



Ricerca di Sistema elettrico

Analisi di risk forecast/assessment mediante modellistica meteorologica ed idrologica

M. Verdecchia e B. Tomassetti



ANALISI DI RISK FORECAST/ASSESSMENT MEDIANTE MODELLISTICA METEOROLOGICA ED IDROLOGICA

Marco Verdecchia, Barbara Tomassetti (Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche, Università degli Studi dell'Aquila)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Sviluppo di un modello integrato di Smart District urbano

Obiettivo: Sicurezza infrastrutture critiche e monitoraggio Smart District - DSS protezione e sicurezza delle infrastrutture critiche

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Analisi di risk forecast/assessment mediante modellistica meteorologica ed idrologica per la stima del rischio e degli impatti sulle CI del distretto urbano"

Responsabile scientifico ENEA: Maurizio Pollino

Responsabile scientifico Marco Verdecchia

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 GLI INDICI DI ALLARME IDROLOGICO.....	7
2.1 CAI (CHYM ALARM INDEX).....	8
2.2 BDD (BEST DISCHARGE-BASED DRAINAGE ALARM INDEX).....	11
3 LA VISUALIZZAZIONE DEGLI INDICI DI ALLARME.....	12
4 GLI INDICI DI ALLARME INTEGRATI NELLA PIATTAFORMA DSS.....	17
5 CONCLUSIONI.....	19
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	20
7 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	20
8 CURRICULUM SCIENTIFICO DEI PARTECIPANTI.....	21

Sommario

Le attività svolte consistono essenzialmente nel calcolo di indici di rischio idro-meteorologico a partire dagli scenari di precipitazione previsti ed osservati che sono stati resi disponibili già nel primo anno del progetto. Gli indici di rischio sono stati resi disponibili, in una prima fase, in forma grafica; attraverso queste visualizzazioni è possibile individuare facilmente i segmenti della rete drenante che ci sia aspetta che siano sottoposti a maggiore stress idrologico.

Nella fase successiva, gli indici sono resi disponibili in forma numerica, come sequenze temporali ricavate per specifici siti di interesse; più specificatamente per ogni località ritenuta di interesse critico, si ha una sequenza attraverso la quale si è in grado *“di leggere”* l'evoluzione temporale prevista, per lo specifico sito.

I risultati di queste ultime attività sono quindi integrati nel DSS di progetto: ciò consente di passare dalla *“previsione del rischio”* alla *“previsione degli effetti sulle strutture e sulle Infrastrutture Critiche (CI)”*, con particolare riguardo alla rete elettrica di distribuzione, o più in generale sulle attività umane presenti in una determinata area di interesse, quale il distretto urbano in questione.

1 Introduzione

Nel primo di attività sono stati resi disponibili i campi di precipitazione su un ampio dominio dell'Italia Centrale che comprende l'intero bacino del Tevere (Report RdS/PAR2015/022). In particolare, ci si riferisce alla elaborazione delle mappe di precipitazione, ricostruite dal modello CHyM (Figura 1), rilasciate giornalmente per le successive 24 ore (articolate in intervalli di di 1 ora) e rese disponibili operativamente sulla piattaforma DSS (Figura 2), ai fini del monitoraggio e dell'analisi delle rischio sulle Infrastrutture Critiche (CI) dell'area di interesse (rif. Report RdS/PAR2015/016).

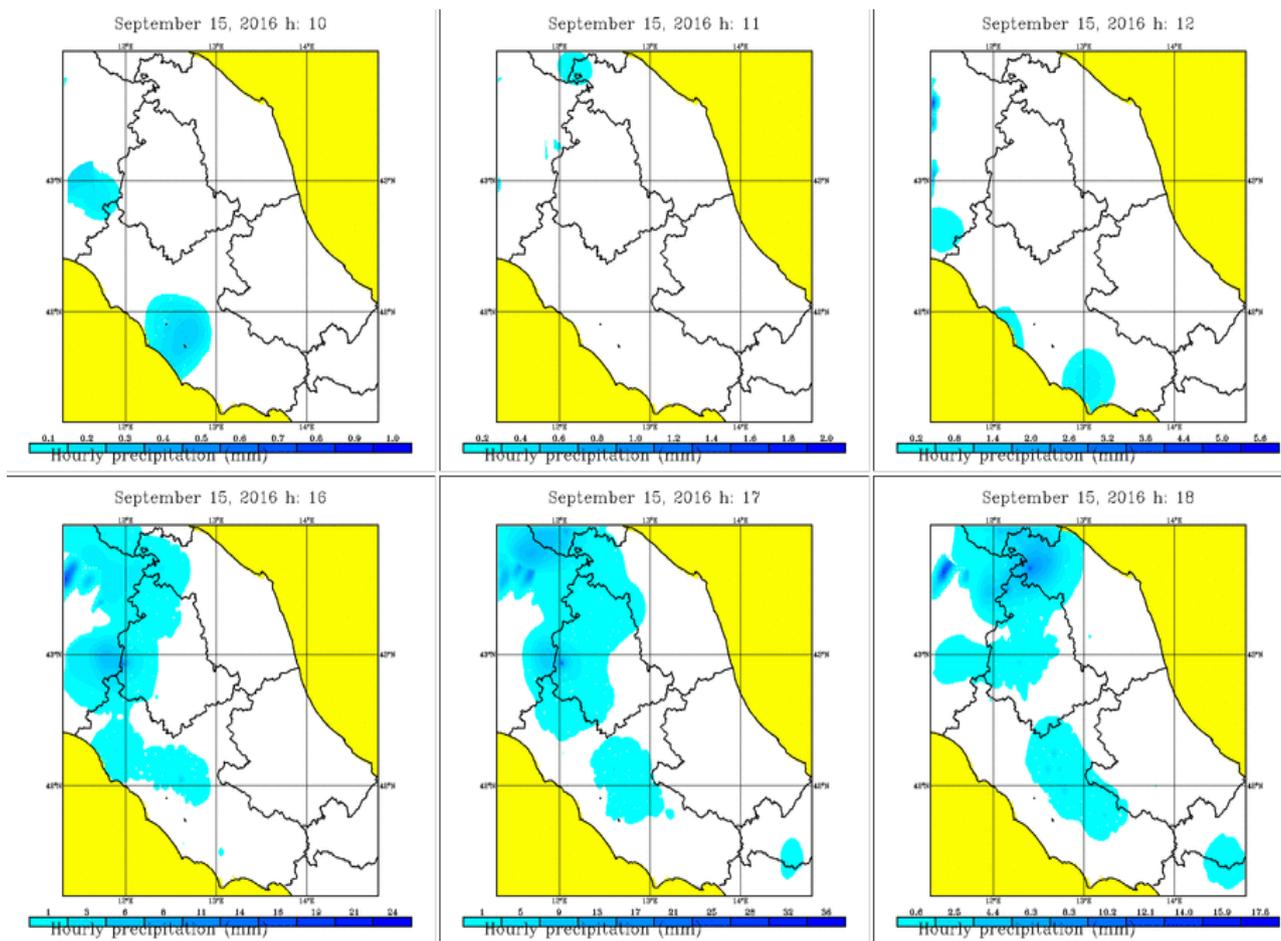


Figura 1. Esempio di sequenza dei campi di precipitazione, come ricostruiti dal modello CHyM

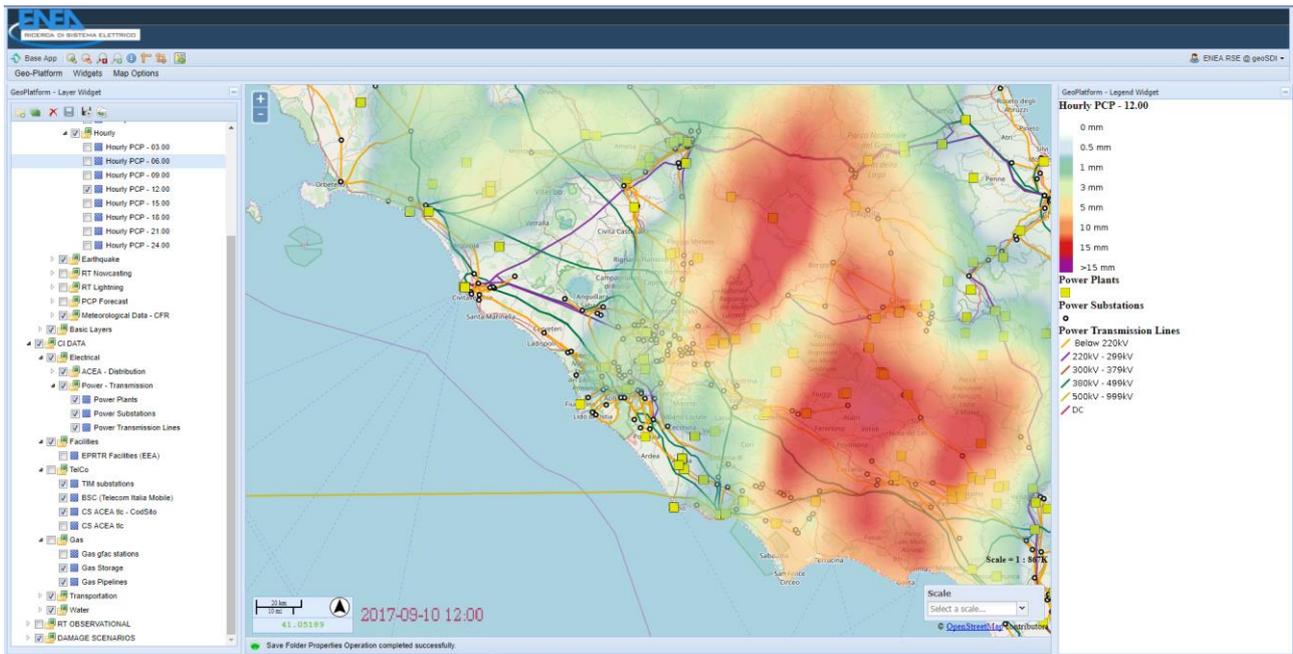


Figura 2. Interfaccia WebGIS del DSS: visualizzazione interattiva del dato di precipitazioni piovose prodotto mediante il modello CHyM. Il dato di precipitazione (in mm-h-1) è sovrapposto ai layer geospaziali di alcune CI presenti nell’area di studio

Nel secondo anno di attività, a cui questo report si riferisce, gli scenari di precipitazione vengono utilizzati per prevedere la portata su tutta la rete idrografica del dominio geografico preso in considerazione. Sulla base di queste previsioni vengono calcolati degli indici di allarme che servono ad individuare i segmenti della rete drenante che ci si aspetta possano essere soggetti a fenomeni critici dal punto di vista idrologico (esondazioni ecc.).

Nel prossimo paragrafo, partendo da una analisi sintetica tesa a far comprendere le difficoltà delle simulazioni idrologiche, sia dal punto di vista della loro validazione che dal punto di vista del loro effettivo utilizzo in modalità operativa, verranno dettagliatamente definiti e discussi gli indici di allerta ed il loro impiego. Questa analisi tende soprattutto ad evidenziare l’aspetto più innovativo ed originale di questo lavoro, ovvero il calcolo di indici generali per il *flood alert mapping*.

Nel paragrafo successivo, viene illustrato come gli indici vengano “specializzati” e forniti, in termini di sequenza temporali, per siti ritenuti strategici e specialmente per i siti di interesse critico per la gestione da parte di Areti¹ Spa, società del gruppo ACEA, che gestisce la rete a Bassa Tensione (BT) e a Media Tensione (MT), nell’area Metropolitana di Roma Capitale.

Le conclusioni evidenziano come l’approccio che si è implementato sia facilmente espandibili ad altre regioni, domini geografici ed altri enti che possano essere interessati alla prevenzione e gestione delle situazioni di allarme idrologico.

¹ <https://www.aret.it/>

2 Gli indici di allarme idrologico

E' ancora poco compreso, da parte di gran parte della opinione pubblica ma anche da parte delle Autorità di Protezione Civile, che gli effetti al suolo, provocati da precipitazioni intense, non dipendono "banalmente" dall'intensità delle precipitazioni stesse o dalla precipitazione che si accumula in un certo intervallo di ore, ma dalla complessa distribuzione spaziale e temporale delle piogge. Molti esempi si potrebbero portare per mostrare come la localizzazione dei massimi dei campi di precipitazione non coincidano affatto, nella stragrande maggioranza dei casi, con i tratti della rete fluviale che sono soggetti ad esondazioni o a fenomeni critici dal punto di vista delle portate che si vengono a formare; occorre infatti considerare il complesso fenomeno dello scorrimento delle acque superficiali e la sequenza con cui i picchi di precipitazione investono le diverse zone di un certo bacino.

Come esempio estremo, ai soli fini di far comprendere il concetto, possiamo pensare che se una perturbazione si muove lungo l'asta principale di un bacino verso monte, investendo quindi il territorio dalla foce verso le sorgenti, il nucleo del campo di precipitazione verrà drenato, man mano, da tratti di fiume che si trovano "in secca" o comunque con un basso livello di portata. Se, al contrario, immaginiamo che la perturbazione si muova al contrario, dalle zone più montuose verso il mare, è facile comprendere come, in questo caso, la precipitazione scorre verso segmenti della rete fluviale che stanno già drenando quanto è piovuto a monte nelle ore precedenti. Nei due casi, anche facendo l'ipotesi che la precipitazione accumulata risulti identica in ogni punto del bacino, la portata che si forma sarà completamente diversa.

Se da un lato, l'uso sempre più diffuso delle reti informatiche e l'aumento formidabile delle potenze di calcolo hanno consentito una larga e capillare diffusione delle previsioni meteorologiche, d'altro canto poche e quasi sempre molto limitate sono le applicazioni che tendono a fornire una affidabile stima degli effetti al suolo che i fenomeni meteorologici possono provocare. Le applicazioni che ambiscono a stimare e prevedere, in tempo utile per le Autorità ed i semplici cittadini, gli effetti al suolo delle precipitazioni sono molto poche e limitate a pochissimi ambiti territoriali e bacini fluviali. Le ragioni di questo "bug" del sistema previsionale sono molteplici e non possono qui essere analizzati in dettaglio; discuteremo invece brevemente solo di alcuni aspetti tecnici che sono necessari per descrivere gli aspetti più innovativi del lavoro che viene qui descritto.

Occorre innanzitutto notare che la modellistica idrologica "soffre" di una intrinseca difficoltà a validare i risultati delle simulazioni; oltre alla complessa algoritmica numerica indispensabile ad una corretta simulazione del ciclo idrologico, esistono difficoltà ad avere a disposizione sia l'input che l'output dei modelli idrologici. La precipitazione, infatti è un campo molto complesso da misurare e ricostruire in maniera dettagliata su una vasta zona di territorio a causa della sua marcata variabilità sia spaziale che temporale; anche la rete pluviometrica, che rappresenta lo strumento sicuramente più affidabile e preciso, non è quasi mai sufficiente a coprire la variabilità della pioggia soprattutto in una orografia molto complessa come quella che caratterizza il nostro paese; si pensi, a titolo di esempio, al fatto che, per ovvie ragioni pratiche, gli strumenti di misura sono posti quasi esclusivamente nei centri abitati o lungo le principali vie di comunicazioni e quindi le misure che riguardano le zone montuose o più impervie sono molto scarse. D'altro canto anche l'output dei modelli idrologici, la portata, è raramente misurata con continuità: pochissime serie storiche esistono e limitatamente a pochi fiumi; in molti casi la portata viene stimata dal livello idrometrico, ma queste stime sono soggette ad enormi errori soprattutto in condizioni di piena che sono poi quelle che maggiormente interessa simulare.

Esiste poi un problema ancora più critico che riguarda la determinazioni di soglie di allerta; anche se riusciamo a stimare o prevedere con buona affidabilità i livelli di portata, è molto difficile rispondere ad una semplice ma fondamentale domanda: quale livello di portata è tale da mettere in crisi un certo tratto della rete fluviale e provocare una esondazione?

Per cercare di superare queste difficoltà, nell'ambito dello sviluppo del modello CHyM² e segnatamente in questo progetto, si è cercato di definire un approccio più generale per determinare degli indici di allarme che, calcolati dall'output del modello, siano in grado di evidenziare i segmenti delle rete drenante dove ci si aspetta di osservare dei fenomeni critici. I due indici di allarme proposti, di cui diamo qualche dettaglio di seguito, sono calcolati in maniera affatto indipendente in maniera da avere una ridondanza che può rinforzare la previsione di allarme nel caso in cui i due approcci diano risultati molto simili.

2.1 CAI (CHyM Alarm Index)

Un primo indice viene chiamato **CAI** (*CHyM Alarm Index*) ed è calcolato a partire dallo scenario di precipitazione osservato e/o previsto. Ricordiamo che, come meglio descritto nel report relativo al primo anno di attività (Report RdS/PAR2015/022), le mappe di precipitazione vengono ottenute, durante le simulazioni effettuate con il modello CHyM, come la migliore integrazione di tutti i dati, che di ora in ora, sono disponibili; in particolare si integrano le osservazioni in situ (pluviometri) con le stime da radar meteorologico e, per i sottodomini, che momentaneamente risultassero scoperti, si utilizzano le precipitazioni stimate dai modelli meteorologici. Per ogni punto della griglia di CHyM, si calcolerà quindi il CAI come il rapporto tra il totale della precipitazione drenata dal bacino a monte della cella, e la superficie totale del bacino.

Il CAI ha quindi una semplice interpretazione fisica, ovvero rappresenta la precipitazione media drenata da un elemento della rete idrografica. Per rendere l'indice omogeneo su tutto il bacino considerato, il calcolo viene effettuato considerando un intervallo di tempo pari al tempo medio di corrivazione del sottobacino considerato, ovvero del bacino a monte della cella che si considera.

Prima di descrivere in dettaglio il calcolo dell'indice, notiamo intanto che il fatto di considerare la precipitazione in un certo intervallo temporale ed in certo dominio geografico riduce di molto le incertezze legate alla imprecisione con cui la pioggia viene misurata o prevista; uno spostamento di qualche ora della precipitazione prevista rispetto a quanto verrà osservato, non incide, infatti, sull'indice che abbiamo definito purché lo *shift* temporale sia ragionevolmente minore del tempo di corrivazione medio che definiremo più in dettaglio tra poco.

Formalmente il CAI, ad un certo istante t e per ogni cella elementare in cui è diviso il dominio, è calcolato come:

$$CAI = \frac{\int_{UP} \int_{t-\Delta t}^t P(t,s) dt ds}{\int_{UP} ds}$$

s e t sono qui rispettivamente le variabili temporali e spaziali, mentre $P(t,s)$ rappresenta il campo di precipitazione. L'integrale spaziale viene effettuata, per ogni cella elementare, considerando il dominio spaziale a monte del punto di griglia considerato. Per rendere inoltre più significativo l'indice, anziché il campo di precipitazione, viene considerata l'acqua effettivamente disponibile per il runoff, ovvero la precipitazione meno i contributi di perdita per infiltrazione, evapotraspirazione ed evaporazione; in caso di copertura nevosa viene inoltre considerato il contributo al ciclo idrologico che viene dallo scioglimento delle nevi.

² <http://cetemps.aquila.infn.it/chym/>



CHyM model. Estimation of average runoff time for the upstream basin

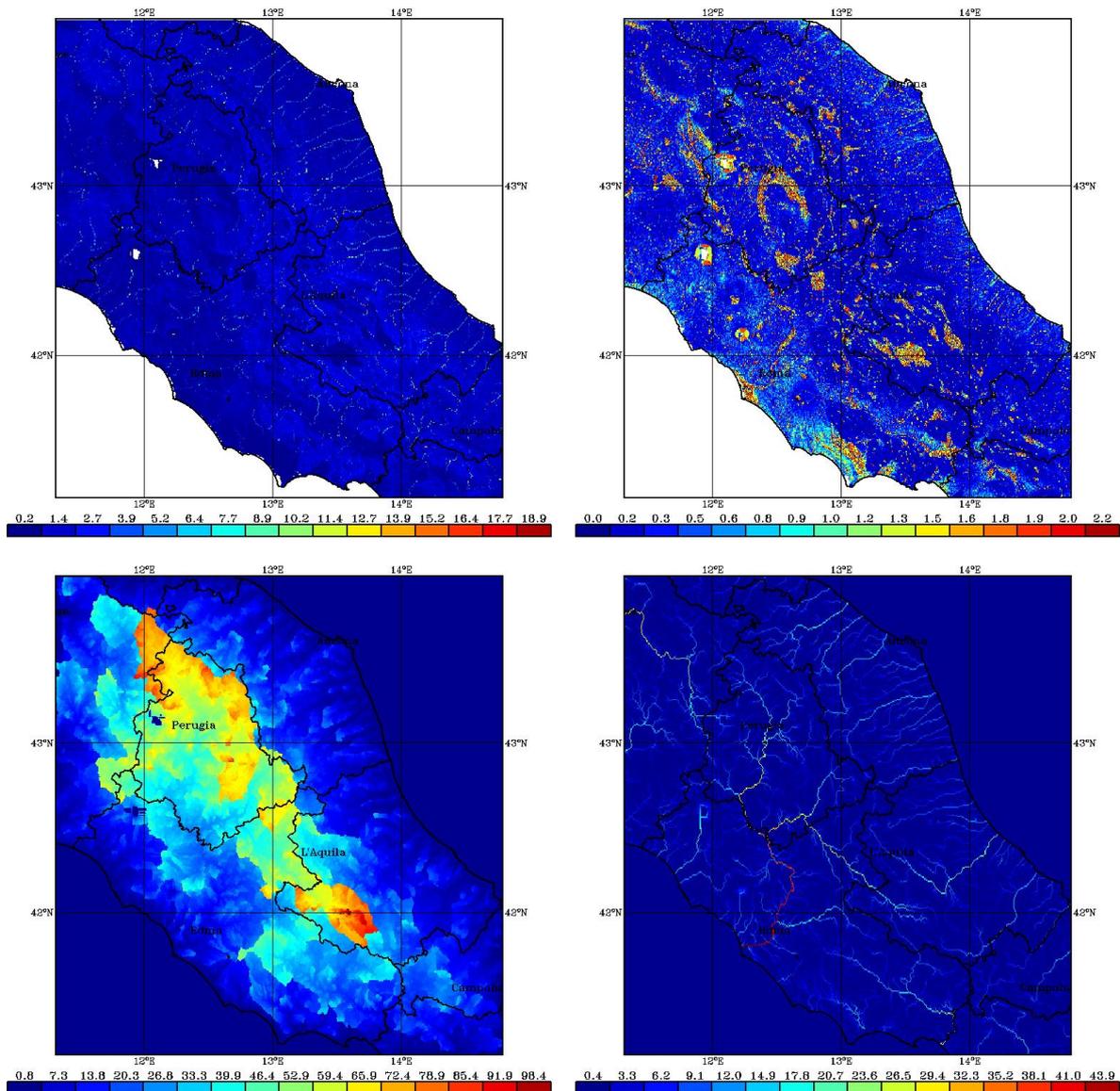


Figura 3. I quattro step attraverso cui si calcola il tempo medio di corrivazione per ogni cella elementare del dominio simulato. Il primo passo (figura in alto a sinistra) è quello di calcolare la velocità di corrivazione per ogni cella elementare, questa dipende in particolare dall'inclinazione del terreno nella direzione in cui scorrono le acque superficiali e dalla tipologia del territorio che determina il coefficiente di scabrezza; dalla velocità di corrivazione, si calcola il tempo di corrivazione per la singola cella, ovvero quale tempo impiega l'acqua a scorrere attraverso il singolo elemento di griglia (figura in alto a destra). Il passo successivo consiste nel determinare il tempo totale di corrivazione, fino al mare per ogni cella (figura in basso a sinistra); come si vede per le zone più lontane dalla foce del Tevere, tale tempo è dell'ordine di 3-4 giorni. L'ultimo passo consiste nel calcolare il tempo medio di corrivazione nel bacino a monte di ogni cella, nell'ultimo pannello della figura il tempo (in ore) è calcolato appunto facendo la media dei tempi di corrivazione della figura precedente di tutte le celle a monte del punto considerato.

Ovviamente un problema molto critico e complesso, per poter applicare l'indice in maniera generale su un arbitrario dominio geografico, consiste nel determinare l'intervallo temporale di integrazione ovvero quello che abbiamo indicato come Δt nella formula precedente. Per risolvere questo problema, l'approccio adottato è piuttosto sofisticato ed è illustrato nella Figura 3.

Essenzialmente si considera un Δt diverso per ogni cella elementare e questo intervallo viene calcolato come il tempo medio di corrivazione del bacino a monte. Concettualmente definiamo, in accordo con quanto è normalmente utilizzato nella letteratura scientifica, il tempo di corrivazione (*runoff time*) il tempo medio che una goccia di pioggia impiega per arrivare alla foce, scorrendo in superficie; la "media" a cui qui ci riferiamo è una media spaziale ovvero considerando un insieme di celle elementari; per la definizione dell'indice di allarme l'insieme delle celle è costituito da tutte quelle che si trovano a monte di un punto di griglia dove calcoleremo l'indice con la formula data in precedenza.

Più in dettaglio: il calcolo del runoff time avviene attraverso 4 quattro steps che sono illustrati nella Figura 3; le 4 figure rappresentano le 4 matrici intermedie che si calcolano per arrivare al tempo di corrivazione. Il primo passo (figura in alto a sinistra) è quello di calcolare la velocità di corrivazione per ogni cella elementare, questa dipende in particolare dall'inclinazione del terreno nella direzione in cui scorrono le acque superficiali e dalla tipologia del suolo che determina il coefficiente di scabrezza; dalla velocità di corrivazione, si calcola il tempo di corrivazione per la singola cella, ovvero quale tempo impiega l'acqua a scorrere in superficie attraverso il singolo elemento di griglia (figura in alto a destra).

Il passo successivo consiste nel determinare il tempo totale di corrivazione, fino alla foce per ogni cella (figura in basso a sinistra); come si vede per le zone più lontane dalla foce del Tevere, tale tempo è dell'ordine di 3-4 giorni (la scala è in ore).

L'ultimo passo consiste nel calcolare il tempo medio di corrivazione nel bacino a monte di ogni cella, nell'ultimo pannello della Figura 3 il tempo (in ore) è calcolato appunto facendo la media dei tempi di corrivazione di tutte le celle a monte del punto considerato. Ad esempio se ci mettiamo esattamente sulla foce del Tevere, vediamo che il tempo medio di corrivazione di tutti i punti a monte (ovvero di tutto il bacino del fiume) è dell'ordine di 48 ore.

Una lunga serie di test, condotta negli ultimi anni sulla maggior parte degli eventi severi che hanno colpito la penisola italiana nell'ultimo decennio, ed una paziente attività di calibrazione portata avanti su questi casi studi, ci consente di evidenziare due conclusioni:

1. Il CAI è effettivamente in grado di selezionare i segmenti della rete drenante che sono sottoposti a stress critico
2. Il valore limite di tale indice, al disopra del quale ci si aspetta una situazione critica è, tanto per far riferimento ad un numero "tondo", dell'ordine di 100 mm/giorno. Si noti bene che questo valore NON corrisponde ad un valore di precipitazione in un punto, ma alla precipitazione media in una certa parte del bacino e che l'intervallo, sia spaziale che temporale su cui si calcola la media cambia per ogni punto di griglia. Ricordiamo inoltre, come specificato sopra, che parliamo per semplicità espositiva di pioggia, ma intendiamo in realtà la precipitazione effettivamente disponibile per lo scorrimento superficiale.

2.2 BDD (*Best Discharge-based Drainage alarm index*)

Naturalmente, avendo a disposizione una simulazione idrologica in grado di prevedere la portata sull'intero bacino idrografico, appare ovvio cercare di sviluppare un approccio per l'*alert mapping* che si basi anche sui valori di portata previsti. Questo altro indice è chiamato **BDD** (*Best Discharge-based Drainage alarm index*); il *Best*, in questo acronimo, si riferisce alla definizione che è apparsa migliore dal punto di vista delle performance cercate, ovvero quella di individuare i valori critici della portata per ogni elemento della rete drenante. L'idea, in astratto, è quella di rapportare il valore massimo della portata in un certo punto di griglia, con le dimensioni trasversali del fiume in quel punto. La sezione dell'alveo è solitamente stimata, in gran parte della letteratura scientifica, sulla base del cosiddetto raggio idraulico, essendo quest'ultimo una funzione circa lineare dell'area drenata a monte. Più in dettaglio, per ogni punto di griglia e per ogni intervallo di tempo simulato dal modello che va da un generico istante t_1 ad un generico istante t_2 , definiamo l'indice BDD come:

$$BDD(t_1 \rightarrow t_2) = \frac{\max_{t_1 \rightarrow t_2} Q(t)}{R^2}$$

Il numeratore rappresenta il valore massimo della portata che si prevede per l'intervallo di tempo considerato, mentre al denominatore compare il raggio idraulico del fiume nel punto considerato. In accordo con la letteratura scientifica, quest'ultimo può essere stimato come:

$$R = \alpha + \beta D^\gamma$$

essendo D l'area a monte drenata dal punto in esame, mentre i coefficienti α , β e γ assumono i valori presi dalla letteratura, tipicamente considerando il raggio idraulico in metri e l'area drenata in Km^2 , si assume $\alpha=0.0015$, $\beta=0.35$ e $\gamma=0.33$.

Oltre che per le sue performances testate analizzando decine di casi studio, il BDD appare adatto all'utilizzo in modalità operativa in quanto ha una semplice interpretazione fisica; si tratta, infatti, di una portata "*normalizzata*" che rappresenta il flusso di precipitazione attraverso la sezione considerata. Si trova che un arbitrario elemento della rete drenante è in grado di resistere ad una portata massima di circa 150 mm/giorno, al di sopra di questo limite la sezione del fiume risulta mediamente insufficiente e quindi ci si aspetta che il fiumi esondi o allaghi le aree alluvionali circostanti.

L'esperienza acquisita mostra che il BDD è più adatto ad individuare i segmenti dei bacini medio grandi che sono sottoposti a maggiore stress, mentre il CAI è più efficace a localizzare situazioni di rischio nei torrenti medio-piccoli; per questo motivo verranno prodotte mappe con entrambi gli indici (si veda ad esempio, Tomassetti et al., 2005 per applicazioni a singoli casi studio e calibrazione dei valori di allerta).

3 La visualizzazione degli indici di allarme

I due indici che sono calcolati come descritti al punto precedente, possono essere visualizzati attraverso delle mappe di allarme che vengono prodotte in modalità operativa. In queste mappe viene “disegnato” il reticolo idrografico di tutto il centro Italia che comprende, per intero, anche il bacino del Tevere. Ogni tratto della rete drenante viene “colorato”, con diversi toni di blu, giallo e rosso a seconda del livello di allerta o allarme che si prevede. Un esempio è riportato nella Figura 4.

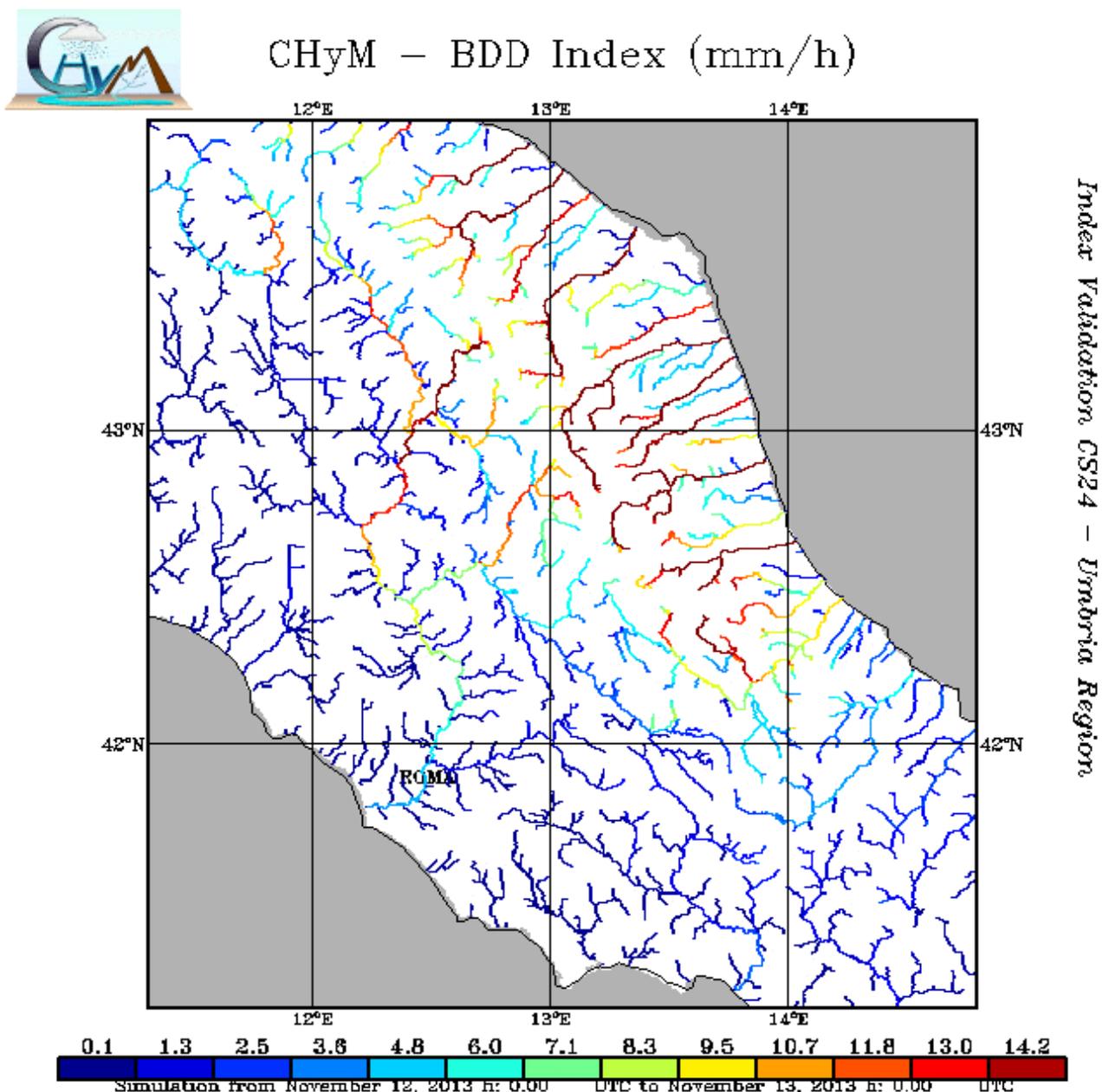


Figura 4. Un esempio di mappa di allarme prodotta con l'indice BDD riguardante la simulazione del caso studio riguardante l'evento severo che ha colpito il centro Italia ed in particolare la regione Marche nel novembre del 2013.

Tali mappe rappresentano una ottima sintesi grafica dei risultati delle simulazioni, tuttavia potrebbero risultare di difficile interpretazione per utenti non specialisti o che sono interessati a fenomeni critici riguardanti un solo sito o comunque un ambito territoriale molto limitato. Occorre inoltre ricordare che la mappa rappresenta una visione statica, di un complesso fenomeno che si evolve rapidamente nel corso di poche ore, pertanto la completa descrizione del risultato della simulazione sarebbe in realtà data non da una singola mappa, ma da un insieme di queste.

Un esempio di queste mappe viene riportato nella Figura 4 e si riferisce all'indice BDD calcolato sulla base dei risultati della simulazione del caso studio dell'evento severo che ha colpito il centro Italia, ed in particolare la regione Marche, nel novembre del 2013. La mappa si riferisce ad un periodo di 24 ore a partire dalla mezzanotte tra il 12 ed il 13 novembre. Come spiegato al paragrafo precedente, la mappa viene prodotta considerando, per ogni punto di griglia, quello che in genere chiamiamo il *Worst Expected Event*, in pratica il picco massimo della portata. Come si vede il grafico è facilmente "leggibile" evidenziando in maniera netta i segmenti della rete drenante dove il BDD si avvicina o addirittura supera la soglia che è stata calibrata come livello di allerta. E' da notare come ben si evidenzia il fatto che la particolare distribuzione spaziale e temporale delle precipitazioni induce un livello di allerta che si avvicina a quello massimo nell'alto bacino del Tevere, mentre l'indice di stress si abbassa, pur non essendo irrilevante, man mano che ci si avvicina alla foce.

Si "comprende" anche, dall'analisi attenta della mappa, che il picco di portata si genera prevalentemente dalle precipitazioni che interessano le aree interne e particolarmente quelle umbre, ma tale picco di portata diventa "molto meno pericoloso" in quanto, all'approssimarsi della foce, aumenta la sezione e quindi la capacità drenante del fiume, di questo si tiene conto nel denominatore della formula con cui si calcola il BDD index; questa evidenza la si desume anche dal fatto che i torrenti adiacenti al Tevere, in prossimità di Roma, hanno tutti un valore molto basso, quindi il picco della portata è verosimilmente generato nella parte più a monte del bacino.

Un'altra osservazione importante che si può desumere dall'esempio riportato nella Figura 4 è che l'indice di allerta non "somiglia" affatto ad una mappa delle precipitazioni, se si guarda la parte più a monte del bacino del Tevere si noterà che, mentre l'asta principale è denotata da un valore dell'indice "importante", la maggior parte degli affluenti sono caratterizzati da un valore basso del BDD, o comunque abbondantemente al di sotto della soglia ritenuta critica; questo da una idea del valore aggiunto che la simulazione idrologica introduce nella previsione e giustifica, sul piano oggettivo, le osservazioni fatte, in termini astratti, nella parte preliminare del paragrafo precedente, in cui si dava enfasi al fatto che gli effetti al suolo dipendono fortemente ed in maniera non lineare dalla peculiare distribuzione spaziale e temporale che caratterizza un singolo evento di precipitazione.

Notiamo infine che il caso studio che riportiamo è implicitamente un test sul falso allarme, infatti la mappa evidenzia e "distingue" quantitativamente i segmenti della rete drenante che sono soggetti a maggiore stress, segnatamente i torrenti delle Marche, dai settori dei bacini che invece sono soggetti a "normali" livelli di portata.

Una ulteriore visualizzazione del caso studio di Figura 4 è riportata nella Figura 5. Per ragioni di esposizione che chiariremo tra poco, qui la mappa è prodotta non per l'intera giornata, ma solamente per un'ora intorno alle ore 17 del 12 novembre. Per un generico fruitore, questo tipo di visualizzazione consente di sovrapporre agevolmente all'indice di allarme tutti i layers di informazioni che sono normalmente disponibili sulla piattaforma di Google; si ha quindi immediata percezione, anche attraverso le funzioni di zoom, dei comuni, delle strade e delle infrastrutture in genere che possono essere soggette a danni o pericolo a causa degli eventi idrologici previsti. E' evidente, inoltre, come il generico utilizzatore possa facilmente concentrare la sua osservazione e la sua analisi su una parte specifica del dominio geografico simulato.

Esiste inoltre un dettaglio tecnico su cui vale la pena spendere qualche parola: la sovrapposizione della mappa del modello alla "vera" immagine da satellite consente di percepire il maniera intuitiva come la rete

drenante prodotta da CHyM sia, in certi punti “grossolana” e ben distinguibile dalla mappa idrografica dell’immagine reale. Questo porta a due osservazioni importanti: da un lato è una facile validazione della rete idrografica che il modello riproduce a partire dalle informazioni sul DEM; dall’altra da all’osservatore la percezione grafica che il modello rappresenta comunque una approssimazione della realtà; non bisogna mai dimenticare, infatti, che CHyM o un qualunque altro modello numerico “lavora” su una rappresentazione semplificata della realtà ed è quindi illusorio o ingannevole che l’evoluzione di un sistema assai complesso, in questo caso la rete drenante, possa essere predetto o simulato in maniera assolutamente deterministica.

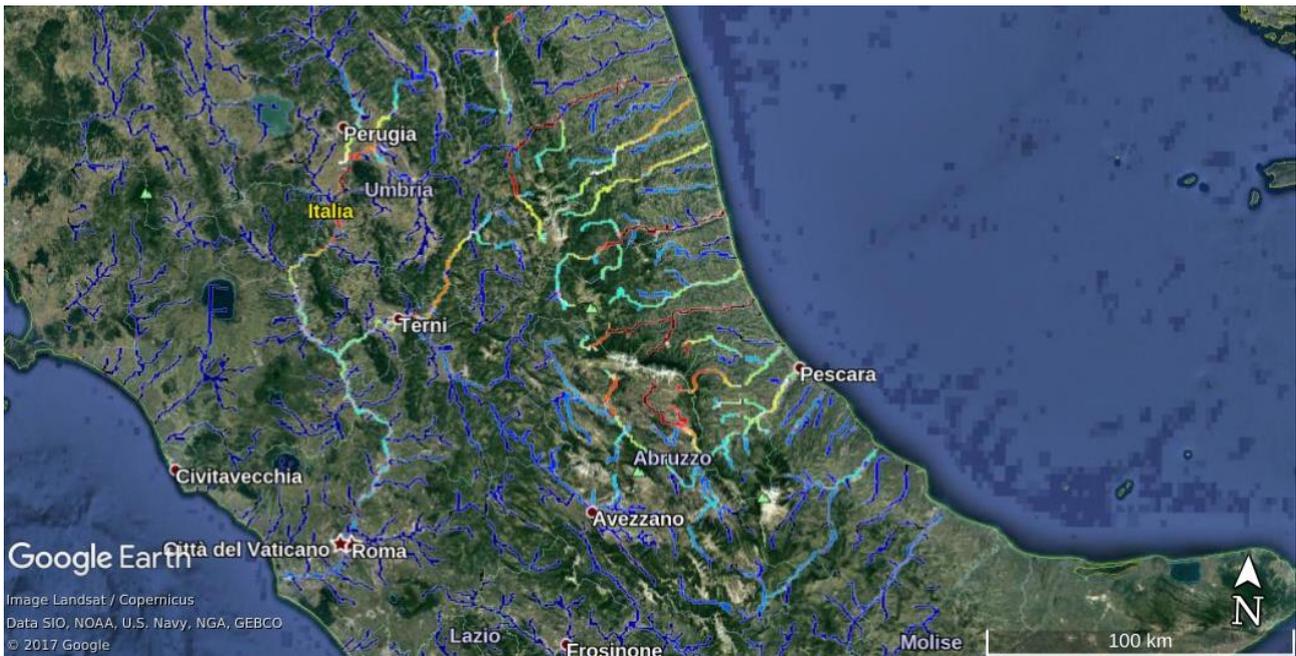


Figura 5. Visualizzazione della mappa di allarme di Figura 2 sulla piattaforma Google-Earth. Per un generico fruitore, questo tipo di visualizzazione consente di sovrapporre agevolmente all’indice di allarme tutti i layers di informazioni che sono normalmente disponibili sulla piattaforma di Google; si ha quindi una immediata percezione, anche attraverso le funzioni di zoom, dei comuni, delle strade e delle infrastrutture in genere che possono essere soggette a danno o pericolo a causa degli eventi idrologici previsti.

Durante le attività per l’analisi di *risk forecast/assessment*, condotte durante la presente annualità progettuale, le mappe di cui la Figura 4 e la Figura 5 sono esempi, sono state rese disponibili in modalità operativa su una apposita pagina web sviluppata all’Università dell’Aquila specificatamente per questo progetto. In genere il modello “gira” ogni giorno nelle prime ore del mattino, inglobando il campo integrato di precipitazione che viene calcolato sulla base di tutte le osservazioni disponibili (pluviometri, radar, satellite), mentre per gli steps di tempo “futuri”, rispetto al momento in cui la predizione operativa viene effettuata, la precipitazione viene interpolata sulla griglia di CHyM dalle previsioni meteorologiche disponibili.

Come già evidenziato, per vari aspetti, nella dettagliata discussione sulla Figura 4 e sulla Figura 5, queste mappe costituiscono, per i fruitori del DSS, una importante e rapida “overview” degli eventi che ci aspettano dal punto di vista idrologico. Questa rapida fruibilità è probabilmente il maggior risultato dello sforzo condotto per normalizzare gli indici sulle dimensioni del fiume (raggio idraulico). Nondimeno va anche ricordato che, in condizioni operative, questa mappatura potrebbe risultare troppo sintetica in quanto “nasconde” l’evoluzione dinamica dei fenomeni; come descritto più dettagliatamente al paragrafo precedente, nella mappa di Figura 4 è riportato, per ogni elemento della griglia che si trovi sulla rete

drenante, l'evento peggiore ovvero il picco massimo del valore di BDD, ma è evidente che questi picchi investono i diversi punti della rete idrografica in momenti diversi nell'arco temporale considerato. Per evidenziare questo problema, nella Figura 5 abbiamo scelto, invece, di riportare la situazione per una sola ora e, come si vede facilmente, la mappatura dell'indice è sensibilmente diversa e le situazioni di allarme riguardano solo un sottoinsieme dei segmenti evidenziati nella figura precedente.

Per ovviare a questo critico aspetto sulla "fruibilità" dei risultati, è stato necessario "specializzare" le previsioni per singoli siti. A tal fine, tra le CI presenti nell'area di interesse, si è fatto riferimento alla rete elettrica di distribuzione gestita da Areti SpA. In particolare, nell'ambito delle presenti attività progettuali sono stati resi disponibili i dati relativi ai vari elementi della rete a Media Tensione (Cabine Primarie, CP; Cabine Secondarie, CS, topologia e tracciato linee aeree ed interrato), che includono la posizione geografica e le caratteristiche tipologiche di ciascun elemento. Questo ulteriore sviluppo ha il doppio obiettivo di personalizzare le previsioni per singoli utenti e di dettagliare l'evoluzione temporale dei fenomeni con una risoluzione temporale di un'ora che appare più adeguata per guidare interventi di emergenza o di prevenzione. Un esempio di questa ulteriore visualizzazione dei risultati del modello è riportato nella Figura 6. Nella figura viene riportata la sequenza temporale degli indici di allarme calcolati per un caso studio sulla località di Castel Madama, nei pressi nei pressi di una Cabina Primaria di Areti SpA.

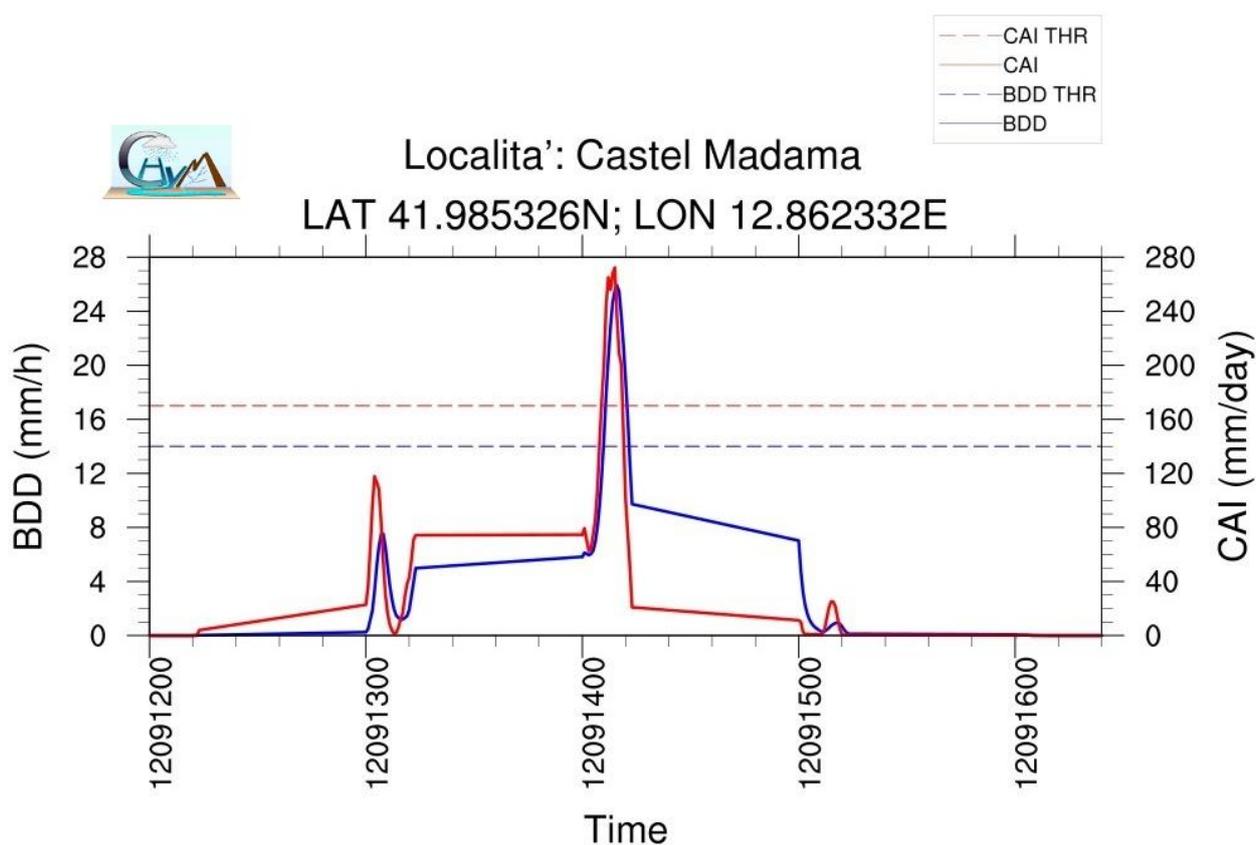


Figura 6. Un esempio della sequenza temporale degli indici di allarme calcolati, per un caso studio del 2012, nella località di Castel Madama, nei pressi nei pressi della cabina primaria dell'ACEA. Oltre alla sequenza prevista degli indici, la grafica fornisce i due livelli di threshold al di sopra del quale ci si aspetta che l'evento possa provocare esondazioni o comunque causare danni alle strutture.

Oltre alla sequenza prevista degli indici, il grafico fornisce i due livelli di *threshold* al di sopra del quale ci si aspetta che l'evento possa provocare esondazioni o comunque causare danni alle strutture.

Questa grafica consente, con immediatezza, di guardare il profilo temporale di rischio sulla località in questione. Oltre alla ovvia possibilità che si fornisce, a chi investito di tale responsabilità debba sovrintendere ad uno specifico sito o impianto, ci interessa rimarcare come lo sviluppo di questo "estrattore" mirato di informazioni apre scenari pressoché infiniti di portabilità dell'approccio sviluppato. E' infatti assolutamente agevole, a questo punto, estrarre da una possibile simulazione idrologica effettuata su tutta l'Italia, informazioni specifiche per Enti, Autorità o Comunità che siano interessati alla gestione o alla prevenzione del rischio per uno specifico sito.

4 Gli indici di allarme integrati nella Piattaforma DSS

Le analisi di *risk forecast/assessment* mediante modellistica meteorologica ed idrologica, precedentemente descritte, si inseriscono nel contesto dello sviluppo della Piattaforma DSS per la stima del rischio e degli impatti sulle CI del distretto urbano (rif. Report RdS/PAR2016/020). A tale fine, le attività sono state condotte in collaborazione con ENEA, in modo da fornire i risultati numerici descritti nel precedente Paragrafo, e metterli a disposizione per l'utilizzo integrato nel DSS. Gli indici di allarme BDD e CAI sono stati resi disponibili sia in forma grafica che numerica (Figura 7).

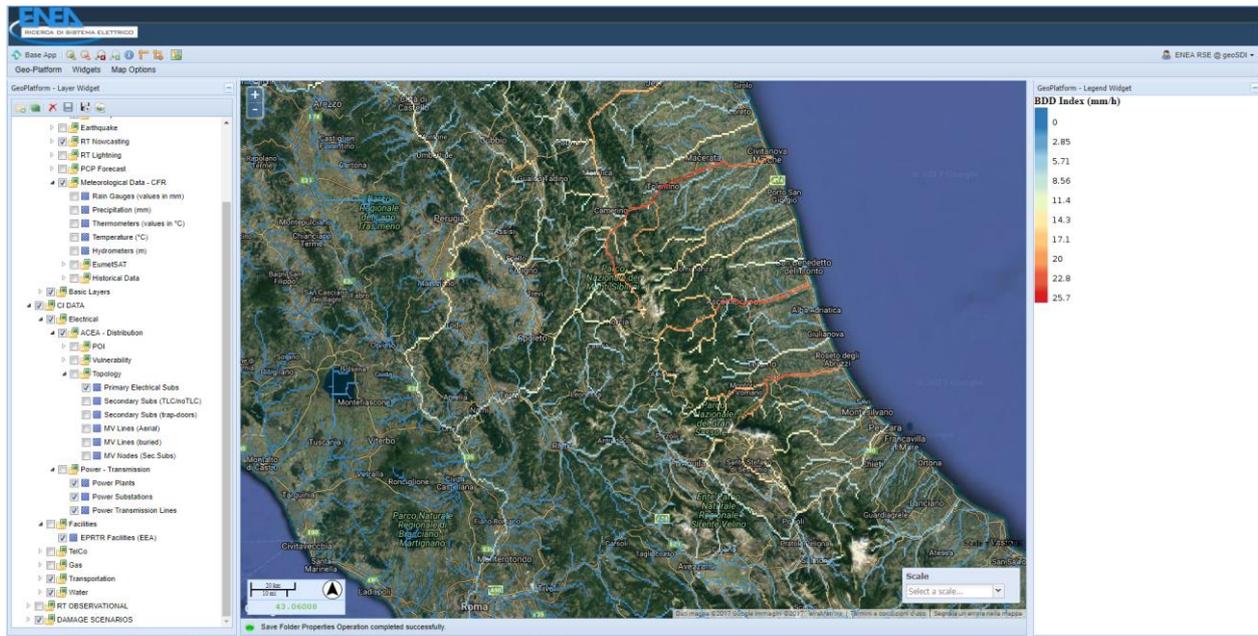


Figura 7. Visualizzazione dell'indice BDD nel contesto della Piattaforma DSS

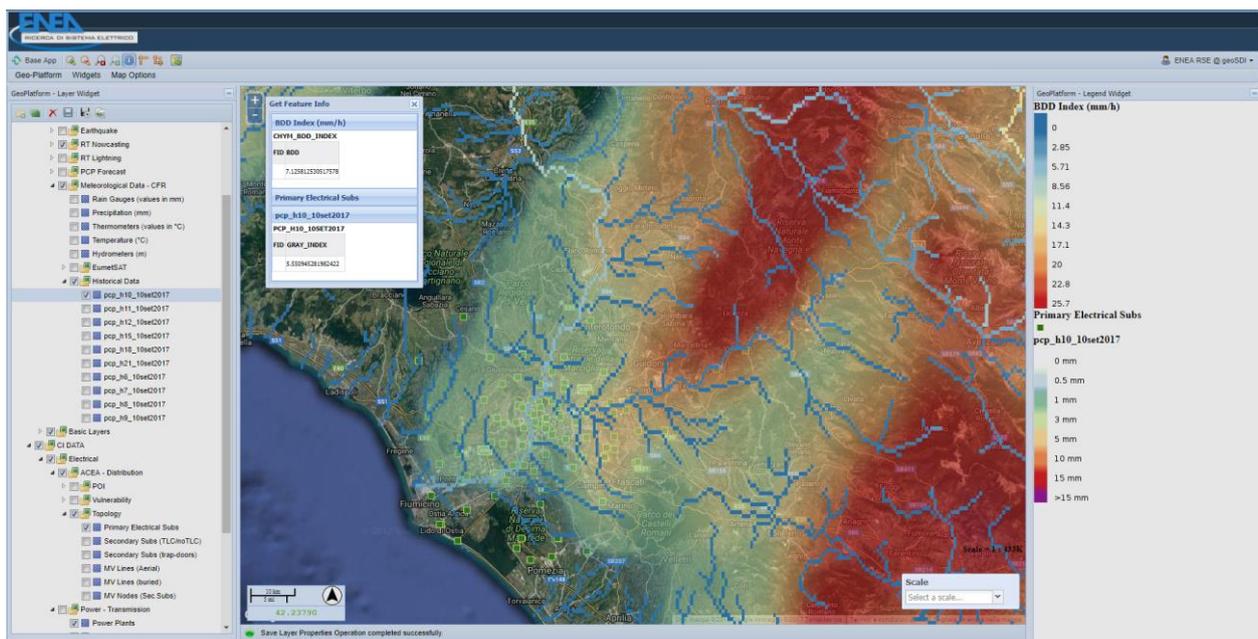


Figura 8. Esempio di visualizzazione integrata di: a) Mappa di precipitazioni previste (10 Settembre 2017, valori in mm/h); b) indice BDD; c) localizzazione delle Cabine Primarie (raffigurate mediante i quadrati verdi) della rete di distribuzione Areti SpA

Attraverso la loro fruizione e visualizzazione nell'ambito della Piattaforma DSS (Figura 8) è possibile individuare facilmente i segmenti della rete drenante per i quali ci si aspetta che siano sottoposti a maggiore stress idrologico ed incrociare tale informazione (dal punto di vista analitico e spaziale) con la distribuzione territoriale dei vari elementi delle CI di interesse (ad esempio, la rete di distribuzione elettrica gestita da Areti SpA).

5 Conclusioni

Nell'ambito di questo report abbiamo fornito i dettagli di un approccio generale che è stato sviluppato per consentire di prevedere, su un ampio dominio geografico, gli effetti al suolo della precipitazione e di specializzarne la sintetica visualizzazione per specifici siti di interesse.

Nel complesso l'implementazione si basa su una catena che, partendo dalle previsioni meteo integrate con diverse tecniche osservative, consente una realistica previsione idrologica per poi "focalizzare" i risultati della previsione idro su specifici siti di interesse strategico o sociale.

Al di là del raggiungimento degli specifici obiettivi previsti dal progetto, appare importante sottolineare che gli aspetti innovativi dell'approccio e la sua intrinseca portabilità potranno consentire di espandere l'applicazione della catena predittiva in altri ambiti sia geografici che settoriali. L'utilizzo di quanto si è realizzato appare ancora più importante alla luce dei cambiamenti climatici in atto che sono destinati a provocare un critico aumento dei fenomeni estremi e segnatamente quelli legati a precipitazioni intense tali da mettere a dura prova la rete drenante dei bacini fluviali.

Allo stato attuale, si stima che i fenomeni al suolo legati alle precipitazioni estreme siano la più importante causa di morte e distruzione tra tutti i rischi naturali e che i danni provocati dalle alluvioni e dalle esondazioni superino, ogni anno, i 100 miliardi di dollari. Non è difficile quindi stimare che i risultati di questo lavoro, per alcuni versi pionieristico ed innovativo, sono destinati a diventare di strategica importanza in molti ambiti della vita sociale ed economica.

6 Riferimenti bibliografici

1. E. Coppola, B. Tomassetti, L. Mariotti, M. Verdecchia, G. Visconti, "Cellular automata algorithms for drainage network extraction and rainfall data assimilation", 52(3), Hydrol. Sci. J., (2007), pp. 579-592.
2. E. Coppola, M. Verdecchia, F. Giorgi, V. Colaiuda, B. Tomassetti, A. Lombardi, " Changing hydrological conditions in the Po basin under global warming", Sci. Total Environ, 493 (2014), pp. 1183-1196.
3. F. S. Marzano, M. Palmacci, D. Cimini, G. Giuliani and J. F. Turk, "Multivariate Statistical Integration of Satellite Infrared and Microwave Radiometric Measurements for Rainfall Retrieval at the Geostationary Scale", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, n. 42(5) (2004), pp. 1018-1032.
4. N. H. Packard, S. Wolfram, "Two-dimensional cellular automata", 38, J. Statist. Phys., (1985), pp. 901-946.
5. Tomassetti B., E. Coppola, M. Verdecchia, and G. Visconti, "Coupling a distributed grid based hydrological model and MM5 meteorological model for flooding alert mapping", Adv. Geosci., 2 (2005), pp. 59-63.

7 Abbreviazioni ed acronimi

CA – Cellular Automata o Automi Cellulari

BDD - Best Discharge-based Drainage alarm index

CAI - CHyM Alarm Index

CETEMPS - Centro di Eccellenza per l'integrazione di Tecniche di Telerilevamento e Modellistica Numerica per la Previsione di Eventi Meteorologici Severi

DEM - Digital Elevation Model ovvero Modello di Elevazione del Territorio

DSFC – Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche dell'Università dell'Aquila

ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

MM5 – Mesoscale Model versione 5, modello meteorologico sviluppato negli stati uniti

MODIS – MODerate resolution Imaging Spectroradiometer

NCEP - National Centers for Environmental Prediction

RSA - Rolling Stones Algorithm, algoritmo per la ricostruzione della rete drenante

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

WRF - Weather Research and Forecasting Model, modello meteorologico.

8 Curriculum scientifico dei partecipanti

Marco Verdecchia

Marco Verdecchia è nato a Giulianova (TE) il 20 giugno 1960.

Si è laureato in Fisica col massimo dei voti nel 1986 presso l'Università degli studi dell'Aquila discutendo una tesi sugli effetti delle eruzioni vulcaniche in stratosfera.

Dal 2000 ricopre il posto di ricercatore confermato, settore scientifico disciplinare FIS/06 presso l'Università degli Studi di L'Aquila.

Dal 2002 al 2016 è stato responsabile del Gruppo di Modellistica Idrologica del Centro di Eccellenza CETEMPS dell'Università dell'Aquila ed è stato tra gli autori del proposal per la creazione dello stesso Centro di Eccellenza.

Dal 2008 al 2013 è stato responsabile della unità di ricerca dell'Università dell'Aquila per il progetto FP7 Integrated project ACQWA "Assessing Climate change impacts on the Quantity and Quality of Water"

Dal 2000 ad oggi è stato titolare dei corsi di Fisica Generale e Metodi computazionali in vari corsi di Laurea presso l'Università degli studi dell'Aquila.

Ha trascorso lunghi periodi di lavoro e di studio all'estero, principalmente presso il National Center for Atmospheric Research (NCAR) di Boulder, in Colorado e presso il Centro Europeo per la Ricerca Nucleare (CERN) di Ginevra.

E' autore e coautore di circa 50 pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali, principalmente nel campo della Fisica delle Alte Energie, Fisica dell'Atmosfera ed Idrologia. I suoi principali campi di interesse riguardano lo sviluppo di modelli numerici per sistemi complessi. E' specializzato in particolare nell'applicazione di algoritmi biologici: reti neurali, automi cellulari, algoritmi genetici.

Barbara Tomassetti

Barbara Tomassetti è nata a Chieti il 26 gennaio 1974.

Nel 2000 ha conseguito la Laurea in Fisica presso l'Università degli studi dell'Aquila discutendo una tesi sugli effetti del land-use sul clima a scala regionale.

Nel 2004 ha conseguito il Dottorato in Fisica presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi dell'Aquila con una tesi sull'influenza delle polveri del deserto sulla precipitazione nell'area del Mediterraneo.

Nel 2003 è stata Short term visitor presso l'NCAR (National Center for Atmospheric Research) a Boulder, Colorado (NCAR).

Dal 2011 ricopre il ruolo di Tecnico Laureato presso il CETEMPS dell'Università dell'Aquila

E' coautrice di circa 25 pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali, principalmente nel campo della Fisica dell'Atmosfera e dell'Idrologia. I suoi principali campi di interesse riguardano lo sviluppo di modelli numerici per sistemi complessi.