

SMART - DEBRIS FLOW EARLY WARNING SYSTEM

DELIVERABLE 1.1

SETUP DELLA CATENA MODELLISTICA
METEOROLOGICA

Sommario

<i>1. INTRODUZIONE</i>	3
<i>2. CATENA PREVISIONALE BASATA SUL MODELLO WRF</i>	5
2.1 ANALISI DELLA LETTERATURA SCIENTIFICA.....	5
2.2 ACQUISIZIONE E COMPILAZIONE DEL SOFTWARE NECESSARIO.....	5
2.3 SETUP DEL MODELLO.....	6
2.4 ORGANIZZAZIONE DEI DATI.....	6
2.5 RESTITUZIONE GRAFICA DEI RISULTATI.....	6
2.6 AUTOMATIZZAZIONE.....	7
2.7 TEST DI FUNZIONALITÀ.....	7
<i>3. PREVISIONI OPEN-DATA DWD DA MODELLO ICON-D2</i>	7
3.1 IDENTIFICAZIONE DI POTENZIALI DATA PROVIDERS.....	8
3.2 SVILUPPO DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE/ELABORAZIONE.....	9
3.3 VALIDAZIONE DEL SISTEMA.....	9
<i>4. INPUT PLUVIOMETRICO AL MODELLO IDROMORFOLOGICO</i>	10

1. INTRODUZIONE

S-DEWAS (Smart-Debris flow Early Warning System) è un progetto di ricerca e sviluppo condotto dalle aziende CISMA srl (CUP: I59J24000260006) e MOUNTAIN-EERING srl (CUP: I59J24000270006) nell'ambito del programma di ricerca del consorzio "iNEST - Interconnected North-East Innovation Ecosystem", a valere sulle risorse del Piano Nazionale per la Ripresa e Resilienza (PNRR, Missione 4 Componente 2, Investimento 1.5 D.D. 1058 23/06/2022, ECS_00000043 – Spoke1, RT1B) per la creazione e il rafforzamento di "ecosistemi dell'innovazione per la sostenibilità", finanziato dall'Unione Europea Next-GenerationEU.

CISMA (Capogruppo) e MOUNTAIN-EERING sono società di ingegneria altamente tecnologiche ed innovative, insediate presso il parco tecnologico NOI Techpark di Bolzano. Entrambe le aziende operano da anni nel settore ambientale, con un particolare focus sui fenomeni atmosferici e sui processi idrogeologici che si sviluppano in ambienti montani.

CISMA è nata nel 2005 ed è specializzata nel settore dell'analisi di dati ambientali e della meteorologica applicata. Ha un'eccellente know-how nel campo della modellistica numerica fisicamente basata dei fenomeni atmosferici (previsioni meteorologiche e dispersione degli inquinanti) e nello sviluppo di catene modellistiche implementate *ad-hoc* per far fronte a diversi problemi ambientali. CISMA collabora da anni con l'Università di Trento nell'ambito di progetti di ricerca applicata per il monitoraggio della qualità dell'aria e nella valutazione della dispersione al suolo degli inquinanti. Tra i vari progetti è stata partner del progetto Life BrennerLec, in cui ha contribuito in ambito di modellistica ed elaborazione dati. Le competenze di CISMA comprendono anche la gestione e l'analisi di grandi moli di dati attraverso l'utilizzo di sistemi digitali di database, basati su software open-source. In questo contesto è consulente dell'ufficio Idrologia e Dighe della Provincia di Bolzano per la gestione delle stazioni di misura della portata liquida e del trasporto solido sui torrenti Gadera a Mantana e Solda a Ponte Stelvio. CISMA è attualmente consulente anche dell'Agenzia per la Protezione civile della Provincia di Bolzano per la gestione dei dati raccolti nel sito sperimentale Gadria in val Venosta.

MOUNTAIN-EERING è nata nel 2008 come primo spin-off dell'Università di Trento, con la mission di trasferire la conoscenza in ambito ingegneristico dei risultati della ricerca scientifica nell'ambito del dissesto idrogeologico con particolare riferimento a: modellazione idrologica dei deflussi di versante; modellazione e analisi idraulica del trasporto solido e della propagazione dei fenomeni di colate detritiche e alluvionali; modellazione e analisi dei fenomeni di innesco di frane superficiali in terreni saturi e non saturi. MOUNTAIN-EERING ha collaborato a lungo con l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) nell'ambito del monitoraggio di variabili idro-meteorologiche e della loro variabilità in ambiti orograficamente complessi, come quelli montani, quali forzanti (driver) del dissesto idrogeologico. Ha collaborato con l'USGS (United State Geological Survey) nell'ambito dello studio dell'innesco di frane superficiali in terreni saturi e insaturi e nel loro monitoraggio. Per la Provincia di Bolzano ha progettato l'innovativa stazione per il monitoraggio del trasporto solido al fondo lungo sul torrente Solda a Ponte Stelvio. Per l'Agenzia per la Protezione civile della Provincia di Bolzano, MOUNTAIN-EERING ha sviluppato un sistema di acquisizione e archiviazione di immagini e video di eventi di colata detritica all'interno del sito sperimentale Gadria in val Venosta.

Il progetto S-DEWAS si propone di capitalizzare le competenze tecnico-scientifiche delle due aziende al fine di sviluppare un sistema di allerta precoce dedicato alla previsione dell'innesco di colate detritiche, utilizzando un approccio integrato di dati osservati e di modelli numerici fisicamente basati. Il progetto ha quindi una doppia valenza. Da un lato propone un'azione sperimentale per la realizzazione di un sistema di allerta (Early Warning System) nell'ambito di fenomeni legati al dissesto idrogeologico. Dall'altro propone la messa a disposizione di risultati di pratico impiego conseguenti all'utilizzo di tecnologie digitali per l'elaborazione di dati meteorologici, idrologici e geologici. Inoltre, la gestione dei pericoli naturali, e nella fattispecie relativi alle colate detritiche (debris flow), con un approccio non infrastrutturale, offre il duplice

vantaggio di proteggere gli insediamenti esistenti e le realtà produttive, senza costruire nuove opere ed ottimizzando la gestione di quelle esistenti.

Il sito prescelto per l'implementazione di questo sistema è il bacino del Rio Gadria, collocato in val Venosta (BZ) tra i Comuni di Lasa e di Silandro. La scelta del sito è motivata dal fatto che esso è già dotato di un sistema di monitoraggio installato in parte dalla Provincia di Bolzano e in parte dalla BOKU di Vienna. Attualmente il bacino è oggetto di analisi da parte dell'Università di Bolzano, del CNR-IRPI di Padova e della BOKU stessa. Inoltre CISMA e MOUNTAIN-EERING da anni collaborano per la gestione e l'archiviazione della base dati in cui convergono le misure del sistema di monitoraggio costituito da: 3 pluviometri dislocati nel bacino, 3 sensori di livello lungo l'asta del torrente, 3 telecamere, alcuni geofoni e sensori per la misura della pressione di impatto del fronte della colata. Tutto ciò permette al progetto di beneficiare degli strumenti installati, delle serie storiche dei dati acquisiti, e del know how sviluppato.

Il sistema S-DEWAS è basato su 3 componenti principali:

1. Modulo meteorologico.
2. Modulo idromorfologico.
3. Interfaccia utente.

Il modulo meteorologico è dedicato alla previsione di breve termine e di nowcasting dei campi di precipitazione sul bacino del Rio Gadria, anche attraverso l'utilizzo in tempo reale dei dati misurati dal nuovo RADAR di Monte Macaion e dei dati pluviometrici disponibili nel bacino. La previsione delle precipitazioni vedrà l'utilizzo di modelli meteorologici fisicamente basati, al fine di aumentare l'affidabilità e l'accuratezza dell'input da fornire al modello idromorfologico.

Il modulo idromorfologico è dedicato alla modellazione fisicamente basata dei processi idrologici di versante che regolano il flusso di acqua e di detriti innescati dai campi di precipitazioni restituiti dal modulo meteorologico. Il modello consentirà di individuare la probabilità di innesco delle colate detritiche ed il corrispondente valore soglia, a fronte di diversi eventi meteorici ed in funzione di altri fattori, tra cui la topografia e la disponibilità di detriti sui pendii del bacino.

Lato utente, le elaborazioni condotte dal sistema S-DEWAS verranno rese disponibili mediante una dashboard (web-app) che consenta un utilizzo operativo ed efficace di supporto delle attività di monitoraggio e di allerta del servizio. All'interno della dashboard convergeranno i dati misurati ed elaborati dai modelli unitamente a statistiche e altre grandezze definite interagendo con potenziali utilizzatori del sistema.

Il deliverable **D1.1 – Setup della catena modellistica meteorologica** è redatto con lo scopo di fornire un manuale operativo recante la descrizione del setup della catena modellistica meteorologica sull'area target del progetto (bacino del Rio Gadria). All'interno della domanda di progetto era stata prevista la realizzazione di una catena modellistica previsionale basata sul modello meteorologico WRF, dedicata sia alla previsione delle precipitazioni a breve termine (fino a +48h) sia di nowcasting attraverso l'assimilazione di dati RADAR. Durante lo sviluppo del progetto, parallelamente all'implementazione della catena modellistica, si è valutata l'opzione di utilizzare previsioni di precipitazione fornite come open-data da servizi meteorologici ufficiali. L'utilizzo di quest'ultima soluzione permette infatti di aumentare la versatilità di utilizzo del sistema S-DEWAS, evitando l'installazione di un sistema previsionale ad-hoc con i conseguenti problemi connessi alla gestione e manutenzione della catena di approvvigionamento del dato. L'analisi condotta ha permesso di identificare il Servizio Meteorologico della Germania (DWD) come data-provider di previsioni numeriche open-source, in particolare generate dal modello ICON-D2.

All'interno del presente deliverable si descrive sia la catena modellistica basata sul modello WRF sia quella basata sull'utilizzo delle previsioni prodotte dal modello DWD-ICON-D2.

2. CATENA PREVISIONALE BASATA SUL MODELLO WRF

L'obiettivo principale del WP1 del progetto S-DEWAS ha riguardato la messa a punto di un sistema di previsioni meteorologiche in grado di restituire sotto forma di mappe le principali variabili meteorologiche, con particolare riferimento ai campi di precipitazione, che costituiscono in cascata l'input da fornire al modulo idromorfologico.

Come verrà dettagliato nelle sezioni seguenti, il sistema modellistico si basa sull'utilizzo del modello WRF che si configura come un modello LAM (Limited Area Model), ovvero che fa parte della classe dei cosiddetti modelli a scala limitata (applicati su aree più limitate rispetto ai modelli di circolazione generale). Esso utilizza una risoluzione orizzontale ed orografica molto più dettagliata rispetto ad un modello globale, e quindi assai più adatti alle previsioni per le ore o i giorni successivi (fino a 3 o 4 giorni); di norma infatti lo spazio temporale coperto da un LAM non supera le 96 ore e dipende da vari fattori intrinseci, dai dati di inizializzazione disponibili o relativi fino alla potenza di calcolo disponibile. WRF (come tutti i modelli LAM) è inizializzato sul run di analisi di un modello globale; cioè si utilizzano come dati al contorno e di inizializzazione da un modello globale e si elabora successivamente una previsione più dettagliata.

2.1 ANALISI DELLA LETTERATURA SCIENTIFICA

Nella prima fase è stata presa in esame la letteratura scientifica di settore relativa al settore della modellistica meteorologica previsionale. Sono stati presi in esame decine di articoli pubblicati su riviste di livello internazionale per valutare quale fosse lo stato dell'arte corrente sulle metodologie previsionali, che negli ultimi decenni sono in rapidissima evoluzione e rischiano quindi una rapida obsolescenza se non adeguatamente sviluppate e supportate.

Il risultato di questa procedura ha confermato quanto previsto in sede di stesura del progetto, ovvero che il modello WRF si configura come una delle strade più promettenti per la previsione numerica. Esso gode infatti di alcuni vantaggi che sono stati considerati molto importanti, tra cui:

1. WRF è sviluppato attivamente da circa 20 anni da un istituto di ricerca di caratura internazionale come l'[NCAR](http://www.ncar.ucar.edu)¹ e l'[NCEP](http://www.ncep.noaa.org)²;
2. ha una comunità di utenti specializzati in tutto il mondo, che ne certifica anche la solidità e permette un feedback molto rapido;
3. il software è rilasciato in formato di codice sorgente con licenza Open Source, aspetto non trascurabile per il presente progetto, il che ha permesso adattamenti del modello di calcolo al caso specifico e ispezione del codice per una migliore comprensione degli algoritmi utilizzati.

Il modello WRF è costituito da:

1. preprocessore per la gestione delle condizioni meteorologiche iniziali e l'assimilazione di dati;
2. preprocessore per l'elaborazione delle informazioni territoriali (orografia, scabrezza, ecc...);
3. risolutore numerico delle equazioni fluido-dinamiche di Navier-Stokes non idrostatiche per un fluido comprimibile, con parametrizzazione degli scambi di energia al suolo;
4. postprocessore per l'estrazione di mappe, serie storiche ed elaborazione di risultati in genere.

2.2 ACQUISIZIONE E COMPILAZIONE DEL SOFTWARE NECESSARIO

Come sopra accennato il software è rilasciato non in forma di eseguibile ma in formato sorgente. Non si parte dunque da un software funzionante "out of the box", ma da un prodotto "grezzo" che deve essere compilato e configurato direttamente sul computer su cui esso funzionerà.

¹ <http://www.ncar.ucar.edu>

² <http://www.ncep.noaa.org>

La necessità di compilare il pacchetto software direttamente sulla macchina su cui sarà poi eseguito è dettato dal fatto che si tratta di un programma computazionalmente oneroso che deve quindi essere ottimizzato di volta in volta. Questo aspetto, per la previsione meteorologica, è cruciale. È infatti importante che il risultato di una previsione sia disponibile il prima possibile; dal momento che l'ordine di grandezza dei tempi di calcolo è di alcune ore, pare ovvio che la possibilità di risparmiare su questo fattore va affrontata con cura.

Testimonianza ne sia il fatto che la procedura di previsione che nella configurazione iniziale contemplava un tempo di calcolo di circa 6 ore, nella versione rifinita e rivista, grazie alle sole miglorie informatiche è sceso a circa 2.5 ore, fornendo quindi il risultato in anticipo all'utente.

2.3 SETUP DEL MODELLO

A valle del setup informatico è stato eseguito il setup di tipo numerico. L'algoritmo di calcolo necessita infatti della definizione di circa un centinaio di parametri numerici che corrispondono a ben identificati parametri fisici, raccolti nelle seguenti macroclassi:

1. microfisica dell'atmosfera,
2. radiazione di onda lunga e onda corta,
3. strato superficiale,
4. scambio di energia aria / suolo,
5. caratteristiche del suolo,
6. parametrizzazione del “planetary boundary layer”,
7. microfisica delle nubi;
8. precipitazioni.

La determinazione di questi parametri non è arbitraria ma va valutata caso per caso a seconda dell'area su cui si intende applicare la previsione meteorologica e quali sono i parametri di maggiore interesse (per es. temperatura, pioggia o altro). Questa fase si è rivelata piuttosto lunga, in quanto per testare il funzionamento di un determinato set di parametri si è ritenuto necessario avere una lunga serie di previsioni giornaliere da poter valutare. Pertanto la messa a punto ha richiesto un lavoro iterativo consistente di molti set di dati che fossero statisticamente significativi. La procedura di setup è stata effettuata una prima volta fino ad avere il sistema effettivamente operativo ed una seconda volta in fase di rifinitura ed ulteriore calibrazione. È ovvio infatti che il target (nonché l'attesa dell'utente) sia la maggior rispondenza possibile della previsione alle caratteristiche del tempo meteorologico che effettivamente si verifica. Un risultato soddisfacente può quindi solo essere raggiunto tramite un'accurata messa a punto del sistema.

2.4 ORGANIZZAZIONE DEI DATI

L'attività era diretta all'organizzazione dell'enorme mole di dati prodotti dal modello di calcolo WRF. Si tenga infatti conto che, nella configurazione attuale, esso produce in termini di dati circa 2GB / giorno. Con l'intenzione di strutturare un archivio storico delle previsioni, per eventuali usi futuri e per analisi meteorologiche si è affrontato il problema di indicizzare la grande mole di dati. Dal punto di vista informatico si è scelto di salvare questi dati in formato NetCDF, che costituisce uno standard comune per la gestione di questo tipo di risultati, di facile gestione tramite software di vario genere. In aggiunta il suddetto formato è autodescrittivo quindi facilmente indicizzabile; di conseguenza evita, almeno per ora, la necessità di utilizzare un database relazionale per l'immagazzinamento dei risultati.

2.5 RESTITUZIONE GRAFICA DEI RISULTATI

Per la fruizione temporanea dei risultati è stato messo a punto un sottosistema grafico per la rappresentazione delle mappe meteorologiche. Dopo varie analisi e test sui prodotti disponibili la scelta è caduta sul software NCL. Esso è costituito in realtà da una serie di procedure di scripting atte all'automazione del processo di

generazione dei grafici. In effetti NCL ha mostrato di essere piuttosto difficile nell'utilizzo interattivo ma al contrario piuttosto adatto alla produzione automatica di grafici, che era comunque lo scopo finale. Dopo aver analizzato la comprensibilità di analoghe mappe meteorologiche diffuse da servizi analoghi si è scelto di produrre risultati piuttosto dettagliati ma leggibili anche per utenti non particolarmente ferrati in materia. La procedura è stata quindi sviluppata in maniera da produrre per ognuna delle aree concentriche di interesse (intera Italia, area alpina, regione Trentino Alto Adige) mappe con cadenza oraria / bioraria / trioraria per i seguenti parametri meteorologici: temperatura, vento, pressione, umidità, precipitazione, umidità, copertura nuvolosa.

2.6 AUTOMATIZZAZIONE

Una volta prodotta una procedura funzionante per la previsione del tempo la fase successiva è stata quella creare un sistema automatico che fosse in grado di generare una previsione ogni 12 ore per i 2 giorni successivi. La procedura è costituita da un programma che a cadenza prefissata esegue sulla workstation dedicata al calcolo le seguenti azioni (indicata anche la tempistica necessaria):

1. download delle condizioni iniziali ~5 min. Il sistema WRF necessita per la simulazione di condizioni iniziali globali che nel nostro caso vengono dedotte da un modello di circolazione globale i cui risultati sono messi pubblicamente a disposizione dall'ente di ricerca statunitense NCEP con cadenza esoraria;
2. inizializzazione del modello allo stato attuale dell'atmosfera ~ 5 min;
3. calcolo della previsione ~120 min;
4. generazione delle mappe ~10 min;
5. upload dei risultati ~ 5 min;
6. immagazzinamento nell'archivio ~ 5 min.

2.7 TEST DI FUNZIONALITÀ

Infine si è proceduto a condurre un completo test di funzionalità del sistema previsionale sotto tutti i punti di vista: informatico, dell'automazione, e specialmente della rispondenza dei risultati previsionali alle condizioni poi verificatesi.

3. PREVISIONI OPEN-DATA DWD DA MODELLO ICON-D2

I principali vantaggi che derivano dall'utilizzo di un modello di nowcast delle precipitazioni, basato sul modello meteorologico WRF con l'assimilazione di dati radar e pluviometrici, si possono riassumere nei seguenti tre punti:

1. Aumento della precisione e dell'accuratezza delle previsioni. L'assimilazione di dati radar e pluviometrici, acquisiti in tempo reale durante il processo di modellazione, contribuisce a migliorare la qualità delle previsioni di precipitazioni, riducendo il rischio di errori.
2. Miglioramento del tempo di risposta. Il continuo aggiornamento delle previsioni mediante l'utilizzo degli ultimi dati radar e pluviometrici consente di ottenere campi di precipitazione più realistici e quindi più rappresentativi per la generazione dell'input idrologico.
3. Aumento della scalabilità. Il modello WRF può essere utilizzato per simulare il tempo atmosferico su aree di diverse dimensioni, rendendolo adatto a una varietà di applicazioni.

Durante la fase di definizione delle previsioni meteorologiche da modelli a scala globale e da utilizzare come condizione iniziale al modello meteorologico WRF, sono stati individuati data set di previsioni meteorologiche numeriche ad elevata risoluzione spaziale e temporale disponibili come open-data. Si è pertanto deciso di approfondire questo aspetto, ricercando data providers ufficiali di previsioni meteorologiche a breve termine, ossia prodotte da servizi meteorologici nazionali e sovranazionali, che

distribuiscono i propri prodotti modellistici con politiche open-source, anche per scopi commerciali. Questa possibilità non era stata inizialmente presa in considerazione durante la stesura iniziale del progetto. Tuttavia si è ritenuto importante effettuare questa estensione del lavoro in quanto vantaggioso ai fini dello sviluppo di S-DEWAS. Infatti, la possibilità di disporre di previsioni meteorologiche a breve termine ad elevata risoluzione spaziale e frequenza di aggiornamento, distribuite come open-data consente di:

- avere un riscontro con le previsioni a breve termine generate dal modello WRF implementato nell'ambito del progetto;
- disporre di un servizio meteorologico di riferimento per il futuro sviluppo e commercializzazione del prodotto;
- utilizzare risorse già disponibili, in un'ottica di efficientamento delle risorse;
- svincolare il fornitore del servizio S-DEWAS dall'effettuare un setup ex-novo di un sistema previsionale basato su WRF per ogni nuova applicazione del servizio (soprattutto al di fuori della Provincia di Bolzano) con la conseguente necessità di mantenere il sistema stesso in termini di aggiornamento software, hardware e, soprattutto, garantendo la continuità temporale del servizio previsionale;
- aumentare la scalabilità del servizio, semplificando la replicabilità in nuove aree grazie all'elevata standardizzazione dei prodotti forniti dai data-provider.

3.1 IDENTIFICAZIONE DI POTENZIALI DATA PROVIDERS

La ricerca ha portato ad identificare come possibili data-providers che espongono previsioni meteorologiche a breve termine con le caratteristiche sopra descritte:

- il servizio meteorologico della Germania [DWD](https://www.dwd.de)³;
- il portale italiano [MISTRAL-METEO-HUB](https://meteohub.mistralportal.it)⁴.

Il DWD mette a disposizione sul proprio [open-data](https://opendata.dwd.de)⁵ diverse soluzioni modellistiche sia in termini di previsioni deterministiche, sia in termini di previsioni probabilistiche. La soluzione che risulta essere più interessante per gli scopi del progetto è rappresentata dalle previsioni deterministiche a breve termine generate con il modello ICON-D2. Questo modello è centrato sull'Europa centrale (Germania e parte dei Paesi limitrofi) e restituisce previsioni meteorologiche a +48 ore per numerose grandezze atmosferiche, tra cui la precipitazione, su di una griglia con risoluzione orizzontale di 2.2x2.2 km. Il modello effettua 8 run previsionali al giorno, garantendo così un'elevata frequenza di aggiornamento dei diversi campi meteorologici.

Il MISTRAL è acronimo di Meteo Italian Supercomputing poRtAL e nasce nell'ambito del progetto europeo Connecting European Facility del 2018. Il progetto aveva l'obiettivo di realizzare una piattaforma nazionale di dati aperti meteorologici per fornire ai cittadini, alle amministrazioni pubbliche e alle organizzazioni private nazionali e internazionali dati meteorologici provenienti da reti osservative, analisi e previsioni storiche e in tempo reale. La piattaforma METEO-HUB di MISTRAL è l'output del progetto e si configura come un servizio che consente agli utenti di accedere e scaricare dati relativi alle previsioni meteorologiche, il composito RADAR nazionale messo a disposizione dal Dipartimento per la Protezione Civile, o di ottenere i dati osservati al suolo di diverse regioni italiane. All'interno di METEO-HUB, il prodotto modellistico di maggiore interesse per S-DEWAS è costituito dalle previsioni meteorologiche sull'Italia generate dal modello COSMO-2I (Aeronautica Militare, ARPA Emilia-Romagna e ARPA Piemonte). Il modello produce previsioni a 2.2 km di risoluzione per alcune grandezze meteorologiche con 2 aggiornamenti al giorno.

³ https://www.dwd.de/DE/Home/home_node.html

⁴ <https://meteohub.mistralportal.it>

⁵ <https://opendata.dwd.de/weather/nwp/>

Per entrambi i data providers sono state condotte valutazioni circa:

- la risoluzione spaziale e temporale dei campi di precipitazione;
- la robustezza della catena di approvvigionamento dati;
- la continuità del servizio.

In merito a quest'ultimo punto, il sistema COSMO-2I è in fase di dismissione e verrà sostituito dal nuovo sistema previsionale basato sul modello ICON. A seguito della fase di transizione verrà modificato il sistema di acquisizione dati e definitivamente adottato nel momento in cui diventerà ufficialmente operativo il nuovo sistema previsionale.

Alla luce delle precedenti osservazioni, si è deciso di utilizzare le previsioni meteorologiche a breve termine prodotte dal modello ICON-D2 del DWD come data set di campi di precipitazione complementari a quelli prodotti dal modello WRF. Come anticipato, il modello ICON-D2 genera previsioni a breve termine delle precipitazioni (fino a +48 ore) con una risoluzione orizzontale di 2.2x2.2 km e intervallo temporale di 15 minuti. Inoltre le previsioni sono aggiornate 8 volte al giorno, ossia ogni 3 ore. Il data set ed i dati contenuti sono facilmente accessibili ed esposti con regolarità. Pertanto risulta idoneo per gli scopi del progetto.

3.2 SVILUPPO DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE/ELABORAZIONE

Si è così proceduto allo sviluppo del sistema per l'acquisizione delle previsioni meteorologiche a breve termine che effettua le seguenti operazioni:

1. Il sistema accede con cadenza oraria all'open-data del DWD che espone le previsioni del modello ICON-D2 e verifica la presenza di una nuova previsione di precipitazione. In caso positivo il sistema procede al download in locale della medesima.

La previsione di precipitazione è strutturata in 48 file (1 file per ciascuna ora di previsione) nel formato grib2. Ciascun file contiene i 4 campi di precipitazione corrispondenti ai minuti 00, 15, 30 e 45 dell'ora di riferimento. La copertura spaziale coincide con l'area di calcolo del modello, che nel caso del modello DWD-ICON-D2 è l'Europa centrale, con la risoluzione di 2.2x2.2 km, nel sistema di riferimento lat-lon WGS84. Infine, il dato di precipitazione è un valore cumulato dall'inizio della previsione.

2. Una volta concluso il download dei file che compongono la previsione, il sistema procede a concatenare i file in un unico file grib2 che è successivamente convertito nel formato NetCDF per facilitare le successive elaborazioni. Utilizzando quindi le librerie CDO, NCO e gdal, il sistema procede a ritagliare la previsione sull'area di interesse e ad effettuare la trasformazione da WGS84 2.2x2.2 km a EPSG:25832 a 0.5x0.5 km. Infine, la precipitazione cumulata [mm] è convertita in intensità di precipitazione [mm/h] con risoluzione temporale di 15 minuti.
3. I campi di precipitazione così ottenuti sono quindi archiviati e messi a disposizione per le successive elaborazioni, ossia la generazione dell'input al modello idromorfologico e dei contenuti da visualizzare nella dashboard.

Una volta conclusa la pre-elaborazione delle previsioni, il sistema procede alla generazione delle informazioni sintetiche da visualizzare nella dashboard. In particolare, procede a calcolare la precipitazione complessiva sul bacino del Gadria e a generare uno storico di tale valore, utilizzando le prime 3 ore di ciascuna previsione. In questo modo è possibile garantire la ricostruzione degli eventi meteorologici pregressi sulla base delle simulazioni del modello ICON-D2.

3.3 VALIDAZIONE DEL SISTEMA

Il modulo meteorologico sopra descritto è stato implementato ed è attualmente funzionante per la generazione dei campi di precipitazione a breve termine attraverso l'acquisizione delle previsioni meteorologiche dal data set DWD-ICON-D2.

4. INPUT PLUVIOMETRICO AL MODELLO IDROMORFOLOGICO

Infine il sistema procede alla generazione dell'input pluviometrico necessario al modello idromorfologico. Le previsioni di precipitazione precedentemente elaborate sono salvate all'interno di un file NetCDF che ha una copertura spaziale pari all'area del bacino del Gabria. In particolare, all'interno del NetCDF le celle che ricadono o intercettano il contorno del bacino assumono valori positivi o nulli (in assenza di precipitazione), mentre alle rimanenti celle è assegnato un non valore.

Questa operazione è condotta utilizzando un'opportuna maschera che consente di evitare il calcolo in corrispondenza di celle che non appartengono al bacino di interesse.

Infine, se nei 15 giorni precedenti al run corrente della previsione si sono osservate precipitazioni all'interno del bacino, il sistema procede ad aggiungere alla previsione un buffer che contiene lo storico delle mappe di precipitazione simulate nei 15 giorni precedenti. La presenza del buffer consente al modello idromorfologico di ricostruire in modo adeguato il campo di umidità del suolo, affinché sia correttamente inizializzato per la generazione delle allerte in funzione degli scenari previsionali forniti.