Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO



Modellistica meteo-idrologica per la previsione del rischio e la valutazione degli impatti: casi di studio sulle infrastrutture elettriche del distretto urbano

Marco Verdecchia e Barbara Tomassetti

DSFC

Report RdS/PAR2018/032

MODELLISTICA METEO-IDROLOGICA PER LA PREVISIONE DEL RISCHIO E LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI: CASI DI STUDIO SULLE INFRASTRUTTURE ELETTRICHE DEL DISTRETTO URBANO

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

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2018
Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici
Progetto: D.7 Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano
Obiettivo: Obiettivo d: Sicurezza infrastrutture critiche e monitoraggio Smart District - Sotto-obiettivo d.1: 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 "Modellistica meteo-idrologica per la previsione del rischio e la valutazione degli impatti: casi di studio sulle infrastrutture elettriche del distretto urbano"
Responsabile scientifico ENEA: Maurizio Pollino
Responsabile scientifico Università dell'Aquila: Marco Verdecchia

Indice

Indice delle Figure 4
Sommario 5
1 Introduzione 6
2 Analisi dei casi studio 6
2.1 Il caso studio del 21 novembre 2013 8
2.2 Il caso studio del 11-12 dicembre 2008 13
2.3 Il caso studio del 20 ottobre 2011 18
3 Conclusioni 22
4 Riferimenti bibliografici 23
5 Abbreviazioni ed acronimi 23
6 Curriculum scientifico dei partecipanti 24

Indice delle Figure

Figura 1. Sommario dei casi studio analizzati; per ciascun caso è riportata la mappa delle precipitazioni accumulate nelle 24 ore intorno al momento in cui si è registrato il massimo delle precipitazioni.
Figura 2. Sequenza parziale delle mappe di precipitazione oraria per il caso studio del 21 novembre 2013. Si registrano una serie di violenti precipitazioni di breve durata che riguardano principalmente il litorale tirrenico e nelle prime ore del mattino del giorno successivo investono il sud del Lazio.
Figura 3. Sequenza parziale delle mappe dell'indice CAI per il caso studio del 21 novembre 2013. La situazione è caratterizzata da precipitazioni molto intense ma localizzate che lasciano prevedere situazioni critiche sulla rete idrologica limitatamente a pochi tratti secondari della rete drenante.
Figura 4. Tabella riassuntiva dell'indice di allarme CAI per i siti delle cabine primarie ACEA per il caso studio del 21 novembre 2013.
Figura 5. Sequenza parziale delle mappe di precipitazione oraria per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.
Figura 6. Sequenza parziale delle mappe dell'indice CAI per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.
Figura 7. Tabella riassuntiva dell'indice di allarme CAI per i siti delle cabine primarie ACEA per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.
Figura 8. Tabella riassuntiva dell'indice di allarme BDD per i siti delle cabine primarie ACEA per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.
Figura 9. Sequenza parziale delle mappe di precipitazione oraria per il caso studio del 20 ottobre 2011.
Figura 10. Sequenza parziale delle mappe dell'indice CAI per il caso studio del 20 ottobre 2011.
Figura 11. Tabella riassuntiva dell'indice di allarme CAI per i siti delle cabine primarie ACEA per il caso studio del 20 ottobre 2011.

Sommario

Il trimestre di attività del progetto che ha riguardato il PAR2018 è stato incentrato prevalentemente sulla simulazione di casi studio utilizzando i modelli e gli strumenti di analisi sviluppati nelle fasi precedenti del progetto.

I casi studio sono stati selezionati in collaborazione con il gruppo di lavoro dell'ENEA ed i tecnici di Areti S.p.a. (la società del gruppo ACEA che gestisce la rete a media tensione di Roma), sulla base delle situazioni critiche che si sono effettivamente registrate negli ultimi anni e che hanno comportato specifiche problematiche per alcuni dei propri impianti. Gli sviluppatori della modellistica non conoscono la natura e la localizzazione di tali situazioni critiche, ciò consentirà ai tecnici di Areti di valutare, in maniera assai stringente, durante una auspicabile prosecuzione del progetto, se la simulazione idrologica e, soprattutto, la sintetica visualizzazione delle situazioni di allarme previste, sarebbero potute essere di una qualche utilità, qualora fossero state prodotte in una situazione realmente operativa.

Sulla base delle simulazioni idrologiche, vengono rilasciati una serie di prodotti che mirano a dare una immediata percezione dell'evento in arrivo ed alla localizzazione dei siti di interesse strategico per Areti, dove le situazioni maggiormente critiche potrebbero verificarsi. Un aspetto estremamente critico nell'utilizzo operativo delle simulazioni idrologiche, infatti, consiste proprio nel "sintetizzare" i risultati delle simulazioni al fine di una rapida comprensione da parte dell'utente; d'altro canto questa "sintesi estrema" rischia di vanificare lo sforzo profuso al fine di rendere sempre più dettagliati e sofisticati i modelli di calcolo. Lo sforzo sinergico tra gli sviluppatori e gli utenti, riferito a precise situazioni di allarme accadute in passato, dovrebbe consentire un significativo passo avanti per superare queste difficoltà e rendere immediatamente fruibili i risultati delle simulazioni operative senza degradarne troppo la "qualità". A che punto siamo su questo ambizioso obiettivo viene illustrato nella relazione prodotta alla fine del progetto.

1 Introduzione

Nei prossimi paragrafi riassumeremo le peculiarità fondamentali del sistema di allarme idrologico che è stato sviluppato in questi anni e di verificare la sua reale efficacia ed utilizzabilità in alcune situazioni critiche che si sono verificate nel passato.

L'analisi dei vari casi studio si propone preminentemente di verificare se il sistema proposto sia efficacemente in grado di evidenziare quali tra le Cabine Primarie (CP) della rete a Media Tensione (MT) di Areti S.p.a. (la società del gruppo ACEA che gestisce la rete a media tensione di Roma) potrà essere soggetta a situazioni particolarmente critiche dal punto di vista delle condizioni idrologiche. I casi studio discussi sono selezionati tra i 12 effettivamente simulati ed i cui risultati sono completamente disponibili sulla piattaforma DSS sviluppata da ENEA ed Università dell'Aquila, allo scopo di verificare se il sistema sia in grado di prevedere le situazioni critiche per le cabine Areti, sia per eventi meteorologici caratterizzati da persistenti precipitazioni, sia per situazioni dominate da piogge intense ma molto localizzate ovvero quegli eventi che, con terminologia estremamente improvvida, vengono chiamate “bombe d'acqua”.

2 Analisi dei casi studio

In questa sezione discuteremo in dettaglio i casi studio simulati ed i risultati peculiari ottenuti per alcuni di essi. I casi studio sono stati selezionati dai tecnici di ACEA-Areti sulla base delle situazioni critiche che si sono effettivamente registrate negli ultimi anni e che hanno comportato specifiche problematiche per alcuni dei propri impianti.

In totale sono stati analizzati 12 casi studio e tutti, tranne uno, sono caratterizzati da uno scenario di precipitazioni intense che hanno riguardato il bacino del Tevere ed i principali affluenti di questo. I casi sono inoltre rappresentativi di diverse situazioni stagionali e, conseguentemente, di diverse condizioni meteorologiche generali. Una panoramica delle situazioni simulate ed analizzate è disponibile nella Figura 1 dove sono riportate le mappe delle precipitazioni accumulate nelle 24 ore centrate sul momento più critico dell'evento. Gli scenari di precipitazione vengono ricostruiti con risoluzione temporale oraria, sulla griglia del modello CHyM (cfr. Report RdS/PAR2016/022), a partire dalle serie disponibili di osservazioni, in vari punti del dominio. I dati sono raccolti presso il CETEMPS dai diversi enti che si occupano della gestione delle reti di osservazioni pluviometriche e vengono poi resi omogenei per poter essere facilmente utilizzati nelle simulazioni idrologiche. L'algoritmo che consente di ricostruire le mappe di pioggia oraria, si basa sui concetti della teoria dei cosiddetti Automi Cellulari (CA), questo approccio numerico consente di superare la difficoltà legate al fatto che non tutte le misure sono disponibili a tutti gli step orari, i dettagli del modello numerico di interpolazione sono stati discussi con sufficiente dettaglio nei reports precedenti, si veda in particolare il report RdS/PAR2017/063. Un approccio del tutto analogo viene utilizzato per il calcolo del campo di temperature che è necessario per una corretta stima del processo di evaporazione al suolo.

Tutte le simulazioni vengono effettuate con un tempo di spin-up di 120 ore, in anticipo rispetto al momento più critico dell'evento idrologico. Questo intervallo di “riscaldamento” di 5 giorni è stabilito tenendo conto del tempo medio di corrivazione del bacino più grande (il Tevere) e consente di essere sicuri che, nel momento in cui si calcolano gli indici di allarme, la stima della portata “*è coerente*” con tutta la precipitazione caduta all'interno del bacino nei giorni precedenti. L'estensione è la risoluzione spaziale del dominio simulato da CHyM sono le stesse di quelle utilizzate per le previsioni operative, così come nulla muta per quanto riguarda le parametrizzazioni utilizzate per la simulazione dei processi fisici che contribuiscono al ciclo idrologico; questa uniformità di approccio consentirà ai tecnici di Areti, durante un auspicabile prosecuzione del progetto, di valutare immediatamente l'utilità che I prodotti sviluppati avrebbero avuto nella gestione pratica ed operativa dei casi critici che sono stati simulati.

In sintesi riportiamo alcune caratteristiche delle simulazioni. La risoluzione orizzontale utilizzata è di circa 585 metri. Il dominio geografico simulato è nel *range* 41.16-43.97 di Latitudine Nord e 11.31-14.79 di Longitudine Est: la griglia è quindi costituita da un reticolo di 581 x 472 punti.

Per ognuno dei casi studio, a valle della simulazione vengono generati gli stessi prodotti e le stesse visualizzazioni che sono generati quotidianamente durante le attività operative[1]. Riassumiamo brevemente i prodotti forniti:

- Sequenza delle mappe di precipitazione per 24 ore a risoluzione oraria;
- Sequenze delle mappe dell'indice BDD per 24 ore a risoluzione oraria;
- Sequenze delle mappe dell'indice CAI per 24 ore a risoluzione oraria;
- Files, in formato NetCDF[3], dei campi bidimensionali di precipitazione, indici BDD e CAI; questi stessi file, quindi, sono acquisibili da ENEA per essere inseriti all'interno della Piattaforma DSS ed essere visualizzabili e fruibili mediante l'interfaccia WebGIS[2] di CIPCast;
- Tabelle con indici BDD e CAI di allarme specializzati per i siti delle cabine primarie di ACEA-Areti.

L'ultimo prodotto elencato rappresenta, probabilmente, il prodotto più innovativo e (si spera) più immediatamente fruibile per le simulazioni operative. Rimandato al report precedente per maggiori dettagli (RdS/PAR2017/063) ne riassumiamo brevemente il calcolo e le peculiarità. L'obiettivo è quello di specializzare il calcolo e la visualizzazione degli indici di allarme idrologico in corrispondenza delle Cabine Primarie (CP) della rete a Media Tensione (MT) di Areti. Il prodotto finale consiste in una sequenza temporale di indici di stress, calcolati tipicamente per un *range* temporale di 24 ore successive e facenti riferimento alle 22 CP indicate da Areti come elementi critici (in quanto rappresentano l'interfaccia tra la rete di trasmissione e quella di distribuzione).

Un problema per il raggiungimento di questo obiettivo è stato stabilire la "sorgente idrologica del pericolo", ovvero - data la posizione di una CP - valutare, attraverso un algoritmo generale, quale dei segmenti della rete drenante che insistono sulla cabina, rappresentasse il principale pericolo o la fonte di emergenza primaria. L'approccio scelto, dopo numerose interazioni e discussione con il gruppo di lavoro del Laboratorio DTE-SEN-APIC dell'ENEA (congiuntamente con i tecnici di Areti) è stato quello di considerare il punto di griglia più vicino al sito in questione che dreni almeno un'area complessiva di 100 Km^2. Di questa scelta rimane traccia nella tabella prodotta, ovvero viene riportato il valore dell'area a monte drenata dal segmento delle rete idrografica che l'algoritmo stima come sorgente del pericolo più rilevante.

Le tabella di allerta, per entrambi gli indici di allarme, riportano il valore numerico dell'indice per ogni ora e per ogni sito dove è localizzata la cabina. Gli elementi della tabella si colorano in giallo ed in rosso quando il BDD ed il CAI superano rispettivamente i valori di 6-11 m/ora e di 60-90 m/ora. Questi livelli di allerta per gli indici di allarme idrologico sono stati stabiliti sulla base delle analisi dei casi studio di cui discutiamo nei paragrafi successivi.

[1] http://cetemps.aquila.infn.it/chym/rse/
[2] http://apic.casaccia.enea.it:8080/rse/

2.1 Il caso studio del 21 novembre 2013

L'evento è caratterizzato da una serie di violente precipitazioni di breve durata che riguardano principalmente il litorale tirrenico e l'interno della regione Toscana; una sequenza parziale delle mappe di precipitazione ricostruite dal modello CHyM è riportata nella Figura 2. Nelle prime ore del mattino del 22 novembre, forti precipitazioni temporalesche investono soprattutto il sud del Lazio; si tratta verosimilmente di fenomeni a carattere convettivo che si caratterizzano dall'essere molto intense e di breve durata.

Durante questa seconda fase, si generano, localmente e per brevi periodi di 1-2 ore, delle situazioni idrologiche piuttosto critiche che riguardano esclusivamente piccoli torrenti o limitati tratti della rete drenante; questa situazione è ben evidenziata dalla sequenza delle mappe del CAI riportate nella sequenza di Figura 3 dove si osservano piccolissimi tratti posti nelle zone più a monte che superano la soglia di allerta e, in pochissimi casi la soglia di allarme.

Le mappe del BDD (non mostrate qui, ma consultabili sulle piattaforme web[3] descritte al paragrafo precedente), non indicano situazioni di allerta di qualunque tipo. Ciò è coerente con quanto più volte scritto e giustificato nei report relativi alle attività delle precedenti annualità, ovvero il BDD è più indicato a stimare previsioni di allarme lungo le aste principali dei bacini, mentre il CAI è più efficace per i piccoli torrenti.

La situazione delle mappe viene quindi riassunta in due tabelle di allerta, una per ciascun indice, che sono specializzate per i 22 siti dove sono localizzate le Cabine Primarie della rete a Media Tensione di Areti. La tabella con il CAI viene mostrata nella Figura 4 e come si vede in nessuna delle località analizzate l'indice si avvicina alla soglia più bassa di 60 m/ora che è stata individuata come quella di attenzione. Una osservazione importante che si può fare, già per questo caso che non risulta particolarmente critico, è che il piccolo dell'indice idrologico si raggiunge in ore sensibilmente diverse, per i diversi siti; mentre, ad esempio, per la cabina 19 tale picco si registra intorno alla tarda mattinata del 21 novembre, per le cabine 63 e 43 il massimo è stimato intorno alle 4 del mattino successivo.

[3] http://cetemps.aquila.infn.it/chym/rse/CS03/index.html

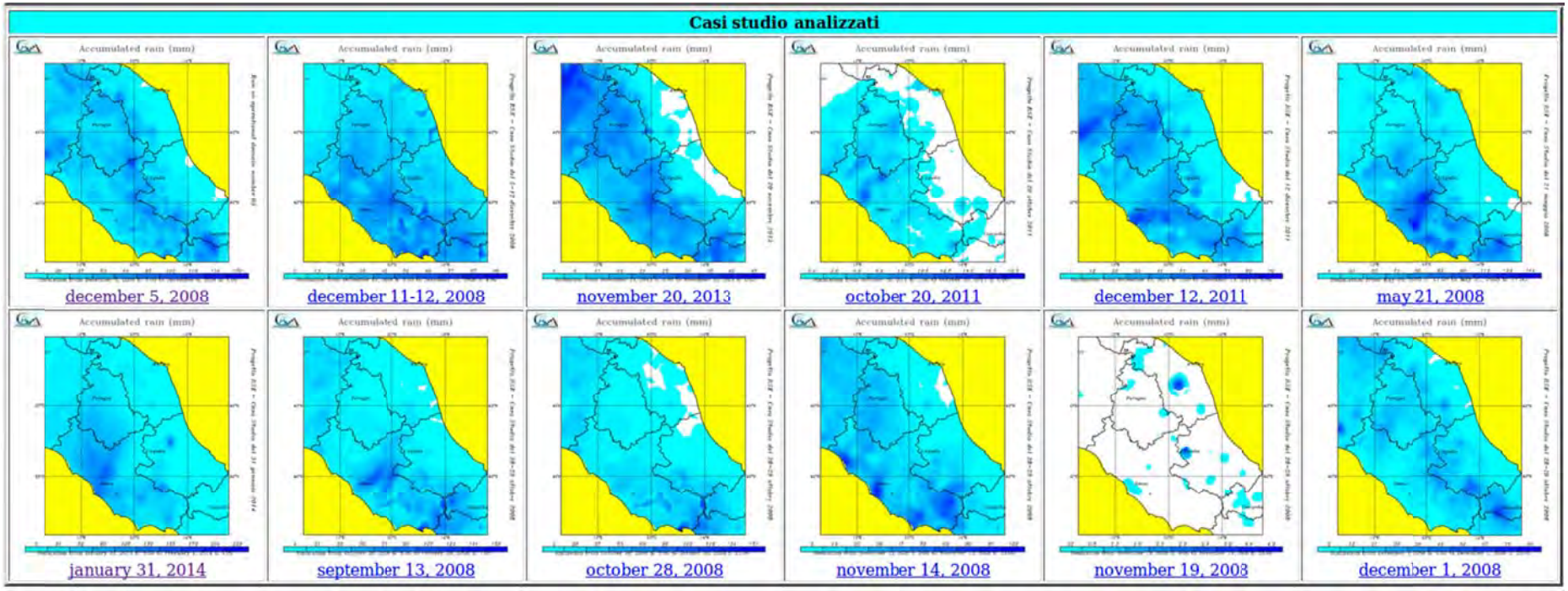


Figura 1. Sommario dei casi studio analizzati; per ciascun caso è riportata la mappa delle precipitazioni accumulate nelle 24 ore intorno al momento in cui si è registrato il massimo delle precipitazioni.

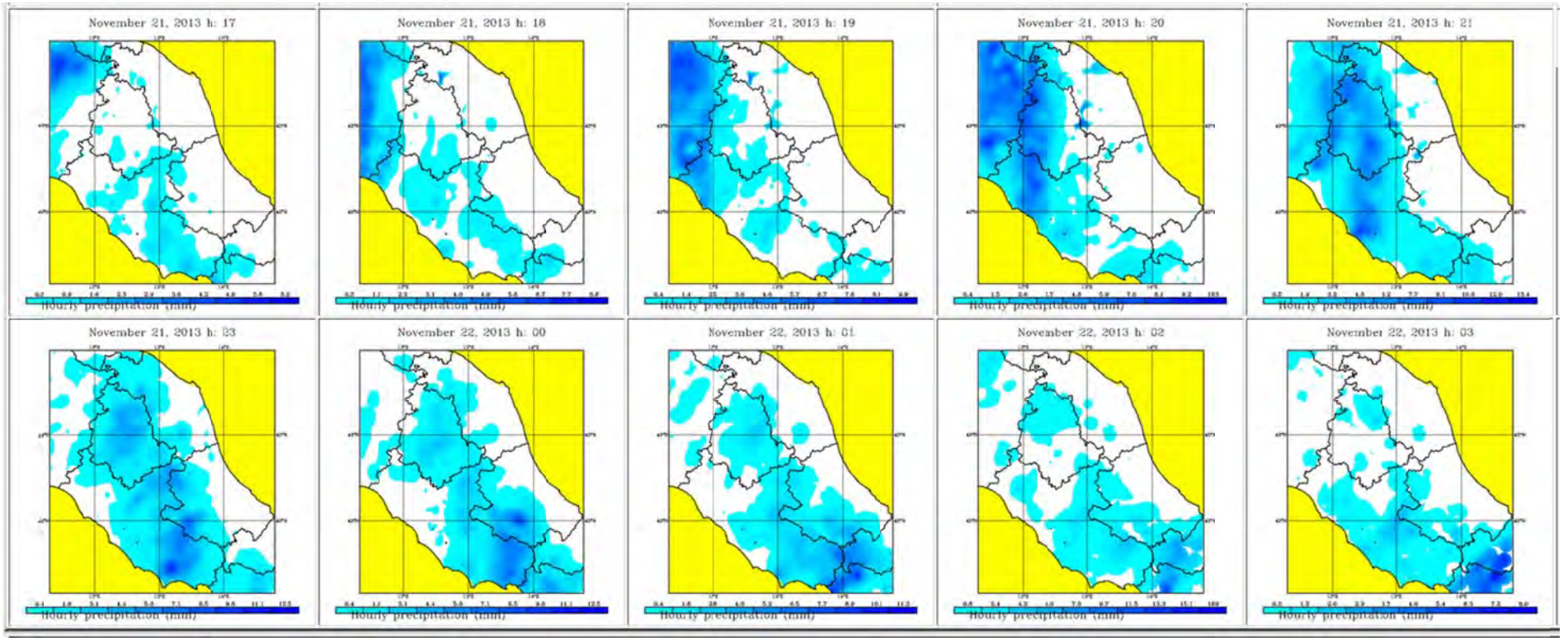


Figura 2. Sequenza parziale delle mappe di precipitazione oraria per il caso studio 3 del 21 novembre 2013. Si registrano una serie di violenti precipitazioni di breve durata che riguardano principalmente il litorale tirrenico e nelle prime ore del mattino del giorno successivo investono il sud del Lazio.

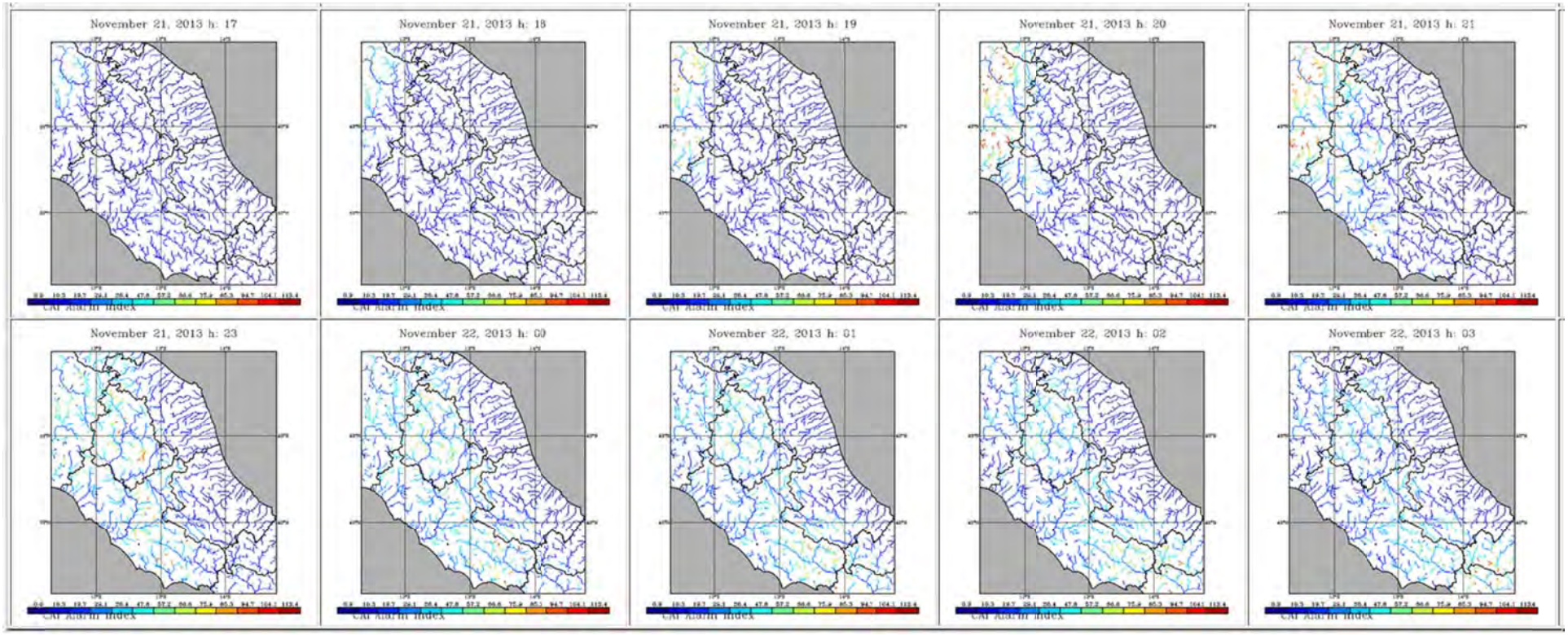


Figura 3. Sequenza parziale delle mappe dell'indice CAI per il caso studio 3. La situazione è caratterizzata da precipitazioni molto intense ma localizzate che lasciano prevedere situazioni critiche sulla rete idrologica limitatamente a pochi tratti secondari della rete drenante.

RSE - Analisi di risk forecast/assessment mediante modellistica meteorologica ed idrologica

Record	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ACEA Id	76	26	32	84	83	40	49	48	62	43	85	98	12	27	33	79	58	66	74	28	78	92
Distance (Km) from closest channel	0.8	0.4	12.5	1.1	0.7	0.3	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2	0.4	0.3	0.6	1.0	0.4	0.2	3.0	0.4	0.6	0.6	0.4
Drained area (Km²)	14516	16953	101	1647	1649	16631	16563	1766	100	813	1576	116	902	16499	14676	16490	1773	100	16562	104	1446	159
November 21, 2013 h: 5.00	13.1	13.8	0.0	1.2	1.2	14.1	14.0	1.4	0.1	0.6	1.3	0.1	1.8	14.2	13.0	14.2	1.4	0.1	14.2	0.0	1.4	0.1
November 21, 2013 h: 6.00	13.0	13.9	0.0	1.1	1.1	14.1	14.0	1.1	1.2	0.5	1.1	0.1	0.6	14.0	13.1	14.0	1.3	1.2	14.1	1.4	1.2	1.1
November 21, 2013 h: 7.00	12.8	13.9	0.0	1.0	1.0	13.9	13.8	1.0	2.4	0.5	1.0	0.1	0.5	13.8	13.0	13.6	1.1	2.4	13.8	2.1	1.1	1.8
November 21, 2013 h: 8.00	12.5	14.0	0.9	0.8	0.8	13.7	13.7	1.3	2.7	0.9	0.8	0.4	0.9	13.4	12.9	13.2	1.4	2.7	13.5	2.4	0.9	2.0
November 21, 2013 h: 9.00	12.1	13.9	2.1	1.6	1.6	13.4	13.4	1.5	2.7	2.3	1.6	0.5	2.2	13.1	12.5	13.2	2.0	2.7	13.2	2.4	1.7	2.0
November 21, 2013 h: 10.00	11.9	13.7	2.1	1.6	1.6	13.1	13.0	1.5	2.9	2.4	1.7	0.6	2.3	13.0	12.1	13.2	1.5	2.9	13.1	2.5	1.7	2.2
November 21, 2013 h: 11.00	11.9	13.3	3.5	2.2	2.2	12.9	12.8	2.2	5.1	2.6	2.2	2.4	2.4	12.9	11.9	13.0	2.1	5.1	13.0	3.8	2.1	3.3
November 21, 2013 h: 12.00	11.8	13.0	7.0	3.5	3.5	12.9	12.8	3.3	5.4	3.9	3.5	2.6	3.7	12.8	11.9	12.9	3.2	5.4	12.9	6.2	3.5	4.7
November 21, 2013 h: 13.00	11.8	13.0	8.3	4.8	4.8	12.9	12.8	4.5	5.4	6.3	4.9	3.5	5.9	12.8	11.9	13.0	4.3	5.4	12.9	6.4	5.0	4.8
November 21, 2013 h: 14.00	11.9	13.0	8.1	5.6	5.6	12.9	12.8	5.2	5.0	7.5	5.6	4.2	7.0	12.9	11.9	13.1	4.9	5.0	13.0	6.8	5.8	6.1
November 21, 2013 h: 15.00	12.1	13.1	8.1	7.0	7.0	13.1	13.1	6.5	4.3	9.5	7.0	3.9	8.9	13.1	12.1	13.1	6.1	4.3	13.2	7.9	7.3	6.5
November 21, 2013 h: 16.00	12.1	13.2	9.0	7.8	7.8	13.2	13.1	7.3	4.0	10.9	7.9	4.1	10.2	13.0	12.3	12.8	6.9	4.0	13.1	7.0	8.2	6.7
November 21, 2013 h: 17.00	11.9	13.2	7.9	8.3	8.3	12.9	12.8	7.6	4.4	11.6	8.4	4.3	10.9	12.6	12.1	11.9	7.3	4.4	12.7	6.7	8.7	6.3
November 21, 2013 h: 18.00	11.3	13.1	4.5	8.7	8.7	12.6	12.5	8.0	5.4	12.4	8.8	2.6	11.6	11.8	11.9	10.0	7.6	5.4	11.8	7.3	9.1	6.1
November 21, 2013 h: 19.00	9.8	12.9	5.9	9.2	9.2	11.8	11.8	8.5	3.2	12.7	9.3	3.4	12.0	10.0	11.4	7.6	8.1	3.2	10.0	7.5	9.7	5.9
November 21, 2013 h: 20.00	8.5	13.3	9.2	9.8	9.8	10.8	10.7	9.1	8.7	13.2	9.9	7.0	12.3	8.4	10.7	6.1	8.6	8.7	8.3	13.4	10.2	12.9
November 21, 2013 h: 21.00	7.9	14.0	22.3	12.3	12.3	9.9	9.9	11.9	22.4	13.9	12.2	30.9	13.2	7.7	10.1	6.4	11.2	22.4	7.7	24.3	12.0	19.8
November 21, 2013 h: 22.00	8.0	13.6	43.1	18.4	18.4	9.2	9.3	17.5	22.9	19.1	18.4	35.9	18.9	8.0	9.4	7.6	16.6	22.9	8.0	24.7	18.1	19.9
November 21, 2013 h: 23.00	8.5	12.1	45.9	21.3	21.3	8.9	8.9	20.1	24.0	23.0	21.3	38.3	23.2	8.5	8.9	8.7	19.0	24.0	8.5	26.1	21.2	19.1
November 22, 2013 h: 0.00	9.1	10.4	47.5	23.2	23.2	9.0	9.0	21.8	24.0	26.0	23.3	38.3	24.9	9.2	8.9	9.4	20.6	24.0	9.2	25.9	23.3	19.0
November 22, 2013 h: 1.00	9.4	9.4	47.7	24.7	24.7	9.3	9.3	23.5	24.4	29.2	24.9	39.9	27.9	9.5	9.2	9.7	22.3	24.4	9.5	25.2	25.1	18.0
November 22, 2013 h: 2.00	9.5	9.1	47.5	25.8	25.8	9.5	9.5	24.8	23.5	30.2	26.0	39.6	30.1	9.7	9.3	10.0	23.9	23.5	9.7	24.9	26.2	17.9
November 22, 2013 h: 3.00	9.7	9.2	38.5	27.6	27.6	9.7	9.7	25.7	24.8	30.5	27.8	37.6	31.3	9.9	9.4	10.1	25.0	24.8	9.9	25.3	28.2	18.6
November 22, 2013 h: 4.00	9.7	9.3	19.0	28.1	28.1	9.8	9.8	26.7	20.6	31.1	28.5	13.7	30.7	10.0	9.5	10.3	25.3	20.6	10.0	25.0	28.9	18.9

Figura 4. Tabella riassuntiva dell'indice di allarme CAI per i siti delle cabine primarie ACEA per il caso studio del 21-22 novembre 2013.

2.2 Il caso studio del 11-12 dicembre 2008

A differenza del precedente, questo evento è caratterizzato da una perturbazione che cause piogge persistenti su tutto il entro Italia con dei massimi molto rilevanti concentrati intorno a Roma. A partire dalle prime ore del mattino del 11 dicembre e nelle successive 24 ore, il campo della precipitazione accumulata registra picchi che sfiorano i 100 mm; le zone maggiormente colpite risultano quelle a sud della Capitale, tuttavia la sequenza dell'evento, parzialmente mostrata nella figura 5, mostra la complessa distribuzione spaziale e temporale del campo di pioggia.

Le mappe dell'indice del CAI, di cui una sequenza parziale è disponibile nella Figura 6, indica che l'intensità e la particolare sequenza dei fenomeni causa situazioni critiche per molti rami secondari dei bacini del Tevere e dell'Aniene. È bene ricordare che l'evento in questione causò un rapido aumento del livello idrometrico del Tevere, che tuttavia non provocò esondazioni. Si registrarono invece numerosi allagamenti, si rese necessario far eseguire alcune evacuazioni e molto rilevanti furono i disagi sulle strade. Come si evince dalle sequenza di Figura 6, da un punto di vista idrologico la situazione rimane molto critica dalle prime ore del mattino del 11 dicembre per poi attenuarsi circa 12 ore dopo. Nel complesso la situazione sintetizzata dalle mappe del CAI (come da quelle del BDD che non riportiamo sono disponibili sulle piattaforme[4] già citate più volte), fotografa molto bene quanto è effettivamente avvenuto in quei giorni, evidenziando situazioni critiche soprattutto sul bacino dell'Aniene.

Le figure 7 ed 8 riportano la sintesi tabellare degli indici di allarme per le CP di ACEA-Areti; notiamo innanzitutto come le due tabelle diano delle informazioni "diverse" ed in qualche modo complementari. Mentre il BDD supera le soglie di allerta e di allarme nelle ore pomeridiane e sui siti che insistono sull'asta principale del Tevere, il CAI "vede" situazioni critiche causate dallo stato dei piccoli torrenti e già nelle prime ore della mattinata. Alla luce di quanto è avvenuto (riportato anche dalle cronache dell'epoca), è del tutto verisimile pensare che questo risultato rappresenti una "ottima performance" del modello CHyM in particolare, ma più in generale di tutto il sistema di allerta sviluppato.

[4] http://cetemps.aquila.infn.it/chym/rse/CS02/index.html

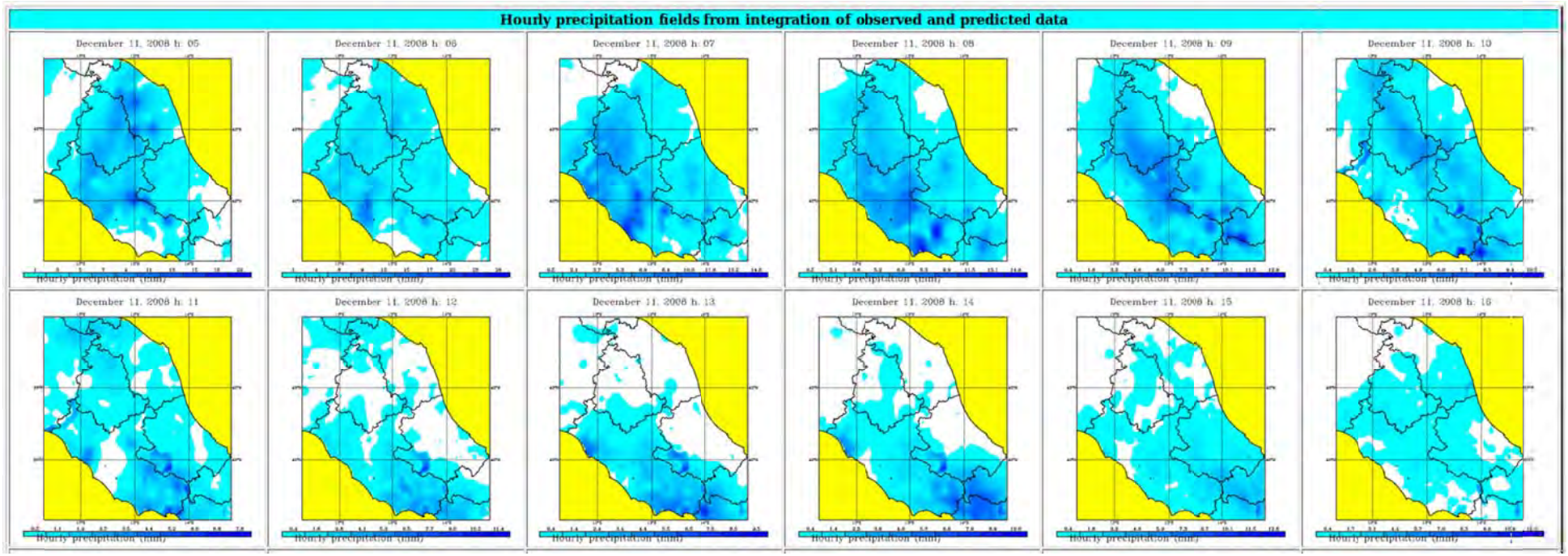


Figura 5. Sequenza parziale delle mappe di precipitazione oraria per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.

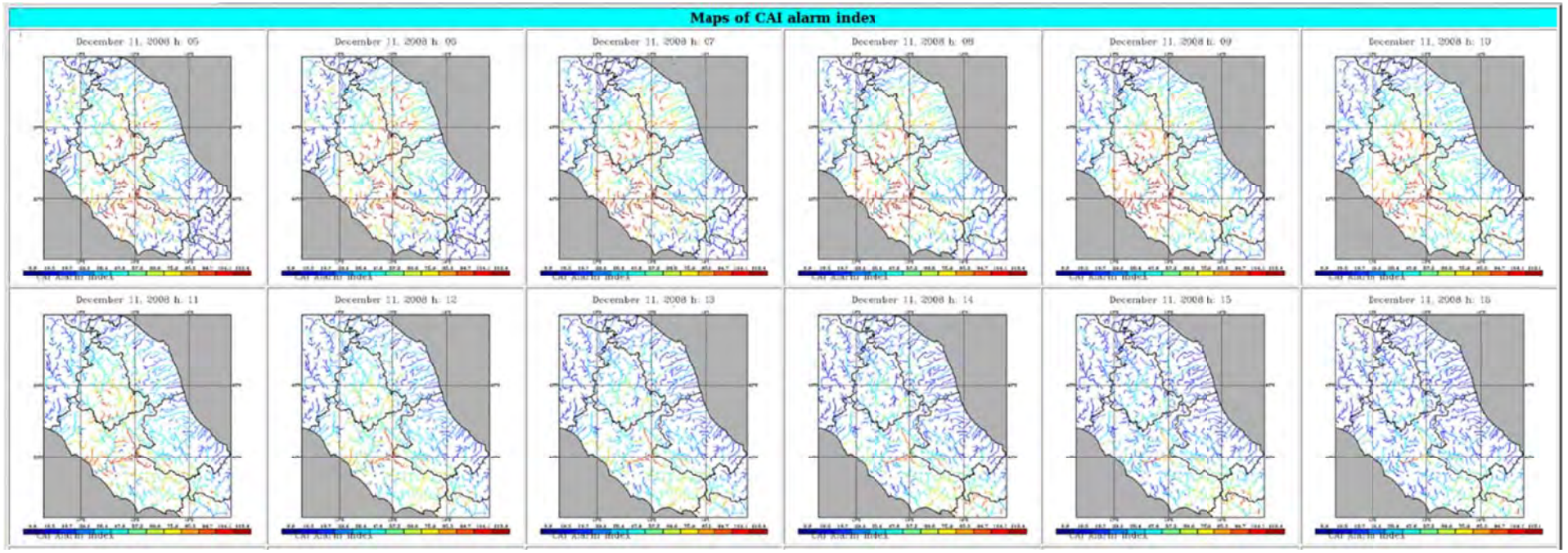


Figura 6. Sequenza parziale delle mappe dell'indice CAI per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.

Record	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ACEA Id	76	26	32	84	83	40	49	48	62	43	85	98	12	27	33	79	58	66	74	28	78	92
Distance (Km) from closest channel	0.8	0.4	12.5	1.1	0.7	0.3	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2	0.4	0.3	0.6	1.0	0.4	0.2	3.0	0.4	0.6	0.6	0.4
Drained area (Km²)	14516	16953	101	1647	1649	16631	16563	1766	100	813	1576	116	902	16499	14676	16490	1773	100	16562	104	1446	159
December 11, 2008 h: 5.00	29.9	28.6	183.4	73.5	73.5	29.9	29.8	70.7	126.2	79.3	73.3	141.2	75.3	30.5	29.2	31.2	69.1	126.2	30.5	78.9	73.2	73.5
December 11, 2008 h: 6.00	31.5	30.3	166.6	76.2	76.2	31.6	31.5	74.5	141.2	83.7	75.8	176.3	79.2	32.2	30.8	33.0	71.6	147.2	32.2	92.6	75.6	83.1
December 11, 2008 h: 7.00	33.3	32.1	182.5	82.1	82.1	33.4	33.4	80.3	157.2	89.2	81.6	196.6	84.8	34.1	32.5	35.0	77.5	157.2	34.2	99.1	81.0	90.5
December 11, 2008 h: 8.00	35.1	34.0	160.8	90.2	90.3	35.4	35.3	87.2	164.7	97.2	89.8	189.9	93.7	36.1	34.3	37.0	84.2	164.7	36.2	112.9	89.4	102.5
December 11, 2008 h: 9.00	37.1	35.9	147.0	97.5	97.5	37.5	37.4	93.6	155.9	107.0	97.1	153.5	102.0	38.2	36.2	39.2	89.5	155.9	38.3	116.1	97.0	109.7
December 11, 2008 h: 10.00	38.3	37.0	93.0	98.0	98.0	38.6	38.5	94.4	128.7	109.9	97.6	110.5	103.2	39.4	37.4	40.3	90.0	128.7	39.4	106.4	97.6	104.4
December 11, 2008 h: 11.00	38.7	37.3	84.6	97.7	97.7	38.9	38.9	94.5	84.3	110.9	97.3	99.1	104.7	39.8	37.8	40.7	90.5	84.3	39.8	99.3	97.3	99.8
December 11, 2008 h: 12.00	38.9	37.6	80.2	98.0	98.0	39.2	39.1	94.7	69.1	112.0	97.6	87.9	106.5	40.0	38.0	41.0	91.1	69.1	40.1	84.7	97.9	90.7
December 11, 2008 h: 13.00	39.2	37.9	50.6	99.6	99.7	39.5	39.5	95.5	56.1	109.6	99.3	49.4	107.8	40.4	38.3	41.4	91.7	56.1	40.4	62.7	99.6	81.0
December 11, 2008 h: 14.00	39.4	38.2	29.4	100.9	100.9	39.8	39.8	96.6	35.4	102.0	100.5	22.5	105.3	40.7	38.5	41.7	92.0	35.4	40.7	52.5	100.9	60.8
December 11, 2008 h: 15.00	39.6	38.4	18.8	101.5	101.5	40.0	40.0	97.5	25.0	93.6	101.1	6.9	97.5	40.9	38.7	41.9	92.8	25.0	40.9	43.2	101.5	48.1
December 11, 2008 h: 16.00	39.8	38.6	21.5	98.7	98.7	40.3	40.2	97.5	9.1	86.5	98.1	3.6	89.3	41.1	38.9	42.1	93.2	9.1	41.2	30.1	98.4	38.5
December 11, 2008 h: 17.00	40.2	38.9	22.7	91.9	91.9	40.6	40.6	95.0	6.3	80.2	91.2	3.4	82.6	41.5	39.3	42.4	93.3	6.3	41.5	23.6	91.3	29.2
December 11, 2008 h: 18.00	40.4	39.1	20.4	84.9	84.9	40.8	40.8	88.2	6.5	64.9	84.2	3.8	75.6	41.6	39.5	42.5	90.3	6.5	41.7	9.7	84.2	21.4
December 11, 2008 h: 19.00	40.3	39.2	16.0	73.5	73.5	40.8	40.8	81.5	6.8	52.2	73.3	5.6	61.1	41.6	39.5	42.2	83.7	6.8	41.6	6.4	74.0	9.5
December 11, 2008 h: 20.00	40.0	39.3	15.2	64.8	64.8	40.7	40.7	70.6	5.0	46.9	65.1	5.8	48.9	41.2	39.4	41.5	77.8	5.0	41.3	6.4	66.6	7.9
December 11, 2008 h: 21.00	39.3	39.3	13.8	51.0	51.0	40.5	40.4	61.4	3.3	39.9	51.1	6.4	44.0	40.6	39.1	40.9	67.8	3.3	40.7	6.4	51.9	7.0
December 11, 2008 h: 22.00	38.6	39.2	12.6	42.2	42.2	39.8	39.8	48.4	3.5	29.3	42.3	7.2	37.4	39.9	38.5	40.1	58.4	3.5	40.0	6.2	42.5	5.9
December 11, 2008 h: 23.00	37.7	38.8	12.5	38.2	38.1	39.1	39.1	40.0	5.4	18.0	38.4	8.2	27.2	39.1	37.7	39.0	46.0	5.4	39.2	4.5	38.7	6.0
December 12, 2008 h: 0.00	36.6	38.3	18.4	31.4	31.3	38.4	38.4	36.1	7.9	15.3	31.7	9.6	16.9	38.2	36.9	37.6	38.7	7.9	38.2	5.3	32.1	5.5
December 12, 2008 h: 1.00	35.2	37.9	29.3	24.8	24.8	37.7	37.6	31.3	13.0	14.1	25.0	12.3	15.8	37.0	36.0	36.4	36.4	13.0	37.1	10.0	25.3	9.2
December 12, 2008 h: 2.00	34.0	37.6	34.7	20.5	20.5	36.8	36.7	26.1	14.4	15.3	20.6	10.7	17.2	36.0	34.8	35.5	32.7	14.4	36.1	12.0	20.7	11.0
December 12, 2008 h: 3.00	33.1	37.3	36.1	22.4	22.4	36.0	35.9	22.0	16.1	16.8	22.5	11.9	18.8	35.3	33.9	34.9	27.6	16.1	35.4	13.9	22.6	12.5
December 12, 2008 h: 4.00	32.5	36.7	45.2	24.8	24.8	35.4	35.4	24.1	22.6	18.2	24.8	17.6	19.7	34.9	33.1	34.5	24.0	22.6	35.0	18.4	24.8	16.6

Figura 7. Tabella riassuntiva dell'indice di allarme CAI per i siti delle cabine primarie ACEA per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.

Record	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ACEA Id	76	26	32	84	83	40	49	48	62	43	85	98	12	27	33	79	58	66	74	28	78	92
Distance (Km) from closest channel	0.8	0.4	12.5	1.1	0.7	0.3	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2	0.4	0.3	0.6	1.0	0.4	0.2	3.0	0.4	0.6	0.6	0.4
Drained area (Km²)	14516	16953	101	1647	1649	16631	16563	1766	100	813	1576	116	902	16499	14676	16490	1773	100	16562	104	1446	159
December 11, 2008 h: 5.00	2.6	1.5	7.2	4.1	3.8	1.8	2.0	2.8	4.2	4.7	4.3	6.0	4.8	2.3	2.3	2.4	2.6	4.2	2.1	3.0	4.4	2.9
December 11, 2008 h: 6.00	3.2	1.9	8.6	5.2	4.9	2.3	2.5	4.0	5.1	5.6	5.4	6.8	5.4	2.9	2.8	3.0	3.7	5.1	2.6	3.7	5.6	3.1
December 11, 2008 h: 7.00	3.7	2.4	9.3	6.4	6.1	2.8	3.0	5.1	5.5	6.4	6.5	7.3	6.1	3.5	3.3	3.7	4.8	5.5	3.1	4.1	7.0	3.3
December 11, 2008 h: 8.00	4.3	2.9	9.5	7.6	7.3	3.4	3.7	6.3	6.0	7.4	7.7	7.7	7.3	4.2	3.9	4.4	6.0	6.0	3.8	4.6	8.5	3.6
December 11, 2008 h: 9.00	4.8	3.4	9.8	8.9	8.6	4.1	4.4	7.5	5.8	8.6	9.0	7.7	8.4	5.0	4.5	5.2	7.1	5.8	4.5	4.7	9.7	3.5
December 11, 2008 h: 10.00	5.3	3.9	9.8	10.2	9.9	4.7	5.1	8.7	5.5	9.7	10.2	7.1	9.0	5.8	5.0	6.0	8.2	5.5	5.2	4.6	10.8	3.6
December 11, 2008 h: 11.00	5.8	4.5	9.2	11.3	11.0	5.5	5.8	9.9	5.2	10.2	11.2	6.2	9.7	6.5	5.5	6.7	9.4	5.2	6.0	4.3	11.6	3.7
December 11, 2008 h: 12.00	6.2	5.1	8.0	12.1	11.9	6.2	6.6	11.0	4.8	10.6	11.8	5.4	10.4	7.3	6.0	7.5	10.6	4.8	6.7	3.9	12.1	3.8
December 11, 2008 h: 13.00	6.5	5.7	6.7	12.5	12.4	6.9	7.3	12.0	4.3	10.9	12.2	4.7	10.9	8.0	6.3	8.1	11.6	4.3	7.4	3.4	12.2	3.9
December 11, 2008 h: 14.00	6.7	6.4	5.6	12.6	12.6	7.6	7.9	12.7	3.8	11.1	12.2	4.1	11.1	8.5	6.6	8.7	12.4	3.8	8.1	3.0	12.2	4.0
December 11, 2008 h: 15.00	6.9	7.0	4.7	12.6	12.6	8.2	8.5	13.0	3.4	11.2	12.3	3.7	11.2	9.0	6.8	9.1	12.9	3.4	8.6	2.5	12.0	4.1
December 11, 2008 h: 16.00	7.0	7.7	4.1	12.4	12.4	8.7	9.0	13.0	2.9	11.2	11.9	3.2	11.2	9.3	7.0	9.4	13.0	2.9	9.0	2.2	11.8	4.2
December 11, 2008 h: 17.00	7.1	8.3	3.4	12.2	12.2	9.1	9.3	12.9	2.6	11.2	11.7	2.8	11.2	9.5	7.1	9.5	12.9	2.6	9.3	1.9	11.7	4.2
December 11, 2008 h: 18.00	7.2	8.8	2.8	11.9	12.0	9.4	9.5	12.6	2.3	11.2	11.5	2.4	11.1	9.6	7.2	9.6	12.7	2.3	9.5	1.7	11.5	4.1
December 11, 2008 h: 19.00	7.3	9.2	2.3	11.6	11.7	9.6	9.6	12.3	2.0	11.1	11.2	2.1	10.9	9.6	7.3	9.6	12.4	2.0	9.6	1.6	11.3	3.9
December 11, 2008 h: 20.00	7.3	9.5	1.8	11.4	11.4	9.6	9.6	11.9	1.7	11.1	11.0	1.7	10.8	9.6	7.3	9.6	12.1	1.7	9.6	1.5	11.1	3.6
December 11, 2008 h: 21.00	7.4	9.6	1.5	11.1	11.2	9.6	9.6	11.6	1.5	11.2	10.8	1.4	10.8	9.6	7.4	9.6	11.7	1.5	9.6	1.3	10.8	3.3
December 11, 2008 h: 22.00	7.5	9.7	1.3	10.8	10.9	9.6	9.6	11.3	1.3	11.1	10.5	1.2	10.7	9.5	7.4	9.5	11.4	1.3	9.6	1.2	10.5	2.9
December 11, 2008 h: 23.00	7.6	9.7	1.2	10.4	10.5	9.6	9.5	10.9	1.2	10.9	10.3	1.0	10.6	9.5	7.5	9.5	11.0	1.2	9.5	1.1	10.2	2.6
December 12, 2008 h: 0.00	7.7	9.7	1.1	10.1	10.2	9.6	9.5	10.6	1.1	10.5	10.0	0.8	10.5	9.5	7.6	9.5	10.7	1.1	9.5	1.1	9.9	2.3
December 12, 2008 h: 1.00	7.9	9.6	1.1	9.8	9.9	9.5	9.5	10.3	1.1	10.1	9.8	0.8	10.4	9.5	7.7	9.5	10.4	1.1	9.5	1.1	9.7	2.0
December 12, 2008 h: 2.00	8.0	9.6	1.4	9.6	9.6	9.5	9.5	9.9	1.0	9.6	9.5	0.7	10.3	9.6	7.9	9.6	10.0	1.0	9.5	1.1	9.5	1.7
December 12, 2008 h: 3.00	8.2	9.6	1.7	9.4	9.4	9.5	9.5	9.6	1.0	9.0	9.4	0.7	10.0	9.6	8.0	9.6	9.7	1.0	9.6	1.1	9.5	1.5
December 12, 2008 h: 4.00	8.4	9.6	1.9	9.3	9.3	9.6	9.6	9.4	1.2	8.3	9.4	0.8	9.5	9.7	8.2	9.7	9.5	1.2	9.6	1.2	9.6	1.5

Figura 8. Tabella riassuntiva dell'indice di allarme BDD per i siti delle cabine primarie ACEA per il caso studio dell'11-12 dicembre 2008.

2.3 Il caso studio del 20 ottobre 2011

A partire dalle prime ore del mattino del 20 ottobre 2011[5], la regione Lazio viene investita da una perturbazione che apporta precipitazioni molto intense soprattutto nelle zone intorno a Roma. Come si può vedere dalla sequenza parziale mostrate in Figura 9, le piogge sono diffuse su tutto il bacino del Tevere, ma i picchi di maggiore intensità investono solo una parte limitata dell'area drenata dal maggior fiume, sicché non ci sia aspetta, come vedremo delle portate importanti sull'asta principale.

La sequenza del CAI riportata dalla Figura 10 è coerente con questa osservazioni, tuttavia l'indice di allarme viene abbondantemente superato in molti tratti della rete secondaria di drenaggio e ciò è in accordo con quanto effettivamente venne osservato durante l'evento, ovvero numerose situazioni critiche nella capitale e nei comuni limitrofi.

La tabella CAI di Figura 11 conferma queste osservazioni, mostrando come le situazioni critiche, in cui l'indice supera ampiamente i valori di soglia riguardano esclusivamente i siti localizzati in prossimità di affluenti secondari. Notiamo come in questa situazioni, scelta appunto perché peculiare rispetto agli casi sin qui visti, l'evento critico si genera a seguito di precipitazioni che sono, tutto sommato, abbastanza ordinarie, con picchi di precipitazione accumulata che non superano, complessivamente, 20 mm nell'arco di un giorno.

[5] http://cetemps.aquila.infn.it/chym/rse/CS04/index.html

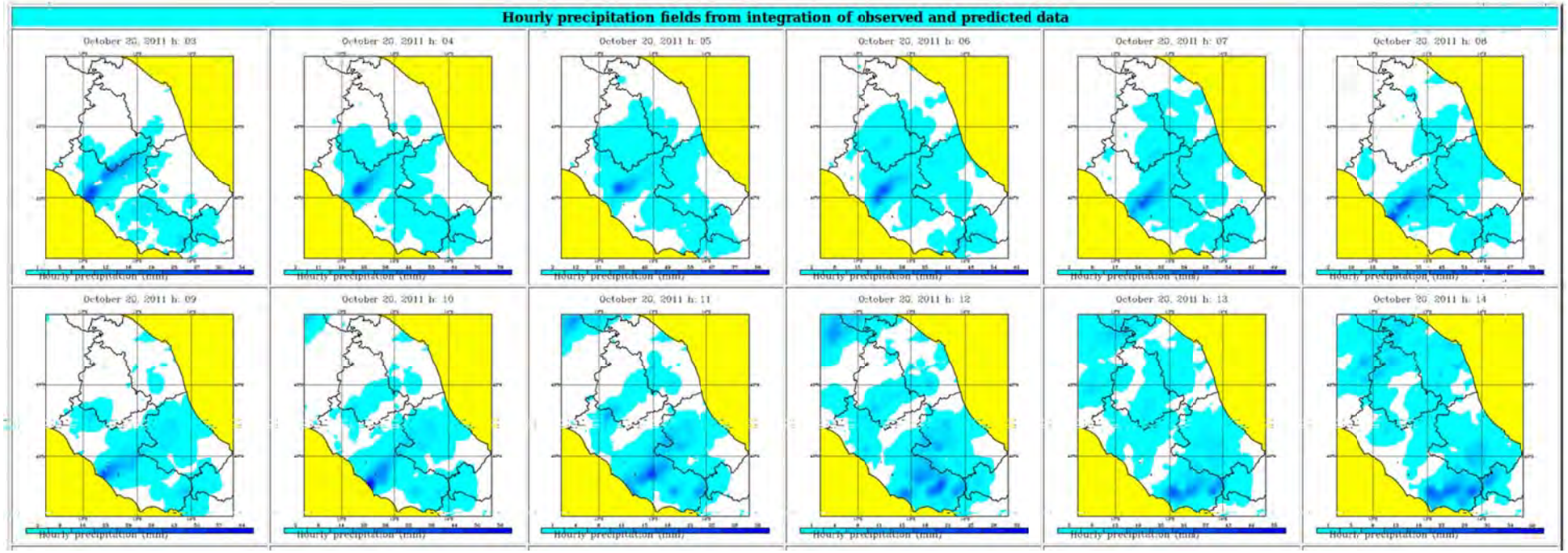


Figura 9. Sequenza parziale delle mappe di precipitazione oraria per il caso studio del 20 ottobre 2011.

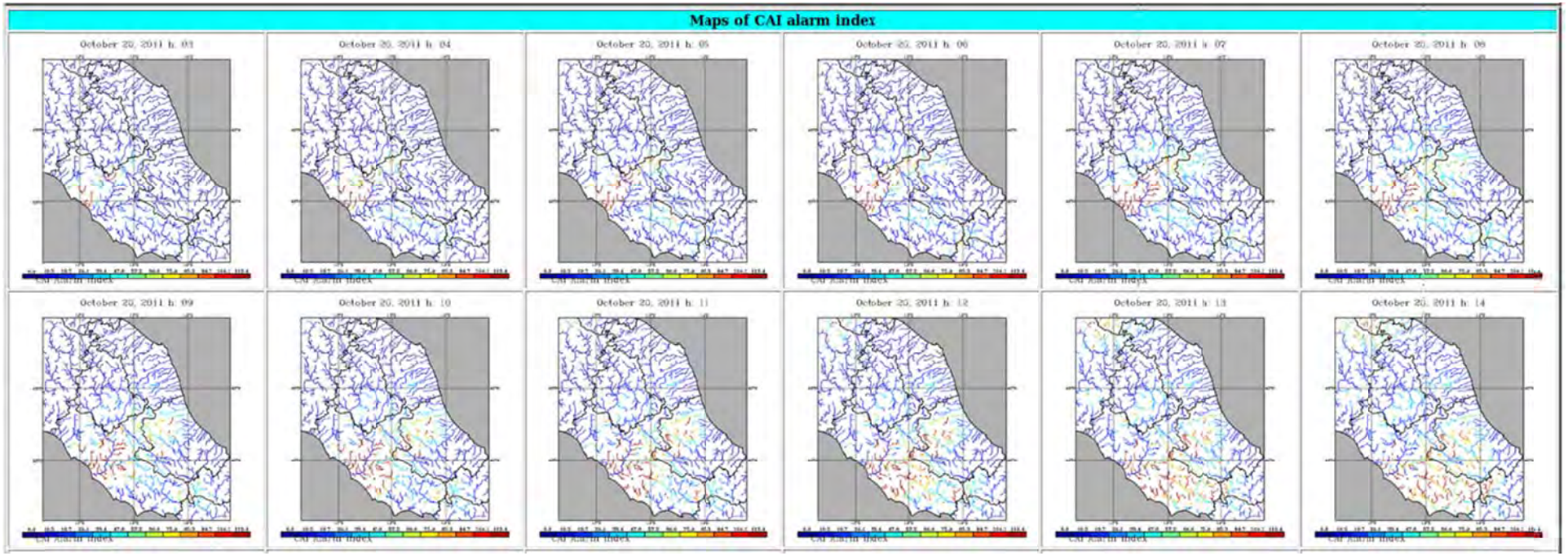


Figura 10, Sequenza parziale delle mappe dell'indice CAI per il caso studio del 20 ottobre 2011.

Record	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ACEA id	76	26	32	84	83	40	49	48	62	43	85	98	12	27	33	79	53	66	74	28	78	92
Distance (Km) from closest channel	0.8	0.4	12.5	1.1	0.7	0.3	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2	0.4	0.3	0.6	1.0	0.4	0.2	3.0	0.4	0.6	0.6	0.4
Drained area (Km²)	14516	16953	101	1647	1649	16631	16563	1766	100	813	1576	116	902	16499	14676	16490	1773	100	16562	104	1446	159
October 20, 2011 h: 3.00	3.2	2.9	8.9	2.8	2.8	3.0	3.0	2.5	5.2	4.2	2.9	1.5	3.6	3.1	3.2	3.2	2.4	5.2	3.1	15.9	3.1	23.3
October 20, 2011 h: 4.00	4.7	4.2	10.6	3.9	3.9	4.4	4.5	3.5	14.9	6.4	4.1	0.8	5.4	4.6	4.7	4.7	3.3	14.9	4.6	95.0	4.3	82.6
October 20, 2011 h: 5.00	6.2	5.6	10.6	4.6	4.5	5.9	5.9	4.1	24.4	7.5	4.7	0.5	6.4	6.1	6.3	6.2	3.9	24.4	6.1	172.7	5.0	118.8
October 20, 2011 h: 6.00	7.7	7.0	9.8	5.6	5.6	7.4	7.5	5.2	85.9	9.0	5.5	0.8	7.7	7.6	8.0	7.8	4.9	85.9	7.6	228.4	5.9	149.5
October 20, 2011 h: 7.00	8.8	8.6	21.7	14.2	14.2	9.0	9.0	15.5	129.6	13.1	12.7	17.4	12.4	9.2	9.1	9.4	14.8	129.6	9.2	247.1	12.8	156.5
October 20, 2011 h: 8.00	9.3	10.1	52.8	31.1	31.2	10.4	10.4	33.4	148.0	24.3	28.2	90.2	24.1	10.5	9.6	10.7	31.9	148.0	10.6	246.7	27.3	157.3
October 20, 2011 h: 9.00	9.8	11.3	113.5	44.1	44.2	11.5	11.4	46.3	153.9	33.6	41.4	177.7	33.1	11.5	10.0	11.8	44.1	153.9	11.6	247.1	39.4	154.5
October 20, 2011 h: 10.00	10.2	12.3	189.2	55.8	55.9	12.4	12.2	57.0	159.8	43.1	53.4	226.4	41.9	12.4	10.4	12.6	54.2	159.8	12.5	248.5	50.8	156.0
October 20, 2011 h: 11.00	10.7	13.0	206.7	62.9	63.0	13.1	13.0	63.4	160.9	54.4	60.8	238.4	51.9	13.1	10.9	13.4	60.2	160.9	13.3	248.8	58.4	156.8
October 20, 2011 h: 12.00	11.3	13.6	207.6	67.2	67.2	13.8	13.6	67.1	153.6	63.3	65.2	238.4	59.8	13.8	11.5	14.1	63.7	151.6	14.0	248.8	63.2	155.7
October 20, 2011 h: 13.00	12.0	14.2	193.9	67.6	67.7	14.4	14.2	67.6	141.8	63.9	65.6	239.5	60.4	14.4	12.1	14.7	64.1	141.8	14.6	229.2	63.6	154.1
October 20, 2011 h: 14.00	12.7	14.7	160.8	67.9	68.0	15.0	14.8	67.9	78.6	63.4	66.0	223.0	60.5	15.0	12.8	15.4	64.5	78.6	15.2	169.0	63.9	139.5
October 20, 2011 h: 15.00	13.4	15.4	100.0	68.7	68.7	15.7	15.5	68.6	34.8	63.9	66.7	150.1	60.7	15.8	13.6	16.1	65.1	34.8	15.9	83.0	64.7	80.3
October 20, 2011 h: 16.00	14.0	15.9	25.7	70.2	70.2	16.2	16.1	70.0	16.5	65.9	68.2	62.4	62.8	16.3	14.1	16.7	66.5	16.5	16.5	17.3	66.4	44.0
October 20, 2011 h: 17.00	14.4	16.2	8.2	70.1	70.1	16.6	16.4	70.2	10.3	64.6	68.1	13.6	63.0	16.7	14.5	17.1	66.8	10.3	16.8	7.1	66.3	13.4
October 20, 2011 h: 18.00	14.6	16.4	6.9	69.8	69.9	16.8	16.6	69.8	4.3	62.5	67.9	1.6	61.3	16.9	14.7	17.3	66.7	4.3	17.0	4.9	66.1	6.3
October 20, 2011 h: 19.00	14.9	16.6	6.8	69.3	69.4	17.0	16.8	69.6	1.0	61.3	67.4	1.6	59.4	17.1	14.9	17.5	66.2	1.0	17.2	4.3	65.5	4.4
October 20, 2011 h: 20.00	15.0	16.7	6.0	68.1	68.2	17.0	16.9	69.1	0.5	59.9	66.1	0.1	58.4	17.2	15.1	17.6	66.0	0.5	17.3	2.9	64.1	3.8
October 20, 2011 h: 21.00	15.0	16.7	3.7	67.0	67.0	17.1	17.0	68.0	0.1	55.8	64.9	0.1	57.1	17.2	15.1	17.6	65.6	0.1	17.4	2.1	62.9	2.3
October 20, 2011 h: 22.00	15.1	16.8	0.6	66.3	66.4	17.1	17.0	67.0	0.0	44.6	64.3	0	52.5	17.2	15.2	17.6	64.5	0.0	17.4	1.4	62.2	1.5
October 20, 2011 h: 23.00	15.2	16.8	0.0	65.3	65.4	17.2	17.0	66.4	0	35.3	63.4	0	40.7	17.3	15.2	17.6	63.6	0	17.4	0.7	61.2	0.3
October 21, 2011 h: 0.00	15.2	16.8	0.0	56.7	56.7	17.2	17.0	65.3	0	25.8	56.2	0	31.7	17.3	15.3	17.6	63.1	0	17.4	0.7	54.4	0.1
October 21, 2011 h: 1.00	15.1	16.8	0.2	39.8	39.8	17.1	17.0	55.0	0	14.5	40.7	0	23.0	17.2	15.3	17.4	62.0	0	17.3	0.1	39.9	0.1
October 21, 2011 h: 2.00	14.9	16.8	0.2	26.7	26.7	17.1	16.9	37.1	0	5.5	27.6	0	13.0	17.0	15.2	17.2	52.1	0	17.2	0.0	27.8	0

Figura 11. Tabella riassuntiva dell'indice di allarme CAI per i siti delle cabine primarie ACEA per il caso studio del 20 ottobre 2011.

3 Conclusioni

L'analisi di diversi casi studio mostra come il sistema proposto sia efficacemente in grado di evidenziare quali tra le Cabine Primarie (CP) della rete a Media Tensione (MT) di Areti potrà essere soggetta a situazioni particolarmente critiche dal punto di vista delle condizioni idrologiche. I casi studio discussi mostrano come il sistema sviluppato da ENEA ed Università dell'Aquila sia in grado di prevedere tali situazioni critiche sia per eventi meteorologici caratterizzati da persistenti precipitazioni, sia per situazioni dominate da piogge intense ma molto localizzate.

Le soglie di allerta ed allarme individuate sulla base di tutti i casi analizzati, mostrano performance di buon livello in tutti i casi analizzati. E' stato inoltre dimostrato come le definizioni dell'indice sono affatto generali e ne consentono l'applicazione in un punto arbitrario della rete drenante. Al di là dell'applicazione specifica che riguarda la citta di Roma e dintorni, ciò consente di affermare che il modello di allarme sviluppato è agevolmente esportabile in altre situazioni geografiche e logistiche.

Il complesso dei casi 12 analizzati, di cui tutti i dettagli grafici e numerici sono fruibili sulle piattaforme sviluppate da ENEA[6] ed Università dell'Aquila[7], consentirà agevolmente, ai tecnici di ACEA-Areti di valutare la effettiva utilizzabilità ed utilità dell'approccio proposto nei casi studio storici che sono stati analizzati.

[6] http://apic.casaccia.enea.it:8080/rse/
[7] http://cetemps.aquila.infn.it/chym/rse/

4 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. Packard, N. H., Wolfram, S., "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.
6. Verdecchia M., E. Coppola, C. Faccani, R. Ferretti, A. Memmo, M. Montopoli, G. Rivolta, T. Paolucci, E. Picciotti, A. Santacasa, B. Tomassetti, G. Visconti and F. S. Marzano, Flood forecast in complex orography coupling distributed hydrometeorological models and in-situ and remote sensing data, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 101, pp. 267-285, 2008.

5 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

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

WRF - Weather Research and Forecasting Model, modello meteorologico

6 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.