operativo Comunale e

la convocazione delle funzioni dell'Unità di Crisi. Viene inoltre sottolineata la necessità di valutare eventuali evacuazioni nelle aree maggiormente esposte. In entrambi i blocchi, il riquadro delle referenze rimanda alle procedure COC, garantendo coerenza con la documentazione citata.

5.4 Risultati osservati (qualitativi)

Le evidenze raccolte durante la sessione di prova consentono di delineare un primo quadro qualitativo delle prestazioni del sistema, utile per comprendere in che misura l'approccio MLLM-based di AIRAS possa fornire un supporto operativo credibile nel contesto dei sistemi di allertamento.

Aderenza documentale

L'aspetto più rilevante emerso riguarda la capacità del modello di mantenere un ancoraggio costante ai documenti realmente presenti nell'indice. Le risposte prodotte durante la sperimentazione riportano citazioni puntuali a documenti comunali, ordinanze, report post-evento e sezioni specifiche dei piani di protezione civile. La citazione include, quando disponibile, la pagina precisa, permettendo di verificare immediatamente la correttezza del passaggio senza dover ricostruire il riferimento manualmente.

Questa caratteristica – resa possibile dall'indicizzazione a metadati implementata in AIRAS – riduce in modo significativo l'ambiguità interpretativa e permette al decisore di validare rapidamente l'informazione, condizione imprescindibile nel contesto operativo dei Centri Funzionali e dei COC.

Utilità operativa

Le risposte del modello mostrano una propensione naturale alla sintesi dell'informazione in una forma direttamente orientata alla decisione. Quando interrogato su scenari potenzialmente critici, il sistema restituisce elementi ricorrenti della valutazione operativa:

- ordini di grandezza rilevanti (intensità di pioggia, picchi idrometrici, soglie superate);
- localizzazione dei punti sensibili, come tratti stradali esposti, ponti, vie di fondovalle e zone depresse, estratti dai documenti locali;
- stima qualitativa delle ricadute: possibili evacuazioni, necessità di spazi di accoglienza, potenziale impatto sulla viabilità;
- azioni compatibili con la fase operativa attivata o da attivare, con richiami espliciti alle procedure regionali.

Nelle situazioni caratterizzate da fenomeni rapidi (colate detritiche, esondazioni improvvise, flash flood), il sistema evidenzia correttamente la brevità del preavviso e suggerisce un rafforzamento del monitoraggio locale, in linea con quanto previsto dalle fasi operative e dalle buone pratiche riportate nei documenti tecnici regionali. È un elemento che, pur non sostituendosi al previsore, aiuta l'operatore a non perdere il focus sui tempi caratteristici dell'evento.

Coerenza norme-fasi

Alla richiesta di correlare livelli di criticità, allerta e fasi operative, AIRAS dimostra di saper distinguere correttamente i piani: ricorda che l'allerta cromatica è un'informazione tecnico-previsionale, mentre la fase operativa è un atto amministrativo. Il sistema sottolinea che il passaggio a preallarme o allarme non avviene automaticamente e dipende dalla

valutazione dell'ente competente e dal contesto locale. Questa distinzione, spesso fraintesa anche nella comunicazione ordinaria, viene mantenuta con coerenza nelle risposte, rafforzando la robustezza dell'output dal punto di vista metodologico.

5.5 Limiti emersi, note d'uso ed evidenze

L'analisi qualitativa mette in luce anche alcuni limiti strutturali dell'attuale prototipo e suggerisce linee guida d'uso che permettono di sfruttarne al meglio il potenziale senza attribuirgli capacità che, allo stato attuale, non possiede.

Eterogeneità dei dati

I documenti regionali e comunali utilizzati durante la prova presentano formati e metriche molto diverse: alcune schede usano il numero di unità abitative come proxy dell'esposizione, altre riportano popolazione residente, altre ancora classificano le aree in base alle superfici interessate o alla presenza di infrastrutture critiche. Questa varietà, ereditata dalla natura eterogenea delle fonti, può creare difficoltà al modello, che occasionalmente restituisce stime qualitative senza poter uniformare con certezza l'unità di misura. Nasce da questo la necessità emersa più volte durante la prova di specificare sempre l'unità di riferimento e l'istante temporale dei dati richiesti, per evitare ambiguità.

Limite di citazioni per risposta

Un secondo limite osservato riguarda il numero massimo pratico di riferimenti che il sistema inserisce in una singola risposta. Quando l'input richiede di integrare molte sezioni di documenti diversi, il modello tende a selezionare solo i riferimenti più informativi, lasciando fuori quelli marginali. È una conseguenza del meccanismo di generazione e del bilanciamento tra lunghezza della risposta e leggibilità. Per superare questo vincolo, la strategia più efficace è quella di suddividere la richiesta in micro-passi, ottenendo risposte più dense e con una granularità delle fonti più alta.

Buone pratiche d'uso

Questi limiti non riducono la validità della prova, ma definiscono una serie di raccomandazioni per l'utilizzo operativo del sistema:

- Formulare domande specifiche, evitando quesiti troppo ampi;
- Ancorare la domanda a un intervallo temporale (evento passato, giorno di validità dell'allerta, fase operativa in corso);
- Mantenere sessioni brevi e progressive, evitando thread troppo lunghi;

Seguendo queste buone pratiche, la qualità e la tracciabilità delle risposte migliorano in maniera sensibile, riducendo i rischi di interpretazione e facilitando l'utilizzo operativo.

Evidenze complessive

Le prove qualitative raccolte mostrano che l'approccio MLLM adottato da AIRAS consente di organizzare e rendere fruibile un patrimonio documentale complesso in modo più rapido e coerente rispetto agli strumenti abitualmente disponibili agli enti locali. Il sistema riesce a mettere in relazione atti locali, indirizzi operativi e contenuti tecnici, generando risposte strutturate e immediatamente utilizzabili nelle fasi di analisi e preparazione. Le informazioni restituite (punti critici, stime quantitative, riferimenti normativi e operativi, livelli idrometrici) risultano contestuali allo scenario e utili a chi deve mantenere il quadro della situazione in tempi ridotti.

In parallelo, AIRAS dimostra di saper valorizzare elementi di contesto spesso trascurati nei normali processi decisionali: la rapidità evolutiva dei fenomeni, la diversa natura dei rischi e le dipendenze operative tra le funzioni comunali coinvolte. Il sistema supporta in modo concreto la fase istruttoria e la lettura dei documenti, agevolando la continuità informativa anche in presenza di competenze eterogenee.

Nel complesso, per un prototipo ancora in fase di sviluppo, i risultati sono significativi: AIRAS mostra di poter ridurre il carico cognitivo associato alla consultazione di documenti eterogenei, migliorare l'accesso alle informazioni rilevanti e adattarsi a contesti operativi differenti, dal livello comunale a quello regionale.

Prospettive

Le potenzialità individuate aprono scenari applicativi che vanno oltre le funzionalità attualmente disponibili. La complessità del sistema di allertamento nazionale e la natura multisorgente delle informazioni operative suggeriscono evoluzioni che includono un'integrazione più profonda con le piattaforme e i flussi già in uso presso gli attori istituzionali.

- Per i **Centri Funzionali Decentrati**, AIRAS potrebbe diventare un supporto alla consultazione comparativa degli eventi, consentendo un accesso immediato ai documenti prodotti nel tempo e facilitando l'analisi degli effetti al suolo.
- Per il **Centro Funzionale Centrale**, lo strumento potrebbe contribuire alla costruzione di overview sovraregionali, utili alla definizione di linee guida e al consolidamento di buone pratiche.
- Per le **autorità comunali**, AIRAS rappresenta un'opportunità per integrare memorie locali, informazioni non strutturate e dati di monitoraggio, traducendoli in un quadro operativo coerente con le esigenze del territorio.

Mentre dal punto di vista strettamente tecnologico, AIRAS rappresenta una base su cui costruire sistemi molto più avanzati sfruttando le evoluzioni più recenti dell'intelligenza artificiale. L'architettura attuale, fondata su pipeline di parsing, indicizzazione e modelli linguistici, può evolvere verso soluzioni multi-agente, in cui modelli specializzati collaborano per suddividere compiti complessi. L'integrazione di modelli LLM sempre più verticali, addestrati su domini specifici, permetterebbe al sistema di acquisire capacità di reasoning più robuste e controllabili, mentre l'adozione di modelli generativi strutturati aprirebbe la strada a funzionalità come il problem-solving guidato, la verifica automatica delle informazioni e l'esecuzione controllata di procedure.

Queste traiettorie evolutive, unite alla progressiva maturità dei modelli linguistici e alla crescente disponibilità di dati territoriali, delineano un percorso di sviluppo che accompagnerà naturalmente le riflessioni più ampie presentate nelle conclusioni.

6. Conclusioni

Il presente lavoro ha analizzato uno dei punti più delicati della gestione del rischio in Italia: la capacità del sistema di protezione civile di interpretare segnali complessi, trasformarli in decisioni tempestive e garantire una risposta coordinata in un contesto climatico che evolve più rapidamente della nostra capacità istituzionale di adattamento. Gli ultimi anni hanno dimostrato come il cambiamento climatico non sia un fenomeno futuro, ma una pressione costante che amplifica fragilità note del territorio, rende più frequenti i fenomeni estremi e accelera la dinamica degli eventi meteo-idrogeologici. In questo scenario, la tecnologia non è un semplice supporto operativo, ma un elemento necessario per mantenere un adeguato livello di sicurezza pubblica.

L'analisi condotta nei primi capitoli ha evidenziato come il sistema di allertamento italiano sia solido nella sua architettura istituzionale, ma allo stesso tempo complesso, eterogeneo e caratterizzato da una forte frammentazione dei flussi informativi. Bollettini, normative, mappe di rischio, report post-evento e piani comunali rappresentano una ricchezza informativa notevole, ma difficilmente valorizzabile nei tempi decisionali richiesti da eventi che possono evolvere nell'arco di poche ore o minuti. È proprio in questa distanza tra conoscenza disponibile e conoscenza utilizzabile che si inserisce la motivazione progettuale di AIRAS.

Il prototipo AIRAS, sviluppato con il framework Cosmo42 e alimentato da documenti ufficiali eterogenei, dimostra che un sistema basato su modelli linguistici può diventare non solo uno strumento di consultazione avanzata, ma un vero e proprio mediatore informativo. L'approccio adottato – ingestione strutturata, indicizzazione semantica, rappresentazione unificata dei contenuti e interazione conversazionale – permette di superare alcune delle inefficienze più marcate dell'AS-IS: la dispersione documentale, la difficoltà di navigare normative e piani complessi, la mancanza di sintesi contestualizzate durante situazioni di pressione operativa.

Tuttavia, la sperimentazione condotta, necessariamente parziale a causa dell'assenza di un test formale con enti locali, mostra anche quali siano oggi i principali limiti operativi del prototipo. AIRAS rimane infatti in una fase preliminare: non ha ancora un ruolo consolidato nei flussi istituzionali, non ha affrontato un ciclo completo di validazione sul campo e richiede un ulteriore sforzo di integrazione con i sistemi e le banche dati realmente utilizzati nella gestione delle allerte. In particolare, l'interoperabilità con piattaforme regionali, reti di monitoraggio, sistemi cartografici, repository documentali e modelli previsionali rappresenta la condizione necessaria per trasformare lo strumento da dimostratore tecnologico a componente effettiva del processo decisionale. La maturità crescente dei modelli linguistici riduce molte delle criticità tradizionalmente associate alla qualità dell'output, ma resta indispensabile garantire che AIRAS operi all'interno di un ecosistema informativo completo e aggiornato, capace di alimentarlo in modo continuo e coerente.

Nonostante questi limiti, il potenziale emerso è significativo. AIRAS evidenzia come i modelli linguistici possano supportare in modo concreto chi deve prendere decisioni difficili in tempi

rapidi, soprattutto nei contesti comunali dove le risorse tecniche sono spesso limitate. La capacità di confrontare eventi passati, estrarre procedure da documenti complessi, sintetizzare bollettini e mettere in relazione informazioni provenienti da fonti diverse apre la strada a un nuovo modo di concepire il supporto decisionale in protezione civile.

L'esperienza del caso studio con Regione Piemonte e Comune di Bardonecchia ha confermato l'interesse verso strumenti di questo tipo e ha messo in luce l'importanza della collaborazione tra enti istituzionali, centri di ricerca e realtà tecnologiche. A questo primo segnale si aggiungono le attività avviate con la Regione Emilia-Romagna e il Comune di Zola Predosa, che rappresentano una naturale prosecuzione del percorso e testimoniano un interesse crescente verso soluzioni capaci di integrare e valorizzare l'enorme patrimonio informativo già presente nei sistemi regionali. Perché sistemi come AIRAS possano consolidarsi, serve un percorso strutturato di coinvolgimento degli utenti finali, con cicli iterativi di sperimentazione, feedback e miglioramento continuo.

Un aspetto rilevante emerso nel corso dello sviluppo e della sperimentazione di AIRAS è che la sua architettura, basata su ingestione massiva di documenti, indicizzazione semantica e interfaccia conversazionale, non è intrinsecamente vincolata al dominio idro-meteo. Questo approccio sarebbe trasferibile anche a contesti diversi, come la gestione di emergenze legate a incendi boschivi, crisi ambientali, eventi industriali, o altri fenomeni naturali o antropici che implicano grandi quantità di dati, report e piani operativi.

Guardando al futuro, la traiettoria evolutiva più rilevante riguarda la capacità di connettere sistemi oggi separati: modelli numerici, piattaforme di monitoraggio, archivi documentali e strumenti decisionali. L'impiego di modelli predittivi avanzati, già in sviluppo presso centri di ricerca internazionali e aziende tecnologiche, rende possibile immaginare un'integrazione in cui AIRAS non si limita a mediare informazioni, ma diventa un nodo attivo della catena di valutazione del rischio, capace di collegare osservazioni, previsioni e procedure. Il punto non è ribadire principi ormai acquisiti, ma riconoscere che il valore futuro dello strumento dipenderà dalla sua capacità di inserirsi in infrastrutture informative complesse, dialogare con i sistemi esistenti e restituire conoscenza operativa in modo tempestivo e coerente con le esigenze del territorio. Solo così l'IA potrà diventare un alleato credibile e sicuro nel rafforzare la resilienza delle comunità di fronte ai rischi climatici del presente e del futuro.

Bibliografia

Legambiente / Osservatorio CittàClima / Protezione Civile – Normativa e Documenti ufficiali / Centri Funzionali e Rischio Meteo-Idro / ARPAE / Ecoscienza

- Legambiente. (2017). *Rapporto CittàClima 2017*. Osservatorio CittàClima.
- Legambiente. (2023). *Rapporto CittàClima 2023 – Alluvioni*. Osservatorio CittàClima.
- Legambiente. (2024). *CittàClima 2024: Bilancio degli eventi estremi in Italia*. Osservatorio CittàClima.

- Dipartimento della Protezione Civile. (2004). *Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 febbraio 2004: indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale per il rischio idrogeologico e idraulico ai fini di protezione civile*. Roma: Presidenza del Consiglio dei Ministri.
- Dipartimento della Protezione Civile. (2018). *Codice della Protezione Civile – Decreto legislativo 2 gennaio 2018, n. 1*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana.
- Dipartimento della Protezione Civile. (s.d.). *Allegato 1 – Livelli di criticità e scenari di evento*. Roma: DPC.
- Dipartimento della Protezione Civile. (s.d.). *Allegato 2 – Fasi operative*. Roma: DPC.
- Dipartimento della Protezione Civile. (s.d.). *Documenti di allertamento adottati a livello regionale*. Roma: DPC.
- Dipartimento della Protezione Civile. (s.d.). *Centro Funzionale Centrale: struttura e compiti*. Roma: DPC.
- Dipartimento della Protezione Civile. (s.d.). *Rischio meteo-idro: documenti e linee guida*. Roma: DPC.
- Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna. (2024). *Prospettive dell'intelligenza artificiale applicata alla meteorologia*. *Ecoscienza*, 4/2024.

Ex Machina / Cosmo42 / AIRAS

- Ex Machina. (2023). *AIRAS: Artificial Intelligence for Risk Assessment System*. Comunicato stampa.
- Ex Machina. (2023). *Cosmo42: framework per sistemi AI distribuiti*. Scheda tecnica.
- Gazzetta di Bologna. (2023, novembre). *AIRAS, l'IA che aiuta la Protezione Civile*.
- Il Messaggero. (2023, dicembre). *Emergenze meteo: nasce AIRAS, progetto di Ex Machina e CINECA*.

Fonti accademiche

- Kadiyala, L. A., Mermer, O., Samuel, D. J., Sermet, Y., & Demir, I. (2024). The implementation of multimodal large language models for hydrological applications: A comparative study of GPT-4 Vision, Gemini, LLaVA, and Multimodal-GPT. *Hydrology*, 11(9), 148. <https://doi.org/10.3390/hydrology11090148>
- Kizilkaya, D., Sajja, R., Sermet, Y., & Demir, I. (2025). Toward HydroLLM: A benchmark dataset for hydrology-specific knowledge assessment for large language

models. Environmental Data Science, 4, e31. <https://doi.org/10.1017/eds.2025.10006>

- Polverini, C. (2019). *L'intelligenza artificiale a supporto della Protezione Civile: un caso di studio sull'uso di modelli generativi e sistemi RAG* [Tesi di Master di II livello]. Università di Bologna.
- Ren, Y., Zhang, T., Dong, X., Li, W., Wang, Z., He, J., Zhang, H., & Jiao, L. (2024). WaterGPT: Training a large language model to become a hydrology expert. Water, 16(21), 3075. <https://doi.org/10.3390/w16213075>
- Sajja, R., Sermet, Y., & Demir, I. (2025). Domain-specific embedding models for hydrology and environmental sciences: Enhancing semantic retrieval and question answering in RAG pipelines. EarthArXiv. <https://doi.org/10.31223/X5DQ71>
- Xie, Y., Jiang, B., Mallick, T., Bergerson, J., Hutchison, J. K., Verner, D. R., Branham, J., Alexander, M. R., Ross, R. B., Feng, Y., Levy, L.-A., Su, W. J., ... Taylor, C. J. (2025). MARSHA: Multi-agent RAG system for hazard adaptation. npj Climate Action, 4, 70. <https://doi.org/10.1038/s44168-025-00254-1>

Riferimenti normativi e istituzionali - appendice 1

- Dipartimento della Protezione Civile. (2018, 2 gennaio). *Decreto Legislativo 1/2018 – Codice della protezione civile*. Gazzetta Ufficiale, n. 17. <https://www.protezionecivile.gov.it/it/normativa/decreto-legislativo-n-1-del-2-gennaio-2018--codice-della-protezione-civile/> :contentReference[oaicite:0]{index=0}
- Dipartimento della Protezione Civile. (s.d.). *Il Codice della Protezione Civile*. Servizio Nazionale della Protezione Civile. <https://servizio-nazionale.protezionecivile.gov.it/it/pagina-base/il-codice-della-protezione-civile/> :contentReference[oaicite:1]{index=1}
- Dipartimento della Protezione Civile. (s.d.). *Centro Funzionale Centrale per il rischio meteo-idrogeologico e idraulico*. Protezione Civile — Sezione Rischi. <https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/meteo-idro/attivita/centro-funzionale-centrale/> :contentReference[oaicite:2]{index=2}
- Dipartimento della Protezione Civile. (s.d.). *Documenti prodotti dal Centro Funzionale Centrale e dai Centri Funzionali Decentrati*. Protezione Civile. <https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/documenti-prodotti-dal-centro-funzionale-centrale-e-dai-centri-funzionali-decentrati/> :contentReference[oaicite:3]{index=3}
- Prefettura - U.T.G. (2024). *Vademecum di Protezione Civile*. https://prefettura.interno.gov.it/sites/default/files/11/2024-09/vademecum_di_protezione_civile_0.pdf :contentReference[oaicite:4]{index=4}
- Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile. (s.d.). *Allegato 2 – Fasi operative del sistema di allertamento*.

7. Appendice 1: Ruoli e responsabilità degli attori istituzionali

Il Sistema di Allertamento Meteo-Idrogeologico si articola su più livelli di governo, ciascuno con compiti ben delineati, in coerenza con la struttura del Servizio Nazionale della Protezione Civile. La governance del sistema prevede un ruolo centrale di coordinamento nazionale, un livello regionale deputato alla valutazione tecnica e all'attivazione sul territorio, e infine il livello locale, dove si concretizzano le azioni di protezione civile a diretto contatto con la popolazione. Inoltre, vi sono attori di supporto tecnico-scientifico che contribuiscono a potenziare il sistema.

A livello centrale, il Dipartimento della Protezione Civile (DPC), presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri, è l'ente di riferimento che garantisce l'indirizzo unitario e il coordinamento generale in materia di allerte e gestione delle emergenze. Il DPC, attraverso la sua Presidenza e le sue strutture operative, emana le direttive nazionali (come la citata Direttiva 2004) e assicura la funzionalità della rete di allertamento sull'intero territorio nazionale, in collaborazione con le Regioni. Presso il DPC ha sede il Centro Funzionale Centrale (CFC) per il rischio meteo-idrogeologico e idraulico, che rappresenta il nodo centrale della rete tecnica di monitoraggio e previsione. Il CFC opera 24 ore su 24 tutti i giorni dell'anno e svolge sia attività previsionali sia attività di sorveglianza in tempo reale degli eventi sul territorio nazionale. Esso raccoglie e integra i dati provenienti da molteplici fonti: reti pluviometriche e idrometriche, radar meteorologici, immagini satellitari, dati geologici e modelli di monitoraggio di frane. Sulla base di questa mole di informazioni, il Centro Funzionale Centrale elabora scenari di rischio attesi su scala nazionale, valutando quali effetti al suolo potrebbero derivare dagli eventi meteorologici previsti. In funzione di tali valutazioni tecniche, il CFC predispone e pubblica quotidianamente il Bollettino nazionale di Vigilanza Meteorologica (come si vedrà oltre) e, qualora siano attesi fenomeni di particolare intensità su vasta scala, emette specifici Avvisi meteo nazionali in accordo con i Centri Funzionali regionali. Il CFC svolge inoltre un ruolo di supplenza e supporto nei confronti dei Centri Funzionali Decentrati: in base al principio di sussidiarietà, se una Regione non è dotata del proprio Centro Funzionale (o questo è temporaneamente inattivo), sarà il Centro Funzionale Centrale ad assumere tutti i compiti operativi di previsione e sorveglianza per quella regione. In tal modo viene garantita la continuità del servizio di allertamento su tutto il territorio nazionale, anche in caso di indisponibilità locale di strutture tecniche. Accanto al CFC e al Dipartimento, si collocano i Centri di Competenza, ovvero enti, agenzie e istituti di ricerca con elevate competenze tecnico-scientifiche in specifici ambiti (ad esempio centri universitari di meteorologia, idrologia, geologia, ecc.). Essi forniscono dati, studi ed elaborazioni specialistiche che aiutano ad affinare le previsioni e le valutazioni di rischio, spesso tramite convenzioni di collaborazione con il Dipartimento. Pur non avendo responsabilità decisionali, i Centri di Competenza rappresentano una componente importante nel rafforzamento della capacità previsionale e nell'innovazione degli strumenti di monitoraggio.

A livello regionale, il fulcro del sistema è costituito dai Centri Funzionali Decentrati (CFD) operativi presso ciascuna Regione o Provincia Autonoma. I CFD (chiamati talvolta Centri

Funzionali Regionali, CFR) sono le strutture tecnico-operative incaricate di svolgere, sul territorio di competenza, le attività di previsione e sorveglianza h24 in stretto raccordo con il Centro Funzionale Centrale. Spesso i Centri Funzionali regionali sono incardinati presso agenzie regionali specializzate (come le ARPA, Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale) o presso le stesse strutture di protezione civile regionale. Il compito principale del CFD è di raccogliere i dati locali (dalle reti di monitoraggio meteorologico-idrologico regionali) e di integrarli con i dati e i modelli nazionali forniti dal CFC, così da effettuare una valutazione puntuale delle criticità attese sul proprio territorio. Ogni Centro Funzionale Regionale elabora quindi scenari probabili degli effetti al suolo (allagamenti, piene fluviali, frane) a partire dalle previsioni meteo, utilizzando modelli idrologici e idrogeologici tarati sulla realtà locale. Sulla base di queste analisi, il CFD emette bollettini e avvisi per la propria Regione, nei quali descrive l'evoluzione prevista dei fenomeni e indica i livelli di criticità (colori di allerta) attesi nelle diverse zone di allerta regionali. Si tratta in particolare del Bollettino di Vigilanza/Previsione locale e soprattutto del Bollettino di valutazione delle criticità, il documento che quotidianamente, o più volte al giorno in caso di necessità, traduce le previsioni in indicazioni di rischio per area (dettagliato più avanti). Qualora dal bollettino emerga la possibilità di fenomeni intensi (criticità almeno moderata/arancione), il Centro Funzionale propone l'attivazione dello stato di allerta. La decisione finale sull'adozione dell'allerta spetta però all'Autorità di protezione civile regionale. All'interno dell'organizzazione di ogni Regione esiste infatti una struttura (Servizio o Agenzia di Protezione Civile regionale) responsabile della dichiarazione ufficiale dello stato di allerta sul territorio. Tipicamente, questa funzione è svolta dalla già menzionata Sala Operativa regionale, spesso in coordinamento con la direzione politica regionale (l'Assessore o il dirigente competente). In pratica, ricevuto il Bollettino di criticità dal Centro Funzionale, la Protezione Civile regionale valuta le indicazioni fornite e adotta formalmente lo stato di allerta corrispondente, emanando un messaggio di allertamento destinato agli enti locali. È importante sottolineare che, in casi particolari, la Regione può adottare decisioni anche in parziale difformità rispetto alla valutazione tecnica del Centro Funzionale: ad esempio, se ritiene che certe condizioni localmente richiedano maggiore prudenza, può dichiarare un'allerta di livello più alto di quello suggerito (o viceversa, modulare diversamente l'allerta), assumendosene la responsabilità. Una volta dichiarata l'allerta, la Regione attiva tutte le risorse e le strutture operative di propria competenza: squadre di volontariato regionale, possibili colonne mobili di supporto, mezzi e materiali logistici pronti all'uso. Inoltre, la Regione, tramite la propria Sala Operativa, coordina l'intero flusso discendente di allertamento di cui si è detto: comunica l'allerta ai Prefetti, agli enti locali e al Dipartimento nazionale, e assicura il raccordo funzionale durante l'evento. In caso di scenari gravi, le Regioni possono anche attivare forme di coordinamento intermedio (ad esempio Centri Operativi Misti sovracomunali, in accordo con Province e Prefetture) per gestire zone particolarmente colpite. Il livello regionale è dunque il perno decisionale del sistema di allertamento: qui si fondono la componente tecnico-scientifica (CFD) e quella di indirizzo e gestione (Protezione Civile regionale), al fine di tradurre le previsioni in azioni concrete sul territorio.

A livello provinciale, due soggetti in particolare entrano in gioco nel processo di allertamento: le Prefetture – Uffici Territoriali del Governo (UTG) e, in alcune regioni dove operano ancora organi amministrativi provinciali, le Province stesse (o le Città Metropolitane). La Prefettura, rappresentando il Governo nazionale nel territorio, ha il compito di assicurare il coordinamento delle componenti statali e delle forze dell'ordine durante le emergenze.

Quando scatta un'allerta, la Prefettura allerta a sua volta tutte le strutture statali locali: Questure e comandi delle Forze di polizia, Vigili del Fuoco, strutture sanitarie di emergenza (118), Forze armate eventualmente presenti, ecc. . Inoltre, il Prefetto, quale autorità provinciale di protezione civile, può convocare e presiedere il Centro di Coordinamento dei Soccorsi (CCS) presso la Prefettura stessa. Il CCS è l'organismo di coordinamento, previsto dai piani provinciali, che riunisce tutti i referenti delle varie componenti e strutture operative (Forze dell'ordine, Vigili del Fuoco, enti gestori di servizi, volontariato, ecc.) per dirigere gli interventi di emergenza a livello provinciale. In caso di allerta arancione o rossa, il Prefetto valuta l'attivazione del CCS se non già attivo, per predisporre preventivamente le misure di salvaguardia e organizzare gli eventuali soccorsi qualora la situazione evolva in peggio. Tra le azioni coordinate a livello provinciale vi possono essere, ad esempio, la verifica e l'eventuale chiusura di strade a rischio, il controllo delle infrastrutture critiche (ponti, reti di servizi essenziali), l'individuazione di aree di accoglienza per gli sfollati e il raccordo con i Centri Operativi comunali per l'assistenza alla popolazione. Accanto alla Prefettura, in alcune Regioni è previsto che anche la Provincia (intesa come ente locale) partecipi al flusso di allertamento. In questi casi, la Sala Operativa regionale trasmette l'avviso di allerta alle strutture di protezione civile provinciali, le quali a loro volta diramano l'allerta a tutti i Comuni del territorio provinciale nonché alle strutture locali di servizio (aziende di gestione acqua, energia, viabilità) e ai coordinamenti provinciali dei volontari. Questo passaggio intermedio può sembrare ridondante, ma assicura che anche i Comuni più piccoli o meno attrezzati ricevano correttamente l'avviso e che vi sia un referente a livello provinciale che monitora la situazione dei vari enti locali, pronto a intervenire in supporto se qualche Comune si trova in difficoltà nell'attuare le misure previste. Va notato che l'assetto provinciale varia da regione a regione (in alcune zone le Province sono state depotenziate o sostituite da altri organismi), ma il ruolo del Prefetto rimane invece costante su tutto il territorio nazionale, quale cerniera tra livello regionale e livello comunale del sistema di protezione civile.

A livello comunale, il sistema di allertamento si concretizza nell'azione dei Sindaci e dei sistemi comunali di protezione civile. Il Sindaco, per legge, è l'Autorità locale di protezione civile ed è responsabile, in ultima istanza, della salvaguardia della popolazione del proprio Comune. Di conseguenza, ogni volta che un'allerta viene diramata (anche la più bassa, allerta gialla), essa viene comunicata ai Sindaci dei Comuni interessati e comporta per le amministrazioni comunali l'attivazione delle procedure previste nei rispettivi piani di emergenza. I Comuni dunque non possono ignorare un messaggio di allertamento, ma sono tenuti a *mettersi in guardia* e predisporre le misure necessarie proporzionate al livello di allerta. In pratica, già con una Fase di attenzione (tipicamente associata all'allerta gialla) al Comune si richiede di svolgere una serie di azioni preliminari: verificare la pronta reperibilità del personale e dei volontari locali, allertare i referenti dei servizi essenziali sul territorio comunale, effettuare sopralluoghi di monitoraggio nei punti critici noti (ad esempio lungo argini di torrenti, in zone franose o nei sottopassi soggetti ad allagamento). Spesso i Comuni attivano il COC (Centro Operativo Comunale), anche solo in forma ristretta, ossia convocando un numero limitato di funzioni di supporto, per avere una sala operativa locale pronta a coordinare eventualmente gli interventi. Contestualmente, il Comune deve informare la popolazione dell'allerta in atto, diffondendo comunicati con le indicazioni sui principali comportamenti di autoprotezione da tenere (ad esempio, evitare di sostare in cantine o sottopassi durante forti piogge, essere pronti ad evacuare se necessario, ecc.). I canali utilizzati per avvisare i cittadini variano: si passa dai tradizionali avvisi sonori con altoparlanti mobili o campane, alla pubblicazione sul sito web comunale e sui social network

istituzionali, all'invio di SMS o messaggi WhatsApp ai cittadini iscritti a specifici servizi di allerta comunale. In caso di allerta arancione (Fase di preallarme) le attività comunali si intensificano: il COC viene generalmente attivato al completo delle sue funzioni, si predispongono eventuali misure di prevenzione più incisive (come posizionare sacchi di sabbia, chiudere preventivamente alcuni sottopassi, allertare la popolazione per possibili evacuazioni) e si mantiene un presidio territoriale costante nelle zone a rischio. Con l'emanazione di un'allerta rossa e la dichiarazione della Fase di allarme, scatta la piena operatività del sistema comunale di protezione civile. Il Sindaco (o un suo delegato) apre il COC in assetto completo e spesso, nei casi più gravi, richiede anche l'attivazione di un Centro Operativo Misto (COM) in coordinamento con altri comuni limitrofi e con la stessa Prefettura, se l'evento coinvolge un territorio più ampio. Durante la fase di allarme, a livello locale si mettono in atto tutte le misure urgenti per la salvaguardia della vita umana: evacuazione delle aree a rischio imminente, chiusura di scuole ed edifici pubblici se necessario, predisposizione delle aree di accoglienza per gli sfollati, chiusura delle strade e delle infrastrutture pericolanti, nonché l'organizzazione dei soccorsi e dell'assistenza alla popolazione colpita. Il Sindaco opera in stretto contatto sia con la Sala Operativa regionale sia con la Prefettura, riferendo l'evoluzione locale e allo stesso tempo ricevendo supporto per eventuali richieste di mezzi e uomini aggiuntivi. È importante notare che i Comuni, soprattutto i più piccoli, non dispongono sempre di risorse adeguate: per questo motivo, uno dei principi cardine del sistema di protezione civile italiano è il mutuo supporto tra enti, per cui se un Comune non è in grado di fronteggiare da solo l'emergenza, interviene il livello superiore (provinciale o regionale) a fornire assistenza. Infine, le amministrazioni comunali hanno il dovere, sancito dalle procedure regionali, di mantenersi costantemente informate sulle allerte emanate dagli organismi competenti. Ciò implica, ad esempio, che anche in assenza di comunicazioni dirette, ogni Comune dovrebbe quotidianamente consultare i bollettini e gli avvisi emessi dal Centro Funzionale o dalla Regione, specialmente nei giorni festivi o prefestivi, così da non farsi mai trovare impreparato rispetto a una possibile attivazione improvvisa.

Completano il quadro degli attori alcuni soggetti di supporto tecnico e operativo. Abbiamo già citato i Centri di Competenza a livello nazionale, che forniscono un apporto scientifico continuo al sistema (ad esempio sviluppando modelli meteo-idro sempre più accurati, studiando nuove tecnologie di monitoraggio, ecc.). A livello regionale e locale, un ruolo fondamentale è svolto dal Volontariato di protezione civile: migliaia di volontari appartenenti a organizzazioni locali (gruppi comunali, associazioni) che, formati e dotati di attrezzature di base, vengono attivati in caso di allerta per svolgere numerosi compiti, dal monitoraggio preventivo sul territorio (presidio di argini, rilevamento livelli idrometrici) fino all'assistenza alla popolazione durante l'emergenza e alle operazioni di ripristino. I volontari operano alle dipendenze funzionali dei COC comunali o, su scala più ampia, sotto il coordinamento delle colonne mobili regionali e nazionali, garantendo quella presenza capillare sul territorio che costituisce spesso il primo elemento di risposta ai disastri. Anche gli enti gestori di servizi essenziali (acquedotti, gestori elettrici, società autostradali, ecc.) fanno parte del sistema: essi sono chiamati ad attivare i propri piani di emergenza interni e a presidiare le rispettive reti in caso di allerta (ad esempio, un gestore idrico controllerà con maggiore frequenza gli acquedotti e serbatoi in previsione di possibili cali di potabilità durante un'alluvione; ANAS e gestori stradali predisporranno squadre per liberare le strade da frane o alberi caduti, e così via). In sintesi, il modello policentrico italiano attribuisce a ciascun attore istituzionale (Dipartimento, Regione, Prefettura, Provincia, Comune) un preciso ruolo nel sistema di

allertamento, in uno schema che va dall'alto (previsione e coordinamento) verso il basso (intervento locale), ma che risale anche dal basso verso l'alto in termini di informazioni di ritorno e richieste di soccorso. La chiarezza nelle responsabilità è essenziale affinché, al manifestarsi di una minaccia, ogni componente sappia immediatamente "chi deve fare cosa" e con quali strumenti, minimizzando esitazioni e sovrapposizioni.