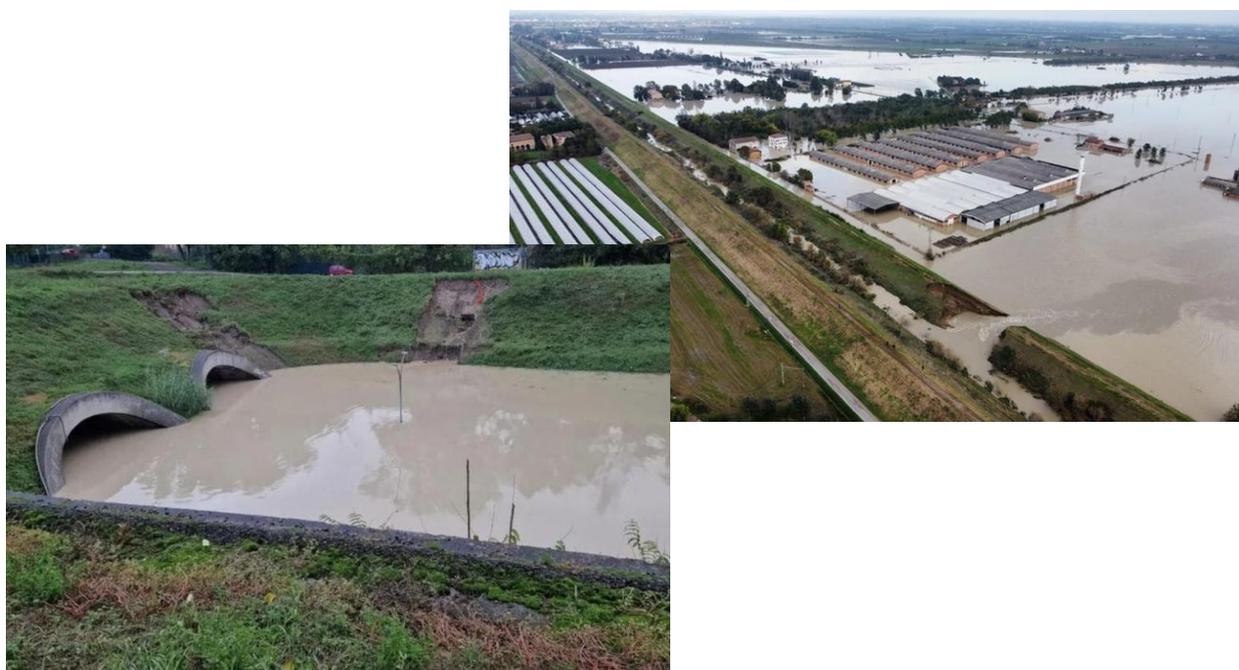


Rapporto degli eventi meteorologici di piena e di frana del 17-21 ottobre 2024



A cura di:

Rosanna Foraci, Federico Grazzini, Margherita Aguzzi -

Servizio Sala Operativa e Centro Funzionale

Michele Di Lorenzo - Unità Reti di Monitoraggio

Anna Fornasiero - Staff Modellistica Meteorologica Numerica e Radarmeteorologia

Silvia Unguendoli - Unità Previsioni numeriche marino-costiere

Enrica Zenoni - Servizio Idrologia e Idrografia regionale e distretto Po

Valentina Pavan, Gabriele Antolini - Unità Climatologia e previsioni di lungo termine

Marco Pizziolo, Luisa Perini, Mauro Generali, Michele Scaroni - Area geologia, suoli e

sismica Regione Emilia-Romagna

BOLOGNA, 31/01/2025

Riassunto

Dal 17 al 20 ottobre 2024 la regione Emilia-Romagna è stata investita da una sequenza di eventi: tra il 17 e il 18 ottobre flussi atlantici provenienti da sud-ovest hanno causato precipitazioni intense sul crinale appenninico centro-occidentale, tra il 19 ed il 20 ottobre lo spostamento della zona di convergenza fra lo scirocco e le correnti di bora verso i rilievi, ha determinato precipitazioni intense e persistenti inizialmente sulla costa, successivamente sulla collina bolognese, per poi estendersi progressivamente al modenese, fino al piacentino-parmense.

Le intense precipitazioni del 19-20 ottobre, che sulla collina bolognese rappresentano le massime registrate dall'inizio del 1900, cadute su suoli saturi e sull'esaurimento delle piene dei giorni precedenti, hanno generato rapidi innalzamenti dei livelli idrometrici sui piccoli rii e torrenti collinari, con diffusi fenomeni di erosione, trasporto solido, sedimentazione ed esondazioni improvvise, che hanno impattato sulla viabilità e sui centri abitati, tra cui Bologna, S. Lazzaro, Pianoro, Zola Predosa.

Piense elevate hanno interessato tutti i corsi d'acqua del settore centro-occidentale della regione, con livelli superiori ai massimi storici recentemente registrati a maggio 2023, sul Crostolo, Navile-Savena abbandonato, Samoggia, Lavino, Savena, Idice, Quaderna e Sillaro, con numerose tracimazioni e rotte arginali, che hanno allagato la pianura parmense, reggiana e bolognese. Anche nel tratto vallivo del fiume Reno la piena del 20 ottobre ha superato i massimi storici, con l'entrata in funzione dopo più di 50 anni dello sfioratore laterale nella sezione del Gallo.

Numerose le frane superficiali per scivolamento rapido della coltre lungo i versanti, ma anche le riattivazioni di frane di grandi dimensioni, come quelle di Cà della Torre a Loiano e di Cà di Sotto a San Benedetto Val di Sambro. La mareggiata sulla costa ferrarese ha causato erosioni e danni alle opere di difesa.

La previsione anticipata dell'evento, con l'emissione dell'allerta rossa da parte del Centro Funzionale ARPAE-SIMC e dell'Agenzia di Protezione Civile per il 19 ottobre, ha consentito di mettere in campo il livello più alto di mobilitazione, con numerose evacuazioni preventive, nonché azioni di contrasto all'emergenza, supportate dall'attività di monitoraggio del Centro Funzionale in corso di evento.

In copertina: Rottura arginale del torrente Crostolo a Cadelbosco (in alto a destra, foto la Repubblica). Esondazione del torrente Ravone e allagamento del sottopasso di Via Sabena a Bologna (in basso a sinistra, foto Il Resto del Carlino)

INDICE

1. Evoluzione meteorologica a grande scala	4
2. Analisi meteorologica in Emilia-Romagna	6
2.1. Evoluzione alla mesoscala sul territorio regionale	6
2.2. Analisi delle precipitazioni cumulate	7
3. Gli eventi di piena sul territorio regionale	10
3.1. La piena del torrente Crostolo	12
3.2. La piena del torrente Samoggia e dei suoi affluenti Lavino e Ghironda	14
3.3. La piena del torrente Ravone a Bologna	18
3.4. La piena del sistema di canali Navile-Savena abbandonato	23
3.5. La piena del torrente Idice e dei suoi affluenti Savena e Quaderna	26
3.6. La piena del torrente Sillaro	30
3.7. La piena del fiume Reno	33
3.8. Gli effetti sul territorio regionale generati dalle piene	39
4. Gli effetti idrogeologici sul territorio regionale	45
5. L'evento di mareggiata sul litorale romagnolo	48
5.1. Caratteristiche marino-costiere dell'evento	48
5.2. Monitoraggio degli eventi di mareggiata tramite camERa, il sistema di video monitoraggio dell'Emilia-Romagna	51
5.3. Censimento degli impatti delle mareggiate a scala regionale	52
6. L'attività di previsione e monitoraggio del Centro Funzionale	54
BIBLIOGRAFIA	57

1. Evoluzione meteorologica a grande scala

Una profonda onda depressionaria, derivante dalla transizione di un uragano tropicale atlantico (Leslie), si forma il 16 ottobre sulla penisola iberica (Figura 1). Si sviluppano nubifragi diffusi sulla Liguria di ponente, legati all'attività convettiva prefrontale attivata dagli intensi flussi sud-occidentali caldi e umidi. Si registrano allagamenti nella città di Savona, e poi successivamente anche sul resto delle regioni del centro nord. Il 17 ottobre, con l'avvicinamento dell'onda depressionaria, si registrano forti precipitazioni lungo il settore appenninico centro-occidentale. La presenza di un anticiclone di blocco sull'Europa orientale e la successiva tendenza all'isolamento dell'onda in quota sul Mediterraneo rendono particolarmente persistenti i fenomeni sull'Italia, e dal giorno 19 ottobre si assiste ad una riattivazione della circolazione depressionaria con intensi flussi da scirocco lungo l'Adriatico, che raggiungono la costa romagnola. In particolare si osservano valori molto intensi di flusso di vapor d'acqua sia in risalita dall'Adriatico provenienti dallo Ionio e dal Mar Libico, sia sull'Atlantico con un elevato trasporto di vapore proveniente dalla zona subtropicale (Figura 2).

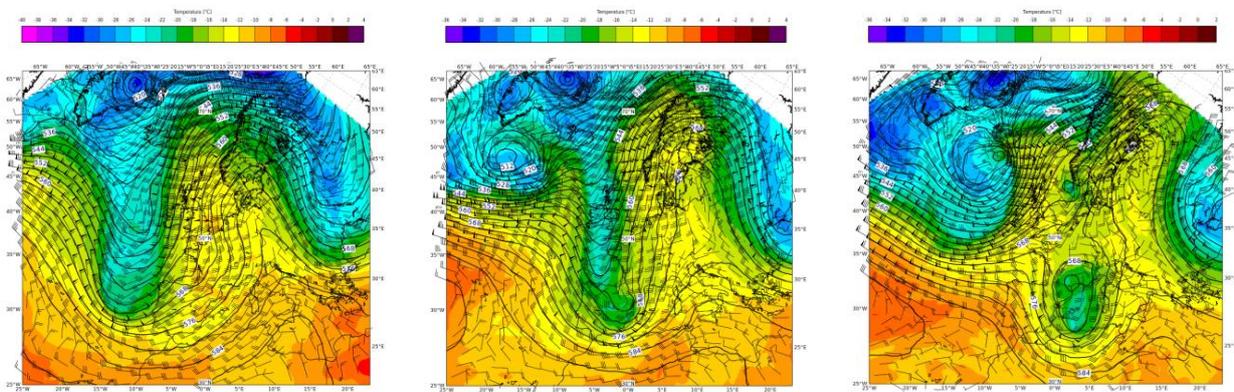


Figura 1: Mappe del geopotenziale e vento alla superficie isobarica 500 hPa e vento e temperatura di 850 hPa. Da sinistra verso destra, si osserva la circolazione in quota del 16, 17 e 18 ottobre 2024 alle ore 12 UTC con il lento approssimarsi dell'onda in quota verso il Mediterraneo.

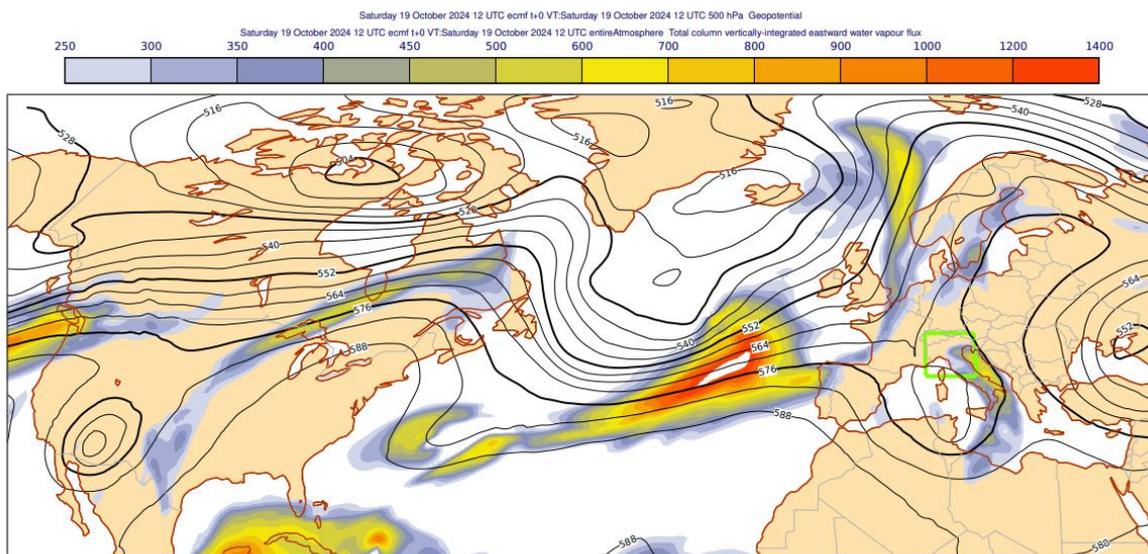


Figura 2: Mappa del geopotenziale alla superficie isobarica 500 hPa (isolinee) e trasporto totale di vapor d'acqua sull'intera colonna atmosferica (campitura colorata in $\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

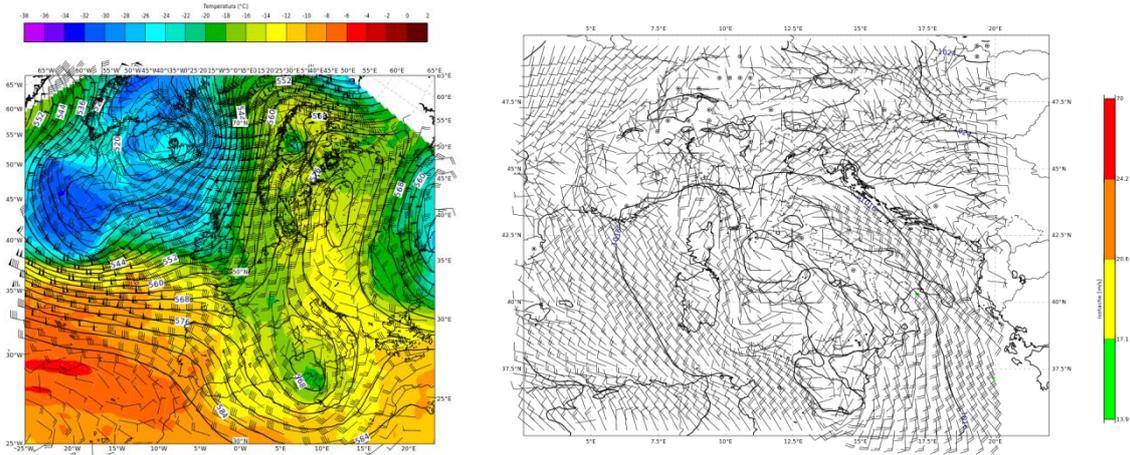


Figura 3: A sinistra, mappe del geopotenziale e vento alla superficie isobarica 500 hPa e vento e temperatura di 850 hPa del 19 ottobre 2024 alle ore 12 UTC. A destra la corrispondente mappa della pressione al suolo e del vento superficiale (10m di quota) dove si nota la convergenza di correnti di scirocco e di bora lungo la costa romagnola.

La mattina del 19 ottobre la zona di convergenza presente lungo la costa e sul Ferrarese, dà luogo a temporali intensi e persistenti che lentamente, dal tardo pomeriggio, entrano nell’entroterra e raggiungono la zona collinare centrale della regione causando alluvioni lampo e rapide piene fluviali. La stazionarietà del ciclone sul Mediterraneo, le anomalie record della temperatura del mare, l’elevato flusso di vapor d’acqua (molto più alto del normale), sono tutti elementi che hanno giocato un ruolo importante nel determinare le elevate intensità e cumulate totali delle precipitazioni osservate in questi due eventi.

In particolare le altissime temperature superficiali del mare hanno favorito l’intensificazione dei fenomeni in maniera duplice: tramite un aumento dell’instabilità termodinamica, palesata dalla significativa attività convettiva sul mare Adriatico in entrambe gli episodi, e incrementando l’evaporazione dal mare. La temperatura media mensile del Mediterraneo nel 2024 è stata infatti sempre prossima a valori record. Sei mesi su dodici la temperatura media mensile del mar Mediterraneo ha battuto tutti i valori precedenti della serie storica a partire dal 1961 (vedi Figura 4).

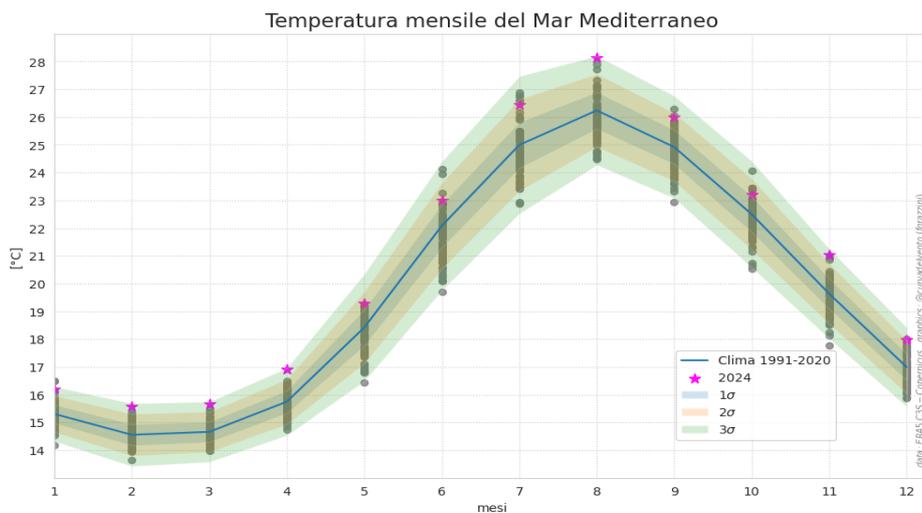
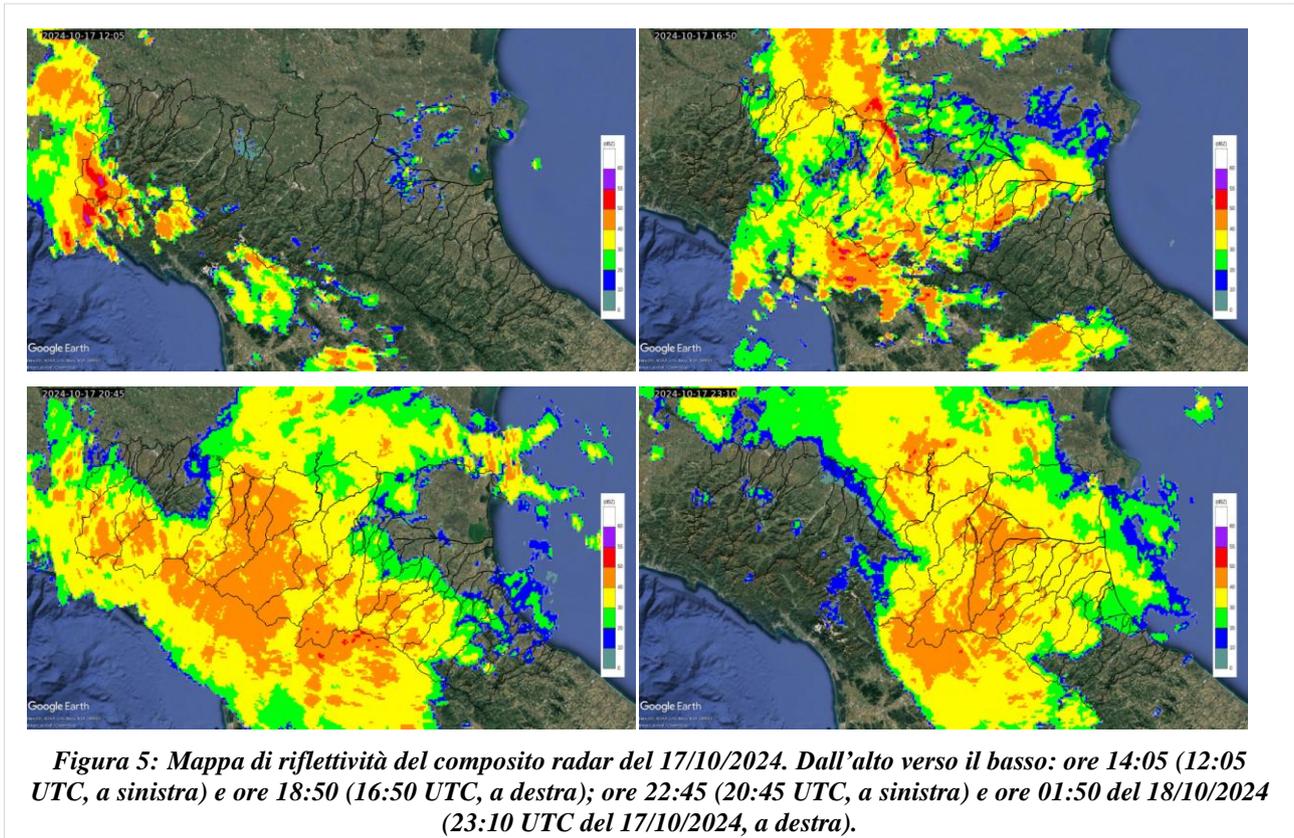


Figura 4: Temperatura media mensile del mare Mediterraneo. I pallini verdi mostrano la media nei rispettivi mesi dal 1961 al 2023. La linea continua blu rappresenta la media mensile calcolata sul periodo recente, fra il 1990-2021. Le fasce colorate rappresentano rispettivamente 1, 2, 3 deviazioni standard rispetto al valore medio mensile recente. La stella mostra il valore medio mensile del 2024. Fonte dati ECMWF ERA5 C3S

2. Analisi meteorologica in Emilia-Romagna

2.1. Evoluzione alla mesoscala sul territorio regionale

Nella mattina del 17 ottobre fenomeni intensi di natura convettiva entrano in regione da sud ovest, per divenire successivamente misti a carattere stratiforme e convettivo, con la parte più intensa delle precipitazioni che si sposta nel settore centro settentrionale. Verso sera flussi più meridionali portano piogge estese su buona parte della regione con intensità moderate, a tratti forti, che insistono sui bacini centrali della regione (Figura 5), esaurendosi nelle prime ore del 18 ottobre.



Il giorno 19 ottobre si assiste ad una rotazione dei flussi da sud est e si verifica la fase più intensa dell'evento. Le mappe radar mostrano bene la variazione della zona di convergenza fra le varie masse d'aria che ha determinato lo spostamento della banda di precipitazioni più intense verso l'Appennino. In Figura 6 vengono mostrati alcuni istanti più significativi dell'evoluzione dei fenomeni durante la giornata del 19 ottobre: la mattina le precipitazioni a carattere temporalesco o di rovescio forte (corrispondenti ai colori rossi) si trovano sulla pianura ferrarese, nelle ore centrali sono allineati lungo la costa, con un massimo nella zona di Cesenatico, mentre nel pomeriggio-sera, seppur con una minore estensione, si trovano allineati lungo la fascia collinare bolognese, inseriti in una vasta zona di precipitazioni moderate-forti e continue (fascia arancione). Dalle prime ore del 20 ottobre le precipitazioni si spostano progressivamente verso ovest insistendo ancora sulla collina del settore centro-occidentale della regione, per poi attenuarsi definitivamente.

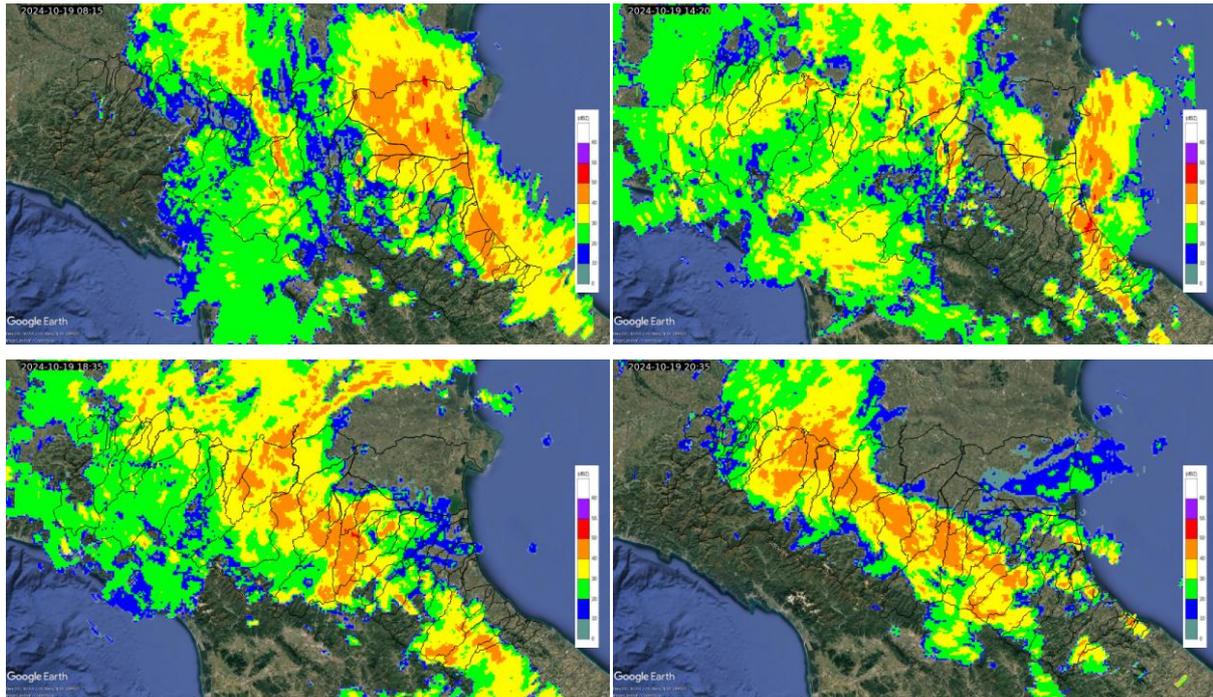


Figura 6: *Mappa di riflettività del composito radar del 19/10/2024. Dall'alto verso il basso: ore 10:15 (08:15 UTC, a sinistra) e ore 16:20 (14:20UTC, a destra); ore 20:35 (18:35 UTC, a sinistra) e ore 22:35 (20:35 UTC, a destra).*

In Figura 7 sono mostrate le mappe delle fulminazioni in due particolari istanti dell'evento caratterizzati da fenomeni temporaleschi: sul Piacentino nel pomeriggio del 17 e su Cesenatico nel pomeriggio del 19 ottobre.

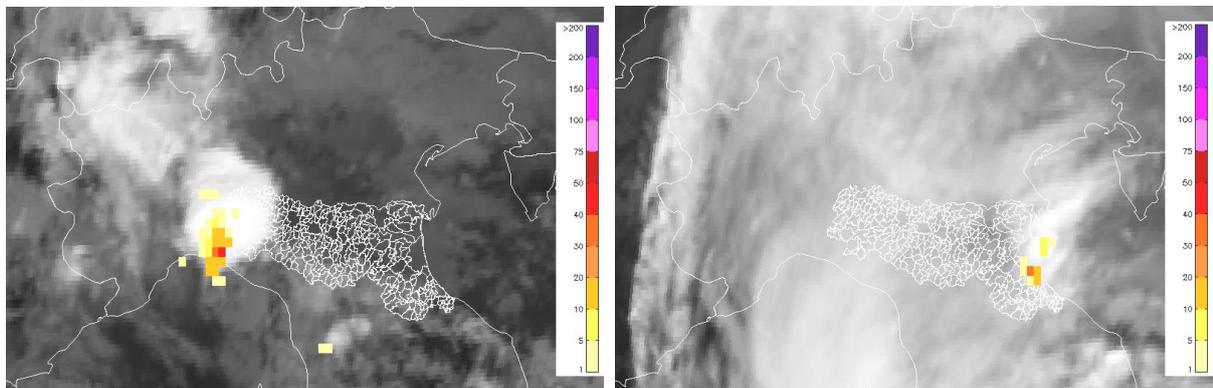


Figura 7: *Mappa di densità di fulminazioni da rete LAMPINET dell' Aeronautica Militare sovrapposta al canale IR da satellite Meteosat-10 il 17/10/2024 alle 14:00 (12:00 UTC) e il 19/10/2024 alle 16:30 (14:30 UTC del 19/09/2024).*

2.2. Analisi delle precipitazioni cumulate

Di seguito si riportano i dati pluviometrici e le mappe di cumulata da radar riaggiustata con i pluviometri relativi alle due fasi dell'evento più significative dal punto di vista degli accumuli sulle 24 ore, descritte nel precedente paragrafo: il periodo dalle 13:00 del 17 ottobre alle 13:00 del 18 ottobre (Figura 8 e Tabella 1) con i massimi di precipitazioni concentrati sul crinale del settore

occidentale (bacini di Trebbia e Taro) e centrale (bacini di Reno e Panaro) e quello dalle 6:00 del 19 ottobre alle 6:00 del 20 ottobre (Figura 9 e Tabella 2), con i massimi di precipitazione più concentrati nella zona collinare bolognese, parmense-reggiana, e sulla costa cesenate.

Confrontando i dati orari con il dataset storico risulta che mediamente, sul territorio del comune di Bologna e sui bacini di Samoggia e Idice, sono caduti in 6 ore, tra le 17 e le 23 del 19 ottobre, circa due terzi del valore climatico mensile atteso nel mese di ottobre (1991-2020).

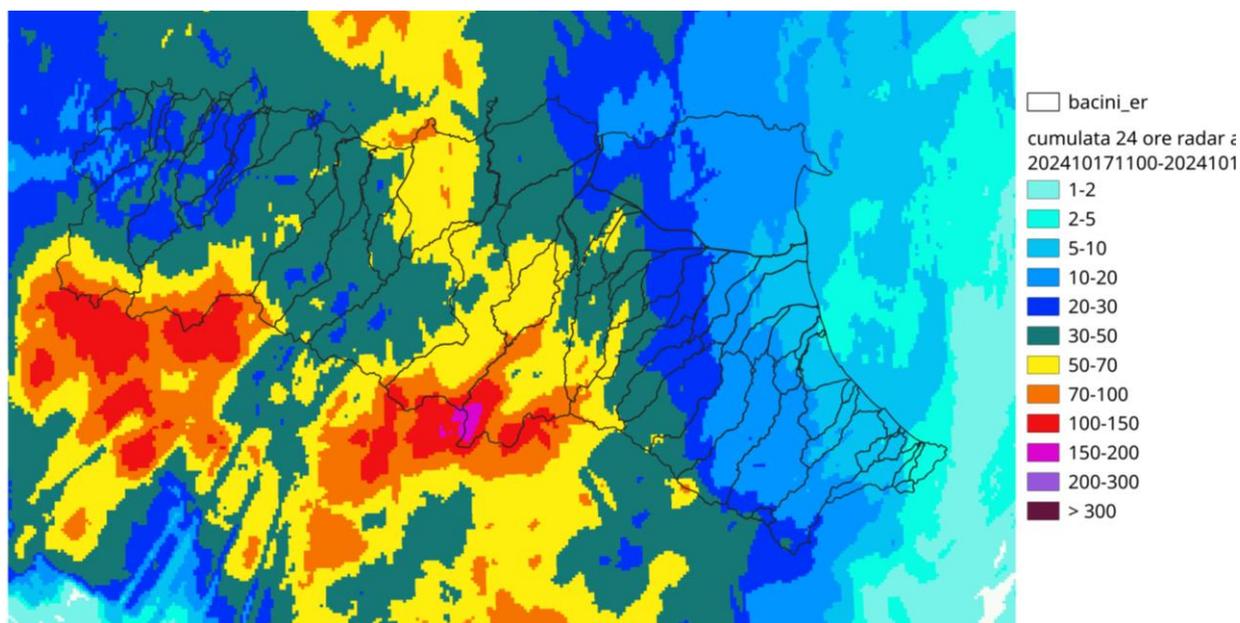


Figura 8: Precipitazioni cumulate sulle 24 ore sui bacini della Regione Emilia-Romagna dalle 13:00 del 17/10/2024 alle 13:00 del 18/10/2024 ottenute da dati radar riaggiustati con i dati pluviometrici.

Tabella 1: Precipitazioni cumulate in 24 ore registrate sul territorio regionale dalle 13:00 (11:00 UTC) del 17/10/2024 alle 13:00 (11:00 UTC) del 18/10/2024, nelle stazioni che hanno rilevato valori maggiori di 80 mm (dati validati)

PREC (mm)	STAZIONE	COMUNE	PROV	BACINO
169,6	Lago Scaffaiolo	Fanano	MO	Panaro
150,8	Monteacuto Delle Alpi	Lizzano In Belvedere	BO	Reno
130	Porretta Terme	Alto Reno Terme	BO	Reno
109,4	Pracchia	Pistoia	PT	Reno
108	Barbagelata	Montebruno	GE	Trebbia
104,4	Montegrosso	Albareto	PR	Taro
95,2	Valdena	Borgo Val Di Taro	PR	Taro
95,2	Treppio	Sambuca Pistoiese	PT	Reno
92,6	Pievepelago	Pievepelago	MO	Panaro
85,4	Riola Di Labante	Castel D'Aiano	BO	Reno
85	Lagdei	Corniglio	PR	Parma
83,6	Ostia Parmense	Borgo Val Di Taro	PR	Taro
83,2	Vergato	Vergato	BO	Reno
82,2	Albareto Parma	Albareto	PR	Taro
81,4	Diga Del Brugno	Torriglia	GE	Trebbia
81,2	Doccia Di Fiumalbo	Fiumalbo	MO	Panaro
80,2	Tarsogno	Tornolo	PR	Taro

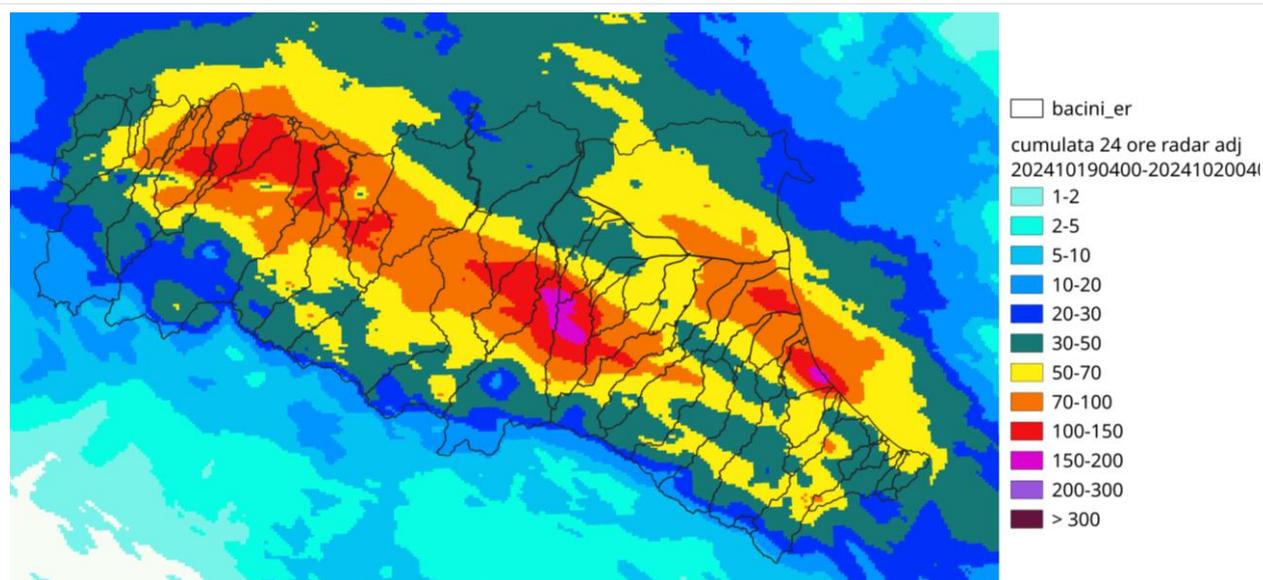


Figura 9: Precipitazioni cumulate sulle 24 ore sui bacini della Regione Emilia-Romagna dalle 06:00 del 19/10/2024 alle 06:00 del 20/10/2024 ottenute da dati radar riaggiustati con i dati pluviometrici.

Tabella 2: Precipitazioni cumulate in 24 ore registrate sul territorio regionale dalle 6:00 (4:00 UTC) del 17/10/2024 alle 6:00 (4:00 UTC) del 18/10/2024 nelle stazioni che hanno rilevato valori maggiori di 100 mm (dati validati)

PREC (mm)	STAZIONE	COMUNE	PROV	BACINO
180.8	Pianoro	Pianoro	BO	Idice
168.4	Casalecchio Canale	Casalecchio Di Reno	BO	Reno
167.6	Monte Ceresa	Pianoro	BO	Idice
162.5	Paderno	Bologna	BO	Reno
159.4	S. Ruffillo Savena	Bologna	BO	Idice
153	Villa Ghigi	Bologna	BO	Reno
149	Casalecchio Canonica	Casalecchio Di Reno	BO	Reno
148.4	Bologna San Luca	Bologna	BO	Reno
143.4	Bologna Urbana	Bologna	BO	Navile - Savena Abbandonato
138.8	Bologna Idrografico	Bologna	BO	Navile - Savena Abbandonato
138.8	Zola Predosa	Zola Predosa	BO	Samoggia
138.6	Sasso Marconi Arpa	Sasso Marconi	BO	Reno
135.8	Lavino Di Sopra	Zola Predosa	BO	Samoggia
133.8	Mesola	Cesenatico	FC	Pianura tra Savio e Rubicone
125	Canocchia Botte Monte	Bologna	BO	Pianura Reno
125	S. Martino In Casola	Monte San Pietro	BO	Samoggia
123.4	Due Tigli	Cesenatico	FC	Rubicone
118.8	Fondo Martignone	Valsamoggia	BO	Samoggia
118.6	Bazzano	Valsamoggia	BO	Samoggia
117	Borgo Tossignano	Borgo Tossignano	BO	Santerno
115.8	Gainago	Torreile	PR	Pianura Fra Parma Ed Enza
112.6	Anzola	Anzola Dell'Emilia	BO	Samoggia
111.6	La Vezza	Fontevivo	PR	Taro
108.8	Parma Urbana	Parma	PR	Pianura Fra Parma Ed Enza
108.5	Fidenza	Fidenza	PR	Taro
107.5	S. Pancrazio	Parma	PR	Pianura Fra Taro E Parma
107.2	S. Clemente	Castel San Pietro Terme	BO	Sillaro
105	Cavriago	Cavriago	RE	Crostolo
104.8	Zibello	Polesine Zibello	PR	Pianura Fra Ongina E Taro
102	Monte San Pietro	Monte San Pietro	BO	Samoggia

3. Gli eventi di piena sul territorio regionale

L'evento di precipitazione in esame è occorso al termine di un inizio autunno particolarmente piovoso, con precipitazioni cumulate registrate dall'1 settembre al 18 ottobre superiori ai 300 mm su tutto l'Appennino, superiori a 400-500 mm nel settore collinare centro-orientale e superiori ai 600 mm nelle zone di crinale centro-occidentale (vedi Figura 10).

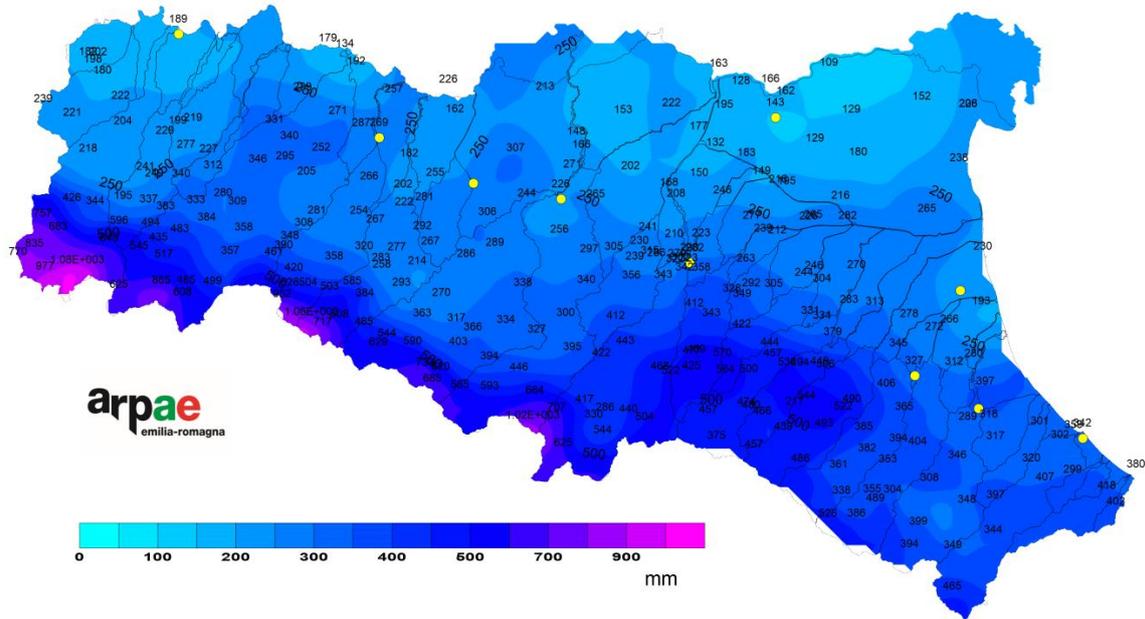


Figura 10: Precipitazione cumulata registrata sulla regione Emilia-Romagna dall'1 settembre al 18 ottobre 2024.

In Figura 11 è illustrato il deficit alla capacità di campo dei suoli sul territorio regionale, simulato con il modello agro-idrologico CRITERIA-1D, che esprime il volume di acqua in mm che il suolo può trattenere, prima che si verifichino trasferimenti di acqua libera per drenaggio e ruscellamento.

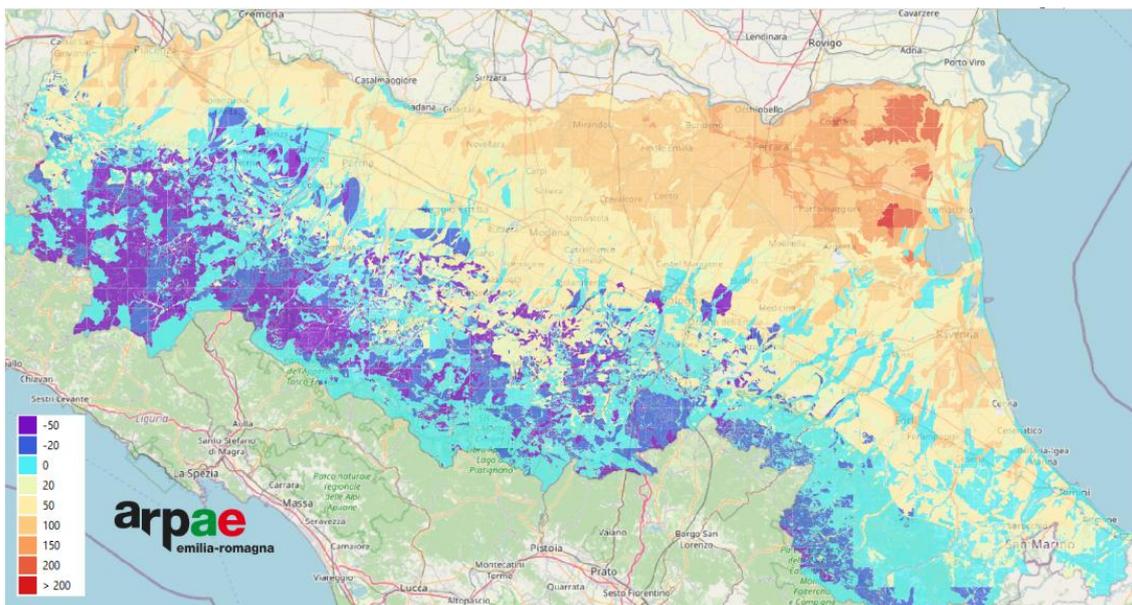


Figura 11: Mappa del deficit alla capacità di campo (mm) simulato con il modello agro-idrologico CRITERIA-1D simulazione del 19 ottobre 2024 alle 00:00 sul profilo di 1 m di suolo.

Le condizioni prossime allo 0 o negative (fino a oltre -50 mm) su tutta la fascia appenninica e le zone collinari da Piacenza alla Romagna mostrano chiaramente come il 19 ottobre, all'inizio dell'evento di precipitazione più intenso, il suolo fosse già saturo o vicino alla saturazione. Le precipitazioni del 17-18 ottobre avevano inoltre generato piene su tutti i corsi d'acqua del settore centrale della regione, dal Secchia al Santerno, con livelli idrometrici importanti su Samoggia, Savena, Idice, Sillaro, e soprattutto sul Reno.

In queste condizioni iniziali particolarmente sfavorevoli, la persistenza di intense precipitazioni nella notte tra il 19 ed il 20 ottobre, ha generato nuovi incrementi dei livelli idrometrici sull'esaurimento delle piene ancora in atto, con nuovi colmi prossimi o superiori ai i massimi livelli storici registrati nel recente maggio 2023, superiori anche i massimi valori misurabili dagli strumenti stessi in alcune sezioni di Samoggia, Idice e Sillaro. Sui rii e torrenti minori della prima collina bolognese si sono registrati rapidi innalzamenti dei livelli idrometrici, anche di alcuni metri in poche ore, accompagnati da esondazioni, allagamenti diffusi, erosioni, trasporto solido, a carico dei centri abitati in prossimità della via Emilia, e della viabilità principale e secondaria. Anche sul torrente Crostolo e sui corsi d'acqua pedecollinari del reggiano-parmense si sono registrate piene elevate, con alcune rotte che hanno allagato la pianura circostante.

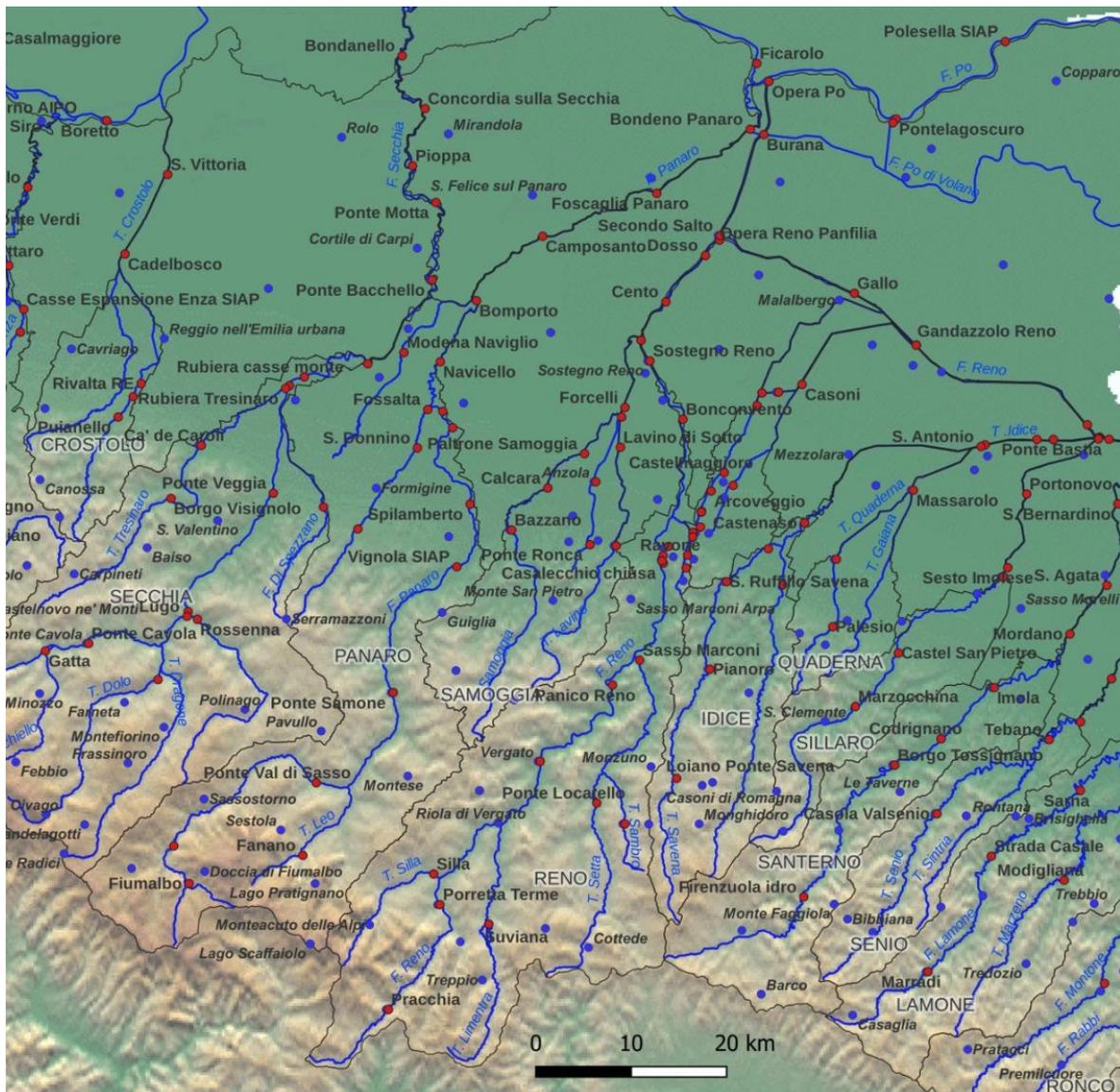


Figura 12: Bacini idrografici e relativi corsi d'acqua interessati dalle piene dal 18 al 19 settembre, con l'ubicazione delle stazioni pluviometriche (in blu) e idrometriche (in rosso).

Nei successivi paragrafi verranno descritti i fenomeni di piena più significativi in termini di effetti al suolo, osservati sui fiumi e torrenti dotati di strumenti in telemisura. Nella Figura 12 sono illustrati i bacini idrografici del settore centrale della regione, con la relativa ubicazione degli strumenti idrometrici e pluviometrici in telemisura della rete di monitoraggio RIRER (Rete Integrata Regione Emilia-Romagna), i cui dati sono stati utilizzati nel presente rapporto.

3.1. La piena del torrente Crostolo

Sul bacino del torrente Crostolo le precipitazioni più intense si sono osservate nel pomeriggio-sera del 19 ottobre, concentrate nella porzione di bacino più prossima alla via Emilia e sul torrente Modolena (vedi Figura 13), affluente di sinistra non strumentato che confluisce in Crostolo poco a monte di Cadelbosco.

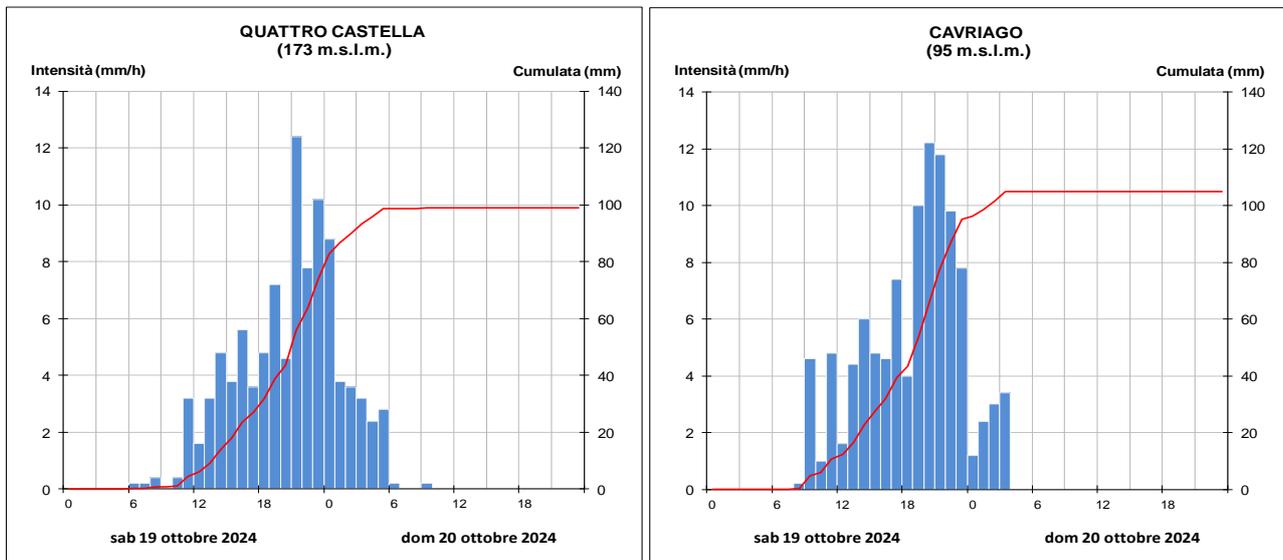


Figura 13: Andamento delle precipitazioni orarie e cumulate più significative dell’evento del 19-20 ottobre, registrate dai pluviometri del bacino del Crostolo, in particolare del suo affluente Modolena (ora solare - dati validati.)

Nella Tabella 4 sono illustrate le piogge di massima intensità per le durate da 1 a 24 ore, registrate durante l’evento del 19-20 ottobre sulle stazioni pluviometriche del bacino del Crostolo. L’analisi statistica condotta con il modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value Distribution), sulle serie storiche disponibili aggiornate al 2023, mostra i tempi di ritorno più significativi per le durate da 12 e 24 ore, con tempi di ritorno stimati intorno a 20 anni, per le stazioni di Quattro Castella e Cavriago. In quest’ultima stazione la precipitazione massima di durata 24 ore si avvicina al massimo valore registrato dal 2007.

Tabella 3: Piogge di massima intensità, per le diverse durate registrate sul bacino del torrente Crostolo, calcolate su base 15 min, nell’evento dal 19 al 20 settembre 2024, a confronto con i massimi storici della serie di durata 24 ore.

STAZIONE	QUOTA m.s.l.m.	PIOGGE INTENSE (base 30 min)					max storici al 16/10/24		Inizio serie registrazioni
		1h	3h	6h	12h	24h	24h	Data max	
Crostolo									
La Stella	729	8,6	18	26,8	42,8	57,4	160,0	25-26 giugno 2024	2001
Canossa	516	12,6	20,2	30,4	45,4	65,6	181,0	13-15 agosto 1965	1942
Quattro Castella	173	13,8	32,4	51	77,8	98,6	201,0	29-31 ottobre 1948	1946
Cavriago	95	35,4	35,8	58	84,6	105	107,0	29 gennaio 2013	2007

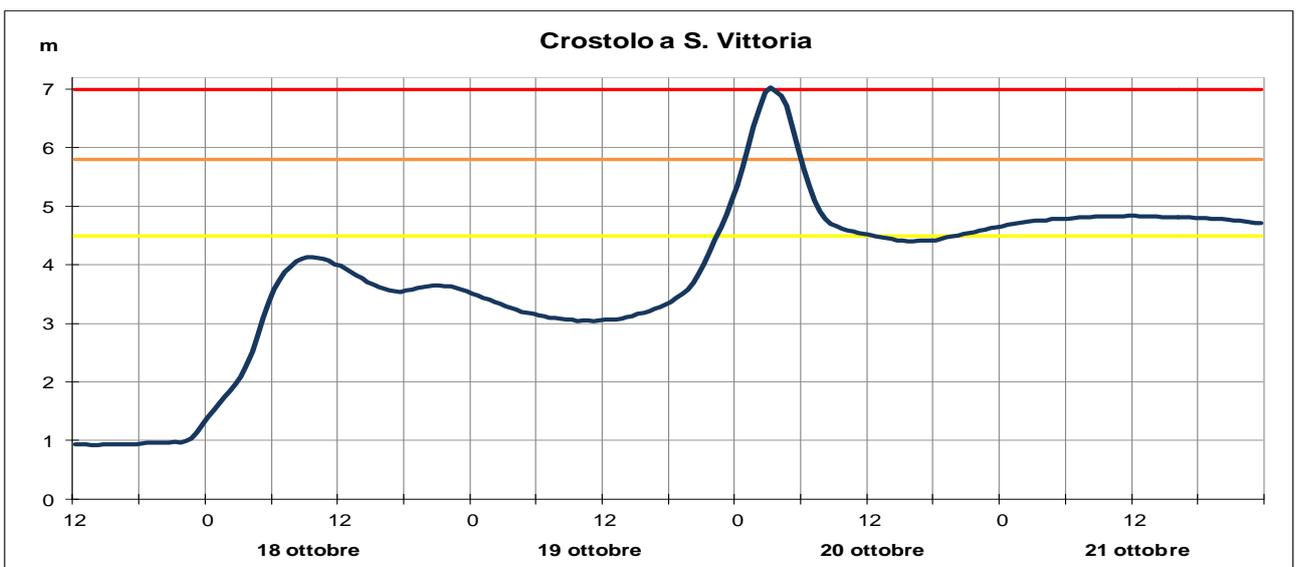
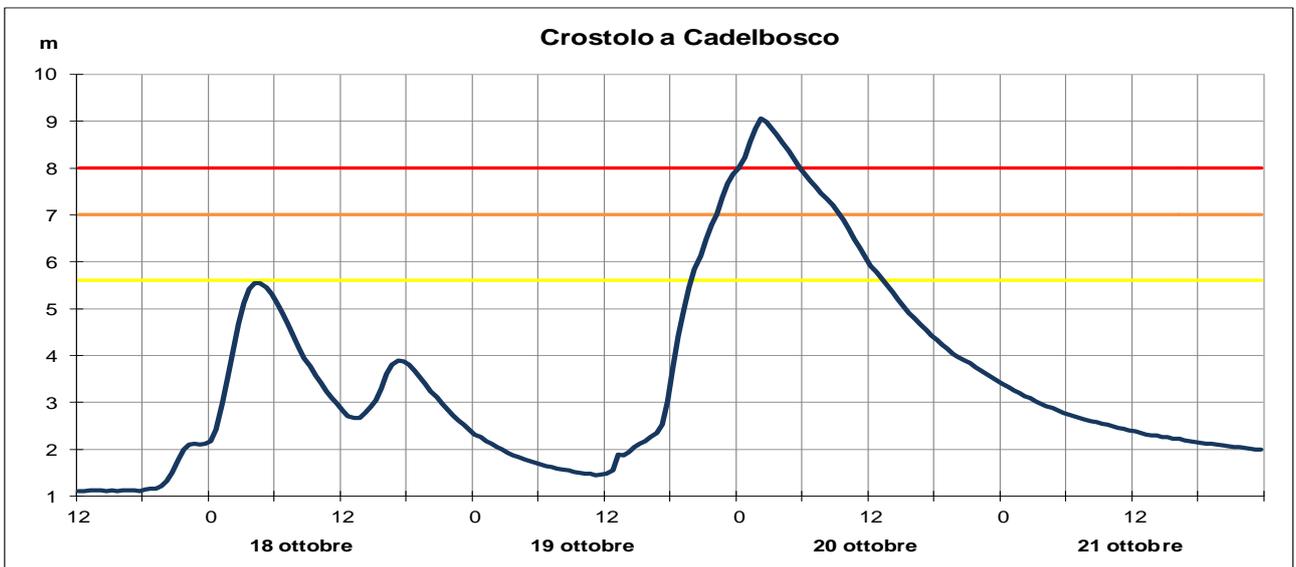
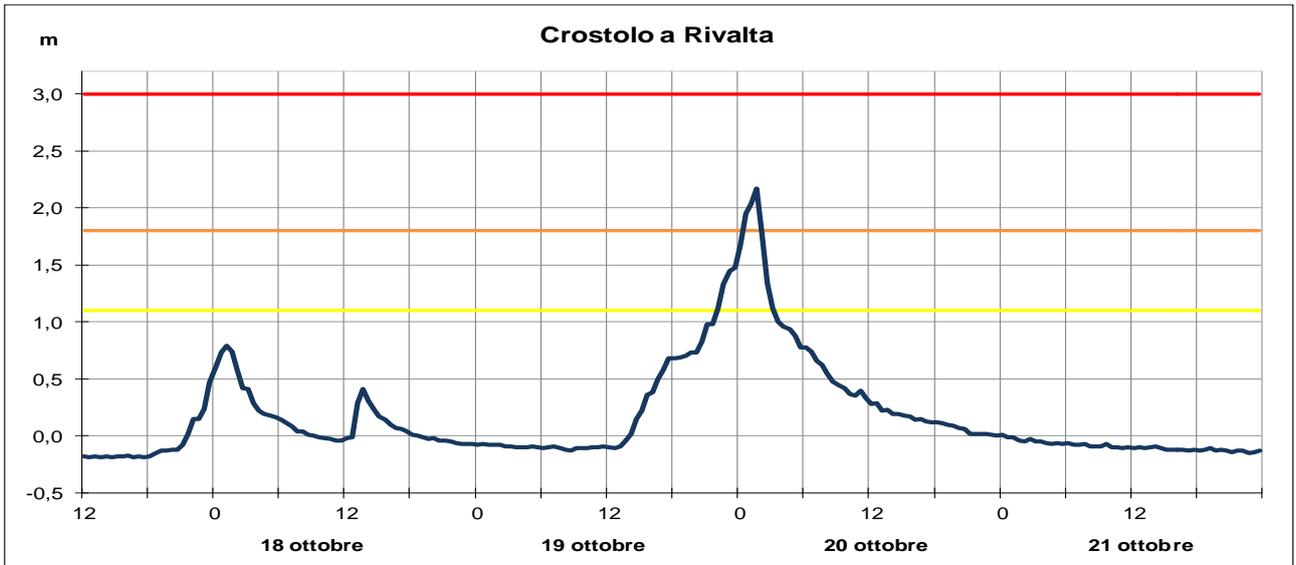


Figura 14: Andamento dei livelli idrometrici nelle sezioni più significative del torrente Crostolo (ora solare - dati validati).

La piena del torrente Crostolo ha registrato nella mattina del 20 ottobre colmi di piena superiori alle soglie 2 nelle sezioni montane (vedi Figura 14), e superiori alle soglie 3 nei tratti a valle della cassa della confluenza con il torrente Modolena. Poiché poiché la maggior parte delle precipitazioni si sono concentrate nell'interbacino a valle della cassa si espansione, questa non ha potuto fornire un apporto significativo alla laminazione delle acque. La contemporanea piena in transito sul fiume Po ha inoltre rallentato il deflusso della piena di Crostolo nelle ultime sezioni del tratto vallivo.

Nella sezione di Cadelbosco la piena ha raggiunto il livello di 9,06 m intorno alle ore 3:00, massimo storico registrato dal 2002, a partire dal quale si è verificata una rapida decrescita dei livelli, dovuta alla fuoriuscita di acqua dalla rotta apertasi sull'argine destro più a valle, a Cadelbosco di sotto. Anche nell'idrogramma registrato a S. Vittoria (vedi Figura 14) è possibile osservare la perdita di volume della piena dovuta alla rotta a monte.

All'allagamento delle campagne tra Cadelbosco, Castelnovo di Sotto, Villa Seta e Bagnolo e Santa Vittoria di Gualtieri (vedi Figura 38), hanno contribuito anche alcune rotte su quest'ultimo, insieme a quelle del Cavo Cava in destra Crostolo, le breccie verificatesi sono da ricondurre con tutta probabilità al sormonto delle acque sulle arginature, come si evidenzia tramite l'osservazione diretta dei manufatti, con conseguente collasso degli argini stessi.

Nella Tabella 4 sono riportate le massime altezze registrate nelle stazioni teleidrometriche del torrente Crostolo durante la piena del 20 ottobre, con l'indicazione dei tempi di propagazione dei colmi, dei massimi storici registrati e delle perdite di volume per rotte ed esondazioni.

Tabella 4: Punte massime registrate nella piena del torrente Crostolo il 20 ottobre 2024. In arancio i livelli superiori alle soglie 2, in rosso quelli superiori alle soglie 3 (dati validati - ora solare).

Torrente CROSTOLO								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soqlia 1	soqlia 2	soqlia 3	H idr.ca	qior. ora	
origine	0,0	0,0						
PUIANELLO	17,4	17,4	1,70	2,30	3,00	2,55	20/10/2024 00:30	
RIVALTA	4,8	22,2	1,10	1,80	3,00	2,17	20/10/2024 01:30	
confluenza Modolena	15,3	37,5						
CADELBOSCO	1,6	39,1	5,60	7,00	8,00	9,06	20/10/2024 02:00	max dal 2002/ rotte a valle
S. VITTORIA	9,5	48,6	4,50	5,80	7,00	7,03	20/10/2024 03:00	rotte a monte
sbocco in Po	10,3	58,9						

3.2. La piena del torrente Samoggia e dei suoi affluenti Lavino e Ghironda

Sul bacino del Samoggia e dei suoi affluenti tra il 17 ed il 18 ottobre si sono registrate precipitazioni poco significative per intensità e cumulate, che hanno generato piene sui corsi d'acqua prossime alle soglie 2. Il 19 ottobre le precipitazioni sono invece iniziate con intensità deboli, per raggiungere valori prossimi ai 20 mm/ora per diverse ore consecutive nella sera ed esaurirsi progressivamente nelle primissime ore del 20 ottobre (vedi Figura 15).

Nella Tabella 5 sono illustrate le piogge di massima intensità per le durate da 1 a 24 ore, registrate durante l'evento del 19-20 ottobre. L'analisi statistica condotta con il modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value Distribution), sulle serie storiche disponibili aggiornate al 2023, mostra i tempi di ritorno più significativi per le durate di 6 e 12 ore, con valori massimi stimati puntualmente nella stazione di Lavino di sopra >100 anni per le piogge di durata 6 ore e >200 anni per le piogge di durata 12 ore. Si osserva in particolare che nelle stazioni pluviometriche di S. Martino in Casola (bacino Samoggia), Lavino di sopra (bacino Lavino) e Anzola (bacino Ghironda)

le piogge massime dell'evento registrate in 24 ore rappresentano i massimi delle rispettive serie storiche, superiori anche alle piogge del recente evento alluvionale del 2-3 maggio 2023.

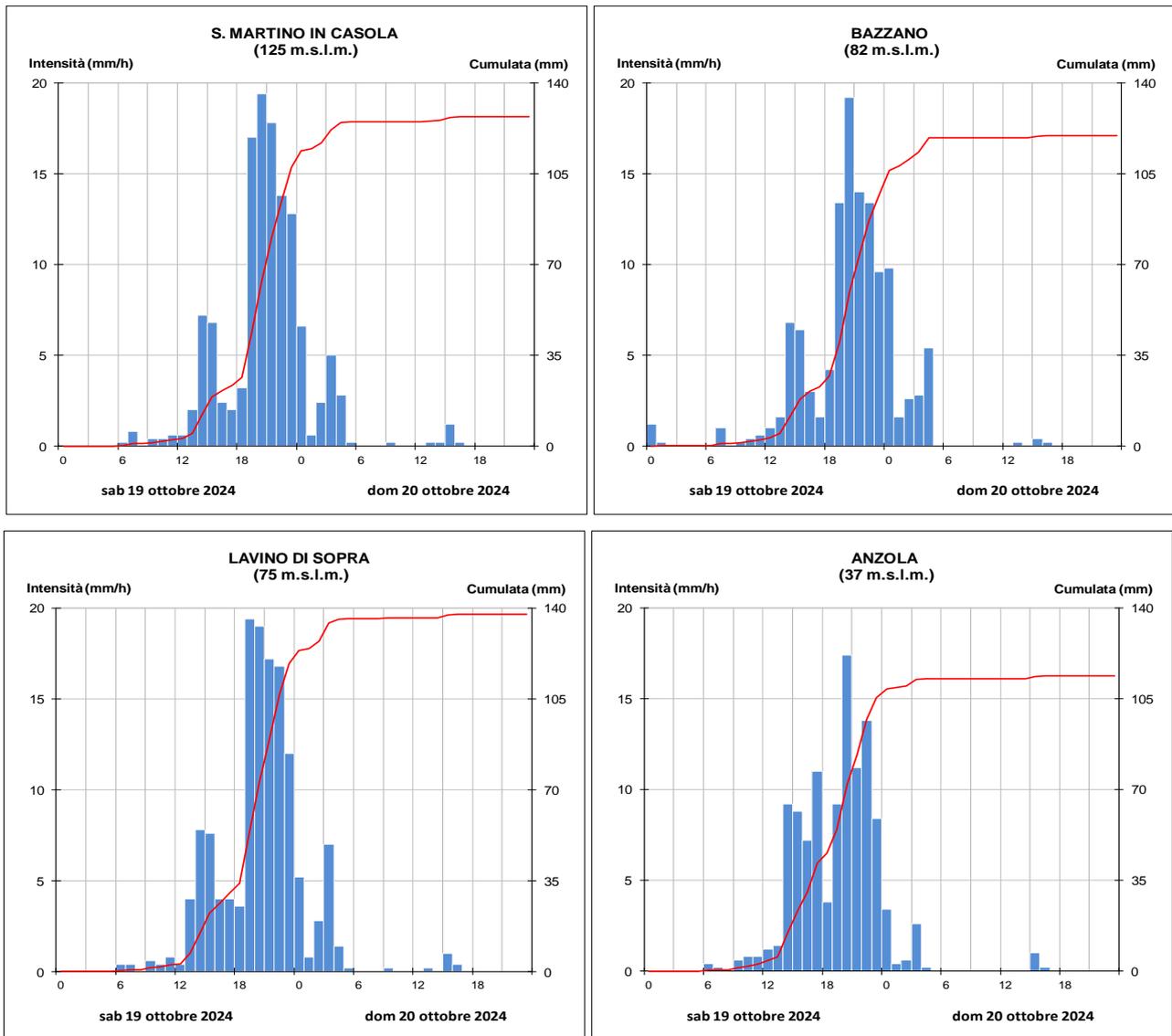


Figura 15: Andamento delle precipitazioni orarie e cumulate più significative dell'evento del 19-20 ottobre, registrate dai pluviometri del bacino del Samoggia (in alto) e dei suoi affluenti Lavino (in basso a sinistra) e Ghironda (in basso a destra) (ora solare - dati validati.)

Tabella 5: Piogge di massima intensità, per le diverse durate registrate sul bacino del torrente Samoggia e dei suoi affluenti Lavino e Ghironda, calcolate su base 15 min, nell'evento dal 19 al 20 settembre 2024, a confronto con i massimi della serie storica di durata 24 ore (in grassetto i valori che hanno superato i massimi).

STAZIONE	QUOTA	PIOGGE INTENSE					max storici al 16/10/24		Inizio serie registrazioni
		m.s.l.m.	1h	3h	6h	12h	24h	24h	
Samoggia - Lavino									
Monteombraro	700	13,6	27,0	41,8	63,1	77,8	159,2	31 agosto 1937	1918
Monte S. Pietro	291	16,6	37,8	63,2	85,2	102,0	122,3	1 agosto 1937	1926
S. Martino in Casola	125	21,4	58,0	87,4	111,0	125,0	110,4	2-3 maggio 2023	2002
Bazzano	82	21,0	54,8	79,6	103,6	118,6	124,0	9 febbraio 2015	1968
Lavino di sopra	75	23,8	59,2	90,8	120,6	135,8	119,4	2-3 maggio 2023	2005
Anzola	37	23,2	43,6	68,2	105,4	112,6	99,0	20 maggio 2008	2007

Rapidi innalzamenti dei livelli idrometrici nelle sezioni montane dei corsi d'acqua si sono registrati nella notte tra il 19 ed il 20 ottobre, con numerose esondazioni di rii e torrenti collinari in tutto il bacino. Sul Samoggia a Calcara i livelli sono cresciuti di oltre 4 m in 6 ore, raggiungendo un'altezza tale che lo stesso strumento non ha potuto misurare (vedi Figura 17). E' stato possibile comunque stimare il colmo di piena pari ad un'altezza di circa 5,00 m, cui corrisponde una portata ricostruita prossima ai 300 m³/sec. Sul Lavino a Lavino di sopra ha registrato un livello massimo di 11,60 m. alle 00:30 del 20 ottobre, cui corrisponde una portata stimata di circa 190 m³/sec.

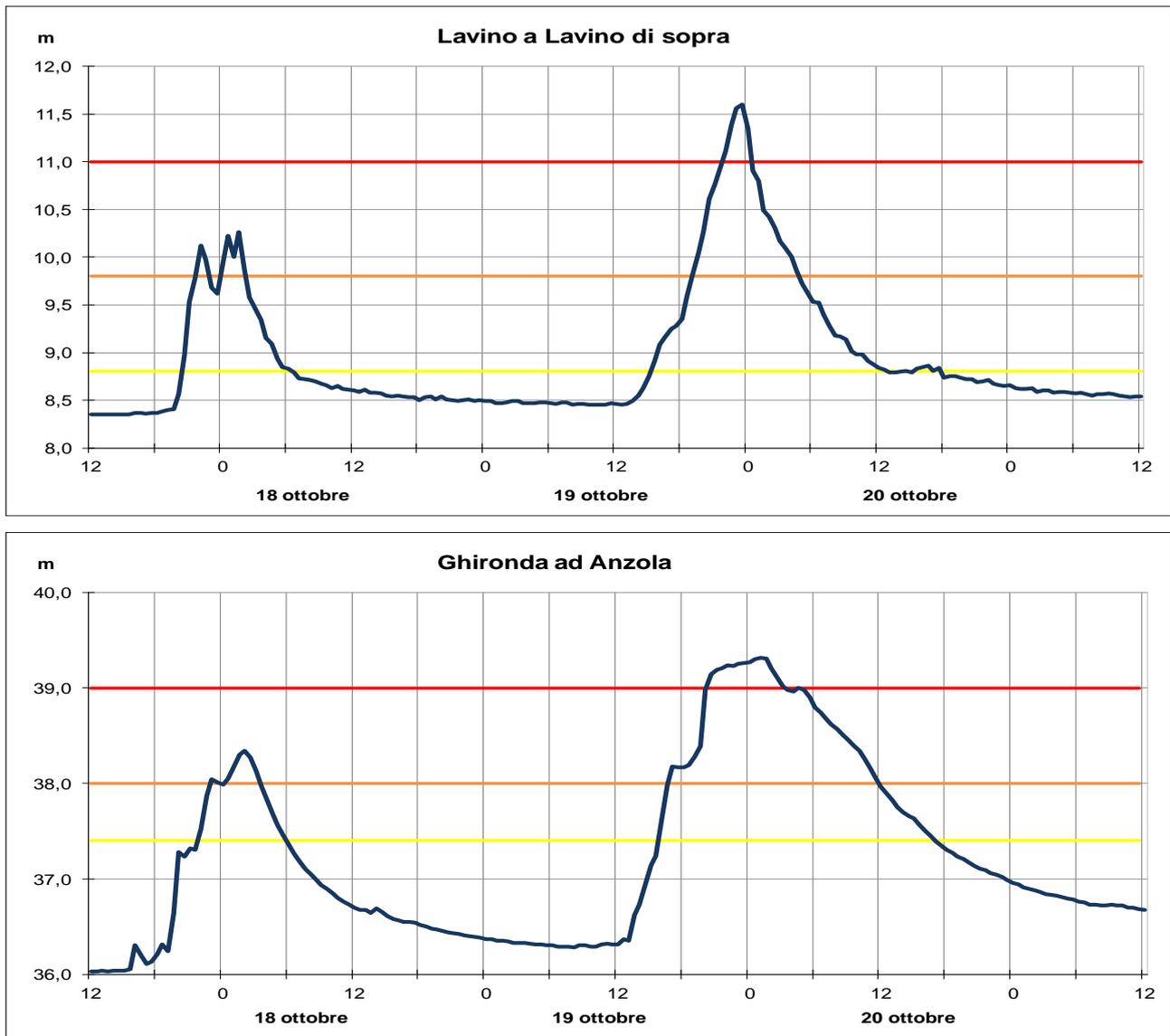


Figura 16: Andamento dei livelli idrometrici nelle sezioni montane più significative dei torrenti Lavino e Ghironda (ora solare - dati validati).

Nell'idrogramma di piena del torrente Ghironda ad Anzola (vedi Figura 16) è ben visibile, in prossimità del colmo di piena, un abbassamento improvviso dei livelli fino alle 18:00, che corrisponde alla tracimazione e conseguente rotta sull'argine sinistro poco più a valle, nei pressi di S. Giacomo in Martignone. Anche sul tratto vallivo del torrente Lavino la piena ha sormontato l'argine sinistro nei pressi di Lavino di sotto, dove si è aperta una rotta con allagamento dei territori compresi tra destra Ghironda e sinistra Lavino, identificabile nell'andamento dei livelli idrometrici nelle 6 ore successive al colmo (vedi Figura 17).

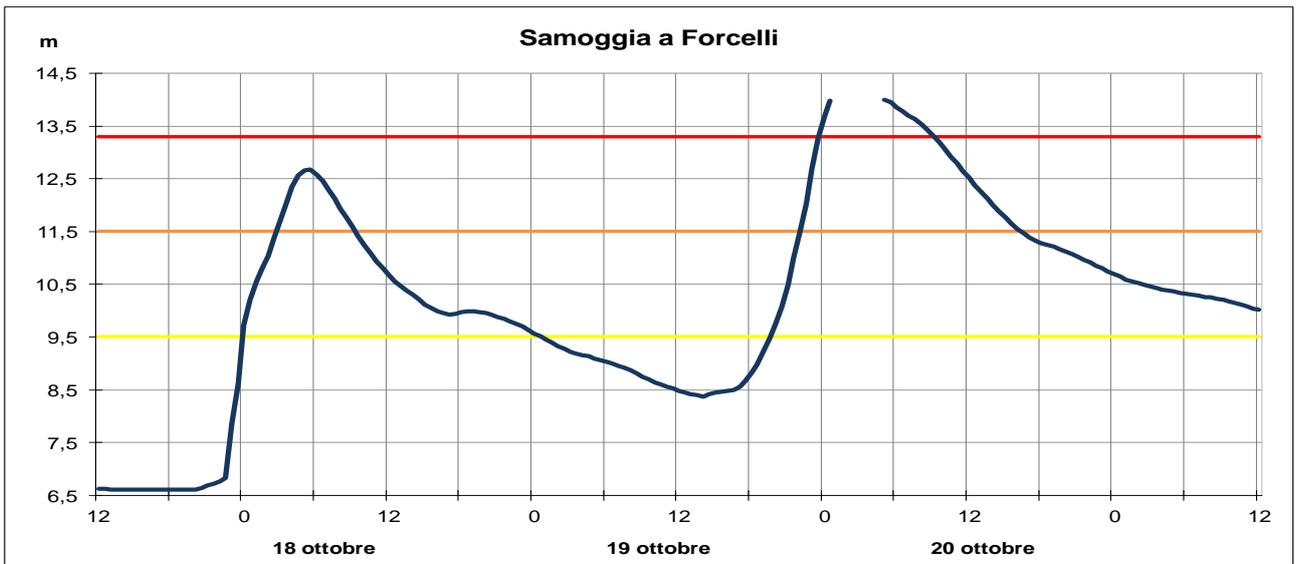
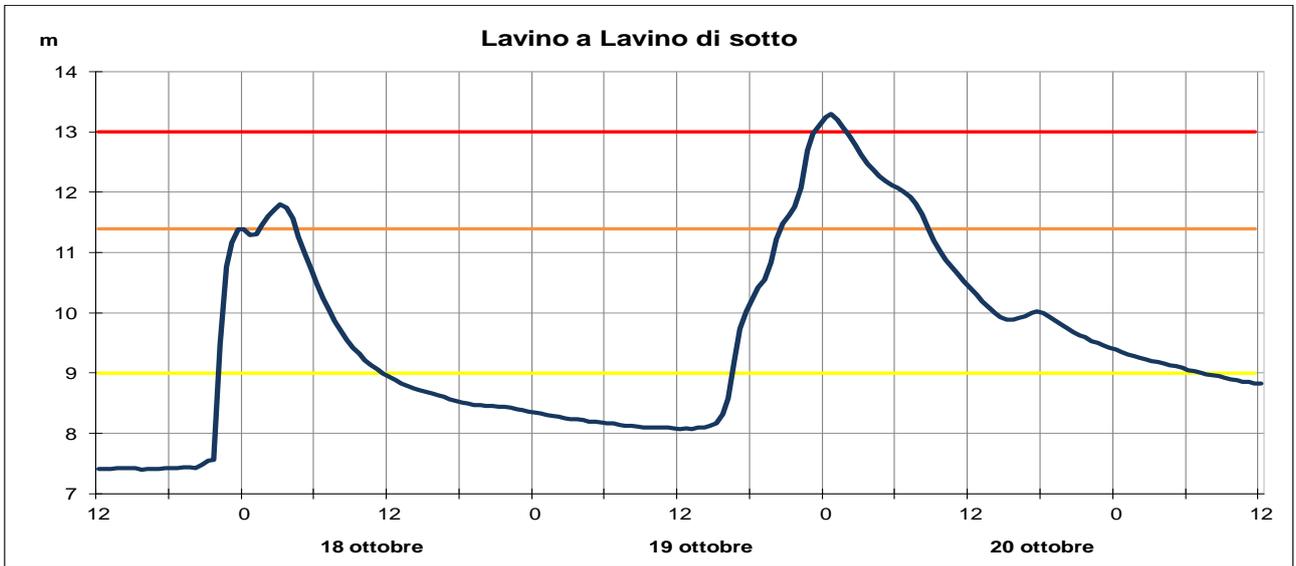
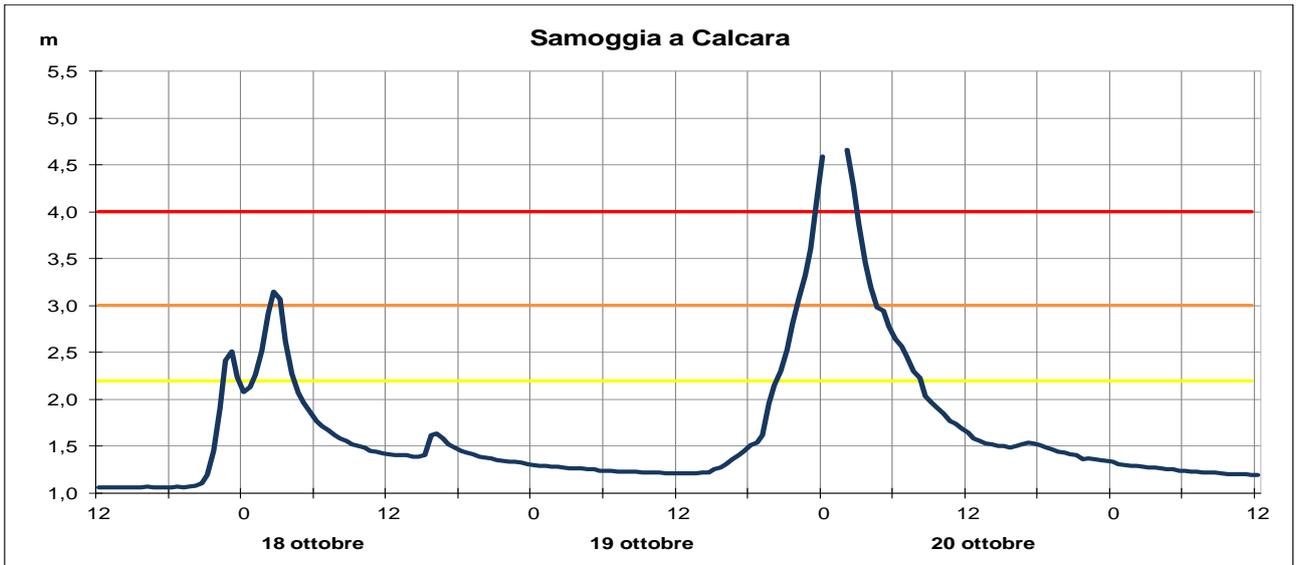


Figura 17: Andamento dei livelli idrometrici nelle sezioni più significative del torrente Samoggia e del suo affluente Lavino (ora solare - dati validati).

Nonostante le perdite di volume dovute alle rotte ed esondazioni, in tutte le sezioni di Samoggia, Ghironda e Lavino i colmi di piena hanno superato i livelli della del maggio 2023, che già rappresentavano i massimi della serie disponibile (vedi Figura 16 e Figura 17). Sebbene a valle di Calcara la piena di Samoggia sia stata parzialmente laminata dalla cassa di espansione delle Budrie, che ha invasato circa 3 milioni di m³, nella sezione di Forcelli, a valle della confluenza con il Lavino, i livelli hanno superato la soglia 3 ed il massimo livello misurabile dallo strumento.

Nella Tabella 6 sono riportate, con riferimento all'ora solare, le massime altezze registrate nelle stazioni teleidrometriche del torrente Samoggia e dei suoi affluenti Ghironda e Lavino durante la piena del 19-20 ottobre, con l'indicazione dei tempi di propagazione dei colmi, dei massimi storici registrati e delle perdite di volume per rotte ed esondazioni.

Tabella 6: Punte massime registrate nella piena del Samoggia e dei suoi affluenti Lavino e Ghironda, il 19-20 ottobre 2024. In arancio i livelli superiori alle soglie 2, in rosso quelli superiori alle soglie 3 (dati validati - ora solare).

Torrente SAMOGGIA								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
BAZZANO	26,8	26,8	0,40	1,10	1,60	2,90	20/10/2024 00:00	max dal 1986
CALCARA	8,8	35,6	2,20	3,00	4,00	>4,66	20/10/2024 notte	max dal 1986/strumento in finestra di misura
PALTRONE	5,8	41,4	36,50	37,70	38,70	>38,07	20/10/2024 06:00	funzionamento parziale/ in finestra di misura
confluenza Lavino	6,9	48,3						
FORCELLI	0,8	49,1	9,50	11,50	13,30	>14,00	20/10/2024 mattina	max dal 1986/strumento in finestra di misura
sbocco in Reno	9,9	59,0						
Torrente GHIRONDA								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0	0,0						
ANZOLA	7,5	7,5	37,40	38,00	39,00	39,32	20/10/2024 01:00	max dal 1986/ rotta a valle
sbocco in Lavino	8,7	16,2						
Torrente LAVINO								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
LAVINO di SOPRA	21,5	21,5	8,80	9,80	11,00	11,60	19/10/2024 23:30	max dal 1986/ esondazioni a valle
LAVINO di SOTTO	11,5	33,0	9,00	11,40	13,00	13,30	20/10/2024 00:30	max dal 1986/ rotta a valle
sbocco in Samoggia	0,2	36,5						

3.3. La piena del torrente Ravone a Bologna

La piena del torrente Ravone merita una descrizione a se in quanto, nonostante le sue piccolissime dimensioni (18 km di lunghezza su un bacino di 7 kmq), scorre tombato per circa 2,7 km sotto la zona urbana ovest di Bologna, attraversando i quartieri Saragozza, Costa, Saffi, che nella notte tra il 19 ed il 20 maggio sono stati interessati da ingenti allagamenti. Vista l'importanza che il torrente riveste per il rischio idraulico del capoluogo, dal 2013 è stato avviato da ARPAE-SIMC un progetto sperimentale^[1] (CRITERIA-RAINBO) centrato sulla possibilità di pervenire ad un allertamento automatico, ragionevolmente affidabile e dedicato ai piccolissimi bacini che generalmente insistono su aree tipicamente urbane. A tal fine il bacino del Ravone è stato strumentato con l'installazione di un pluviometro e tre idrometri, la cui posizione è illustrata in Figura 18. L'idrometro di Ravone si trova in particolare all'imbocco della tombatura in Via di Ravone n°20 (vedi Figura 20), e l'idrometro di Via del Chiù all'uscita della stessa, in città.

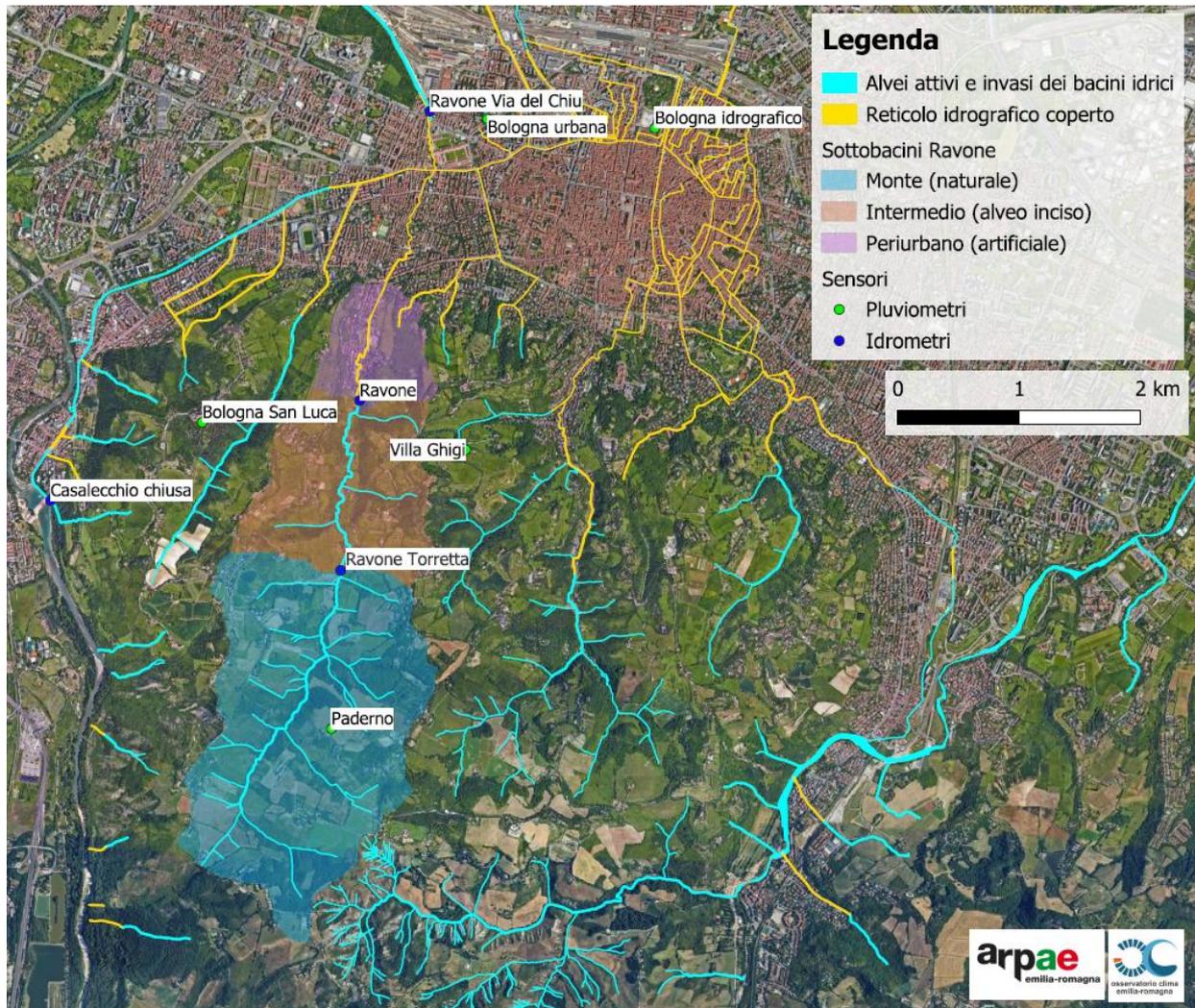


Figura 18: Bacino idrografico del torrente Ravone rispetto alla città di Bologna.

Le deboli precipitazioni cadute tra la sera del 17 e la prima mattina del 18 ottobre, con una cumulata intorno ai 40 mm in 10 ore, hanno generato sul torrente Ravone un modesto di fenomeno di piena prossimo alla soglia 1 all’imbocco della tombatura (vedi Figura 19), ed un elevatissimo stato di saturazione iniziale dei suoli, dovuto anche dalle abbondanti piogge del mese di settembre. Il modello sperimentale CRITERIA-RAINBO sviluppato da ARPAE-SIMC sul bacino del Ravone^[2], indicava infatti nella mattina del 19 ottobre valori negativi del WHC (Water Holding Capacity) iniziale, segno che i primi 35 e 75 cm di suolo non solo non potevano assorbire ulteriore pioggia, ma ma permettevano al bacino di alimentare il corso d’acqua con un deflusso di base sostanzialmente costante.

La nuova pioggia iniziata a cadere debolmente dalla tarda mattina del 19 ottobre iniziava ad intensificarsi nelle prime ore del pomeriggio, con rovesci intermittenti di complessivi 24 mm in 6 ore, sotto i quali il corso d’acqua rispondeva invece rapidamente, raggiungendo la soglia 1 alla tombatura. Nonostante l’entità minima della pioggia e il livello del corso d’acqua, non destassero particolare preoccupazione, la situazione predisponente del bacino meritava particolare attenzione. Dopo una temporanea attenuazione delle piogge che determinava un altrettanto rapida diminuzione dei livelli idrometrici (vedi Figura 19), a metà pomeriggio si sono registrate intensissime precipitazioni di 20-30 mm/h per tre ore consecutive, sia in città che sulle prime colline.

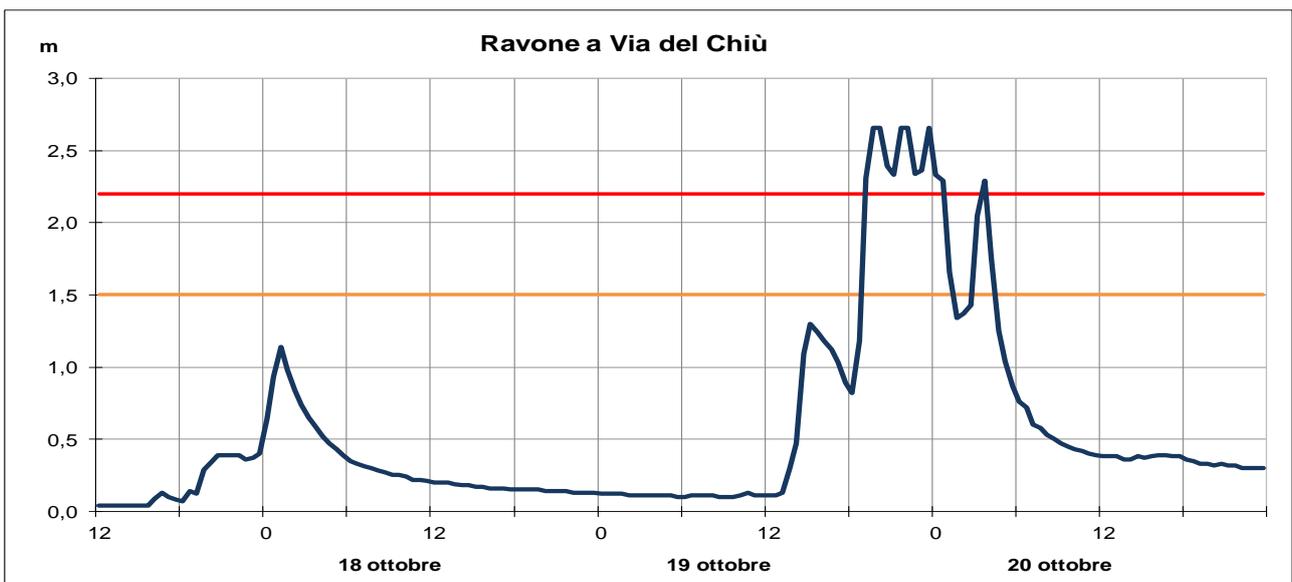
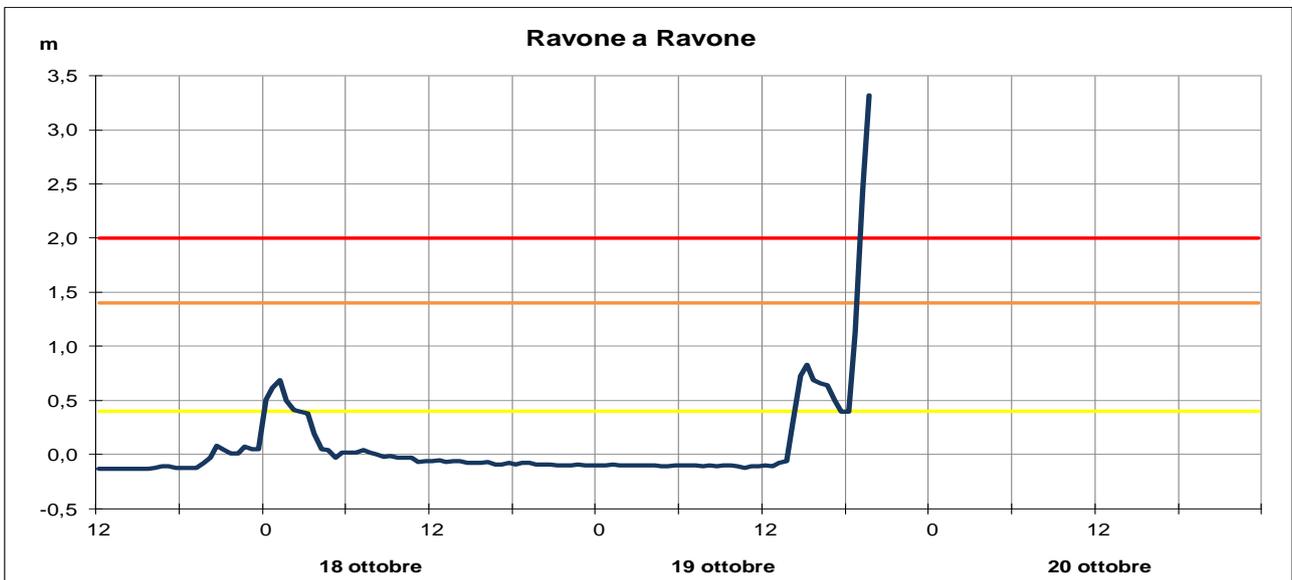
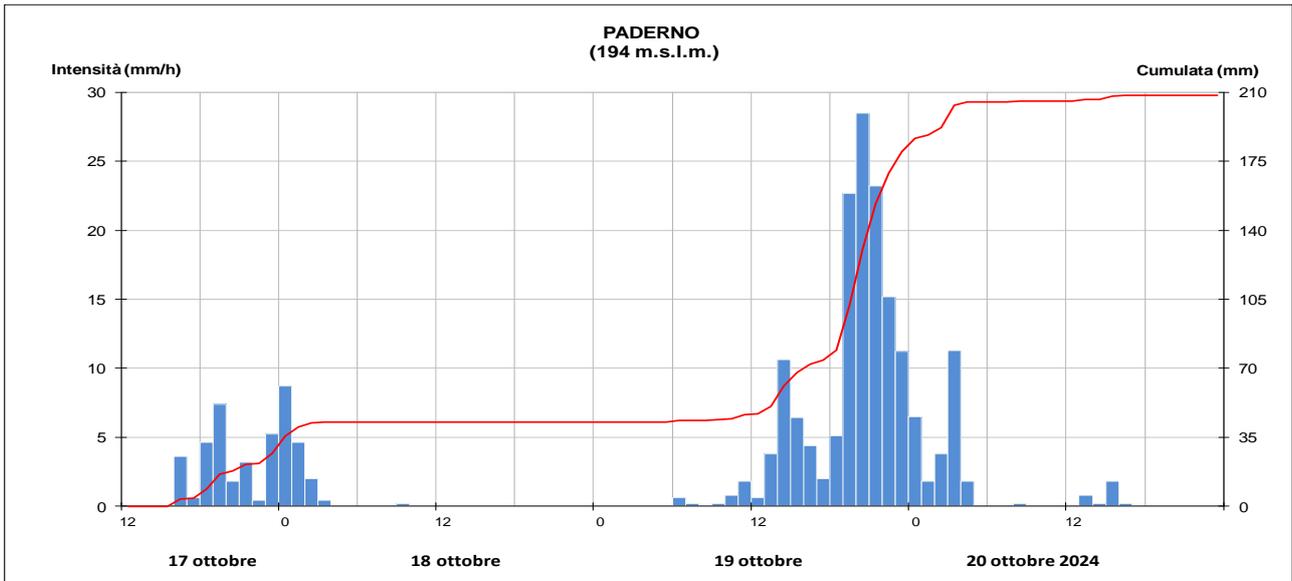


Figura 19: Andamento delle precipitazioni e dei livelli idrometrici sul torrente Ravone (ora solare - dati validati).

Per avere un quadro riassuntivo e più dettagliato delle piogge dell'evento in relazione ai dati storici conosciuti, si riportano in Tabella 7 i dati registrati a Paderno, Villa Ghigi e S. Luca, stazioni pluviometriche di riferimento per i bacini delle colline bolognesi. La pioggia registrata a Paderno, che insiste direttamente sul bacino del Ravone, mostra una cumulata di 162,5 mm/24 ore e di 75,4 mm in sole 3 ore; confrontando tali valori con la serie storica registrata dal 1922 a San Luca, la pioggia del 19-20 ottobre risulta la massima registrata in 24 ore, mentre per le piogge massime di durata da 6 e 12 ore nella stazione di S. Luca l'analisi statistica stima un tempo di ritorno >200 anni. Nel grande nubifragio sulla collina bolognese del 21 luglio 1932 la stazione di Bologna S. Luca registrò 134 mm di pioggia e le fonti storiche riportarono lo straripamento dei torrenti Aposa, Ravone, Meloncello, all'epoca non ancora tombati, nonché gravi danni sulla parte pedecollinare della città^[1].

Tabella 7: Piogge di massima intensità, per le diverse durate registrate sulla collina bolognese, calcolate su base 15 min, nell'evento dal 19 al 20 settembre 2024, a confronto con i massimi della serie storica di durata 24 ore (in grassetto i valori che hanno superato i massimi).

STAZIONE	QUOTA m.s.l.m.	PIOGGE INTENSE					max storici al 16/10/24		Inizio serie registrazioni
		1h	3h	6h	12h	24h	24h	Data max	
Bologna S. Luca	286	28,8	66,4	98,4	135,2	148,4	150,0	27 settembre 1950	1922
Villa Ghigi	203	30,2	68,0	101,9	137,0	153,0	97,2	2-3 maggio 2023	2022
Paderno	194	28,5	75,4	109,0	139,6	162,5	107,1	17 maggio 2023	2014

Nelle prime ore della sera del 19 ottobre tutti i rii e torrenti pedecollinari hanno subito rapidissimi innalzamenti dei livelli idrometrici. Dopo appena venti minuti dall'inizio dei rovesci sulla collina il livello del Ravone è cresciuto di quasi 3,00 m in meno di due ore, sommergendo completamente l'imbocco della tombatura posto a 2,00 m (vedi Figura 20) ed iniziando ad allagando le abitazioni adiacenti. Alle 20:25 il livello idrometrico alla tombatura ha raggiunto i 3,32 m e il sensore ha smesso di funzionare perché sommerso dall'acqua. Intanto la piena da monte ha continuato a crescere, come registrato dall'idrometro di monte a Ravone Torretta che, sebbene non includa il contributo dei numerosi rii che affluiscono più valle, ha raggiunto un picco di 2,45 m alle 22:25, esondando sulla strada adiacente in sinistra.

Si stima che a partire dalle ore 20:00 il tratto tombato del Ravone sia entrato in forte pressione, innescando condizioni di deflusso particolarmente pericolose per la sua tenuta. Le sezioni della condotta tombata risultano infatti nel suo percorso disomogenee per forma e area, e possono subire sensibili restringimenti anche per il trasporto di materiale solido di fondo e flottante, fenomeno non eliminabile del tutto durante le piene. Il forte e rapido rallentamento del deflusso in corrispondenza delle sezioni più strette ha provocato una sovrappressione che si è trasferita con elevata celerità a monte, determinando all'imbocco della tombatura oscillazioni marcate; la conferma si è avuta anche dalle informazioni raccolte sul luogo dalle persone presenti, che hanno potuto osservare il fenomeno. E' stato possibile dalle tracce di piena misurare queste oscillazioni comprese tra un massimo di 6,00 m (vedi Figura 20) e un minimo stimato intorno ai 3,50 m o poco più. La tombatura è rimasta in queste condizioni per gran parte dell'evento, con una rapida alternanza di forti pressioni e depressioni in linea con le oscillazioni del livello all'imbocco.

Il risultato di questo fenomeno si è risentito soprattutto nel tratto urbano, con un martellamento continuo della struttura della tombatura che nei punti più deboli ha causato vere e proprie esplosioni, con conseguente fuoriuscita di acqua e detriti che hanno allagato di numerose strade tra Via Saragozza e Via Sabotino (vedi § 4). Nonostante sia estremamente complesso fornire un valore di portata in arrivo dal bacino di monte basandosi solo sui livelli idrometrici misurati o rilevati, è stato possibile con i soli dati pluviometrici e con un modello idrologico semplificato di primo

approccio, stimare una portata compresa fra 40 e 60 m³/s, a fronte di una portata massima transitabile in tombatura, quando i livelli sono prossimi alla soglia 3, non superiore a 12-15 m³/s.



Figura 20: Idrometro di Ravone in Via di Ravone n°20, con l'indicazione del livello delle soglie rispetto alla sezione di imbocco della tombatura, e della traccia del rigurgito della piena sulla casa adiacente.

All'idrometro di Via del Chiù il livello della piena ha superato il piano stradale (2,25 m) intorno alle ore 20:00, rimanendo pressoché stazionario per diverse ore (vedi Figura 19), a causa dell'esondazione delle acque nelle vie adiacenti, con vasti allagamenti nel quartiere Porto. Proseguendo la sua corsa verso il fiume Reno, il Ravone ha rotto il muro di contenimento che lo separa dalla canaletta Ghisiliera, allagando l'area verde dei Prati di Caprara e successivamente il tunnel stradale di Viale Sabena, preventivamente chiuso (vedi Figura 34). La precipitazione ha cominciato a diminuire d'intensità in maniera significativa dalle ore 24:00, con un corrispondente abbassamento generalizzato dei livelli del torrente da monte verso valle.

Nella Tabella 8 sono riportate, con riferimento all'ora solare, le massime altezze registrate nelle stazioni teleidrometriche del torrente Ravone durante la piena del 19 ottobre, con l'indicazione dei massimi storici registrati e delle perdite di volume per rotte ed esondazioni.

Tabella 8: Punta massime registrate nella piena del Ravone durante la piena del 19 ottobre 2024. In rosso i livelli superiori alle soglie 3 (dati validati - ora solare).

Torrente RAVONE								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
RAVONE TORRETTA	10,8	10,8	-	-	-	2,45	19/10/2024 21:30	max dal 2014/esondazioni a valle
RAVONE	1,7	12,5	0,4	1,4	2,0	>3,32*	19/10/2024 sera	max dal 2014/strumento in finestra di misura
RAVONE VIA DEL CHIU'	2,7	15,2	-	1,50	2,20	2,66	19/10/2024 22:00	max dal 2023/rotte a monte ed esondazioni a valle
sbocco in Reno	2,8	18,0						

Note: * Nella sezione di Ravone il rigurgito a monte della tombatura, soggetto a ripetute oscillazioni, ha raggiunto il livello massimo di circa 6 m, rilevato da traccia visiva

3.4. La piena del sistema di canali Navile-Savena abbandonato

Il sistema di canali Navile-Savena abbandonato, che raccolgono le acque della zona urbana di Bologna e dei rii collinari minori attraverso il canale di Reno, illustrati in Figura 18, sono stati interessati da una piena significativa.

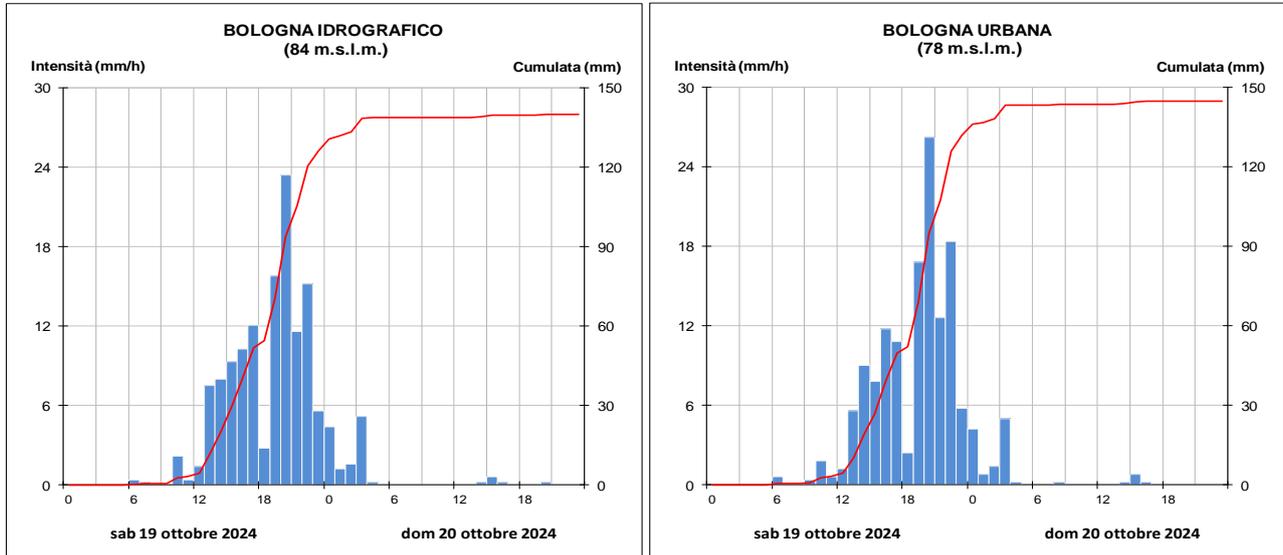


Figura 21: Andamento delle precipitazioni orarie e cumulate nella città di Bologna (ora solare - dati validati.)

Come per la collina bolognese, anche in città, alle deboli ma persistenti precipitazioni del pomeriggio è seguita un'intensificazione nella sera del 19 ottobre (vedi Figura 21) con valori superiori ai 50 mm/3 ore e cumulate in 24 ore superiori ai massimi storici registrati dal 1934 (vedi Tabella 9).

Tabella 9: Piogge di massima intensità, per le diverse durate registrate nella città di Bologna, calcolate su base 15 min, nell'evento dal 19 al 20 settembre 2024, a confronto con i massimi della serie storica di durata 24 ore (in grassetto i valori che hanno superato i massimi).

STAZIONE	QUOTA m.s.l.m.	PIOGGE INTENSE					max storici al 16/10/24		Inizio serie registrazioni
		1h	3h	6h	12h	24h	24h	Data max	
Navile-Savena abb.									
Bologna Idrografico	84	24,0	52,9	82,0	126,8	138,8	115,0	5 ottobre 1990	1934
Bologna urbana	78	26,2	58,8	87,4	132,4	143,4	74,8	18 settembre 2005	2004
Dozza	42	10,2	24,0	40,8	66,2	74,6	77,8	7 ottobre 2005	2001

Con le prime ore di precipitazioni sono avuti già dei livelli ben superiori alla soglia 1, sia sul Navile che sul Savena Abbandonato, e immediatamente dopo una rapida crescita fino a raggiungere un colmo (vedi Figura 22), che in tutte le sezioni ha superato i massimi storici registrati. Le prime esondazioni si sono verificate lungo il tratto non arginato del Navile a Bologna in zona Corticella, a Castel Maggiore in prossimità del ponte di Via Matteotti. A Bentivoglio l'argine è stato trascinato in destra e sinistra, in prossimità della botte del CER, allagando le campagne circostanti. Anche il Savena abbandonato è esondato in destra, in prossimità della SS64 in Via Casette di Cadriano e in località Capo d'argine: le perdite di volume della piena sono visibili nell'andamento dei livelli idrometrici nella sezione della Dozza, subito dopo il colmo, che ha comunque superato la soglia 3 ed i massimi storici.

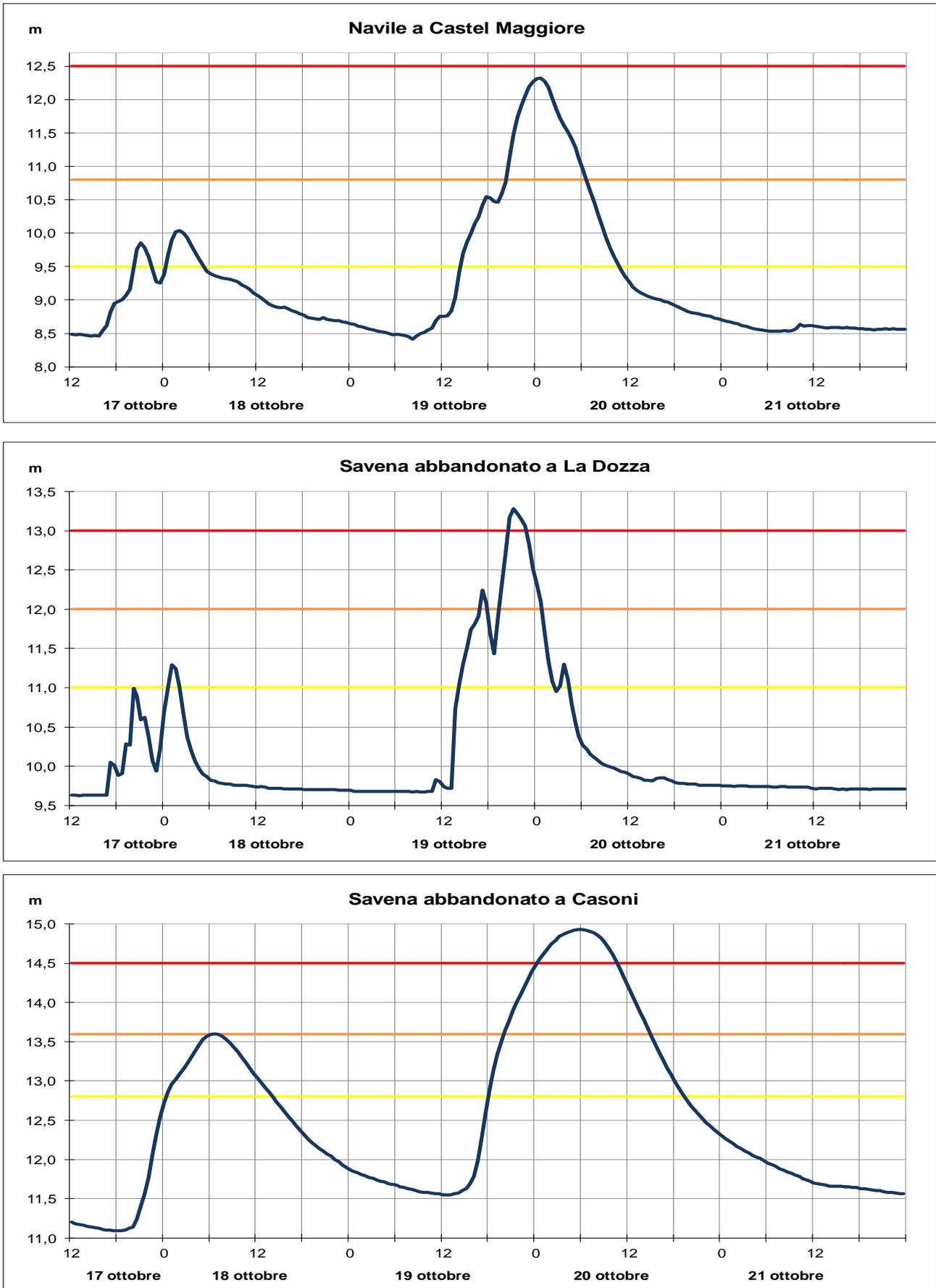


Figura 22: Andamento dei livelli idrometrici nelle sezioni più significative del canale Navile-Savona abbandonato (ora solare - dati validati).

Nella sezione di Casoni, la somma dell'onda di piena del Navile, a quella del Savena abbandonato, ha generato un'unica grande onda di piena, che ha raggiunto un colmo, di 14,93 m alle ore 5:30 del 20 ottobre, superiore alla soglia 3 e al massimo storico registrato.

La contemporanea piena di Reno, con livelli superiori a quella del Savena abbandonato, ha determinato già dal pomeriggio del 18 ottobre la chiusura dei portoni vinciani per oltre 5 giorni. I livelli in progressiva crescita del Savena abbandonato, non avendo possibilità di sfogo in Reno, hanno sormontato la mattina del 20 ottobre dell'argine destro a San Gabriele Baricella, con conseguente rottura dello stesso.

Nella Tabella 10 sono riportate, con riferimento all'ora solare, le massime altezze registrate nelle stazioni teleidrometriche dei canali Navile e Savena abbandonato durante la piena del 20-21 ottobre, con l'indicazione dei tempi di propagazione dei colmi, dei massimi storici registrati e delle perdite di volume dovute a rotte ed esondazioni.

Tabella 10: Punte massime registrate nella piena del canale Navile e del suo affluente Savena abbandonato il 19-20 ottobre 2024. In arancio i livelli superiori alle soglie 2, in rosso quelli superiori alle soglie 3 (dati validati - ora solare).

Canale NAVILE								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
CASALECCHIO canale	0,0	0,0				-0,42	19/10/2024 20:00	valore costante
BOVA	7,0	7,0	0,40	1,20	2,00	1,82	19/10/2024 20:00	
ARCOVEGGIO	4,4	11,4	10,50	12,00	13,00	12,92	19/10/2024 23:00	max dal 1986/ esondazioni a valle
CASTELMAGGIORE	2,4	13,8	9,50	10,8	12,50	12,32	20/10/2024 00:30	max dal 1986/ esondazioni a monte e valle
diversivo a Bentivoglio	9,8	23,6						
BENTIVOGLIO	0,0	23,6	15,60	16,50	17,00	17,67	20/10/2024 05:00	max dal 1998/ esondazioni a monte
sbocco in Reno	19,7	43,3						
DIVERSIVO Navile-Savena								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine diversivo a Bentivoglio	0,0	0,0						
SALETTO	2,0	2,0	1,80	3,00	5,00	3,71	20/10/2024 5:30	
sbocco in Savena	2,0	4,0						
Canale SAVENA abbandonato								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
DOZZA	3,0	3,0	11,00	12,00	13,00	13,28	19/10/2024 21:00	max dal 1989/ esondazioni a valle
confluenza Diversivo	13,0	16,0						
CASONI	0,8	16,8	12,80	13,20	14,50	14,93	20/10/2024 05:30	max dal 1986
GANDAZZOLO	16,1	32,9	12,50	14,00	17,00	15,65	20/10/2024 04:00	max dal 1986/ rotta in destra

3.5. La piena del torrente Idice e dei suoi affluenti Savena e Quaderna

Sul bacino dell'Idice tra il 17 ed il 18 ottobre si sono registrate precipitazioni significative con cumulate prossime ai 50 mm sul bacino montano. Nella stessa notte tra il 17 e 18 ottobre l'Idice e il suo affluente Savena hanno risposto con estrema rapidità facendo registrare, già dalle prime ore del 18 ottobre colmi di piena superiori o prossimi alle soglie 3 (vedi Figura 24). Dal pomeriggio del 19 ottobre con i livelli idrometrici di Idice e Savena ancora in lenta decrescita, si è presentata una nuova perturbazione con precipitazioni che nel bacino collinare hanno raggiungono forti intensità anche superiori ai 30 mm/h e a 70 mm/3h, e cumulate di pioggia complessive di ulteriori 150 mm (vedi Figura 23).

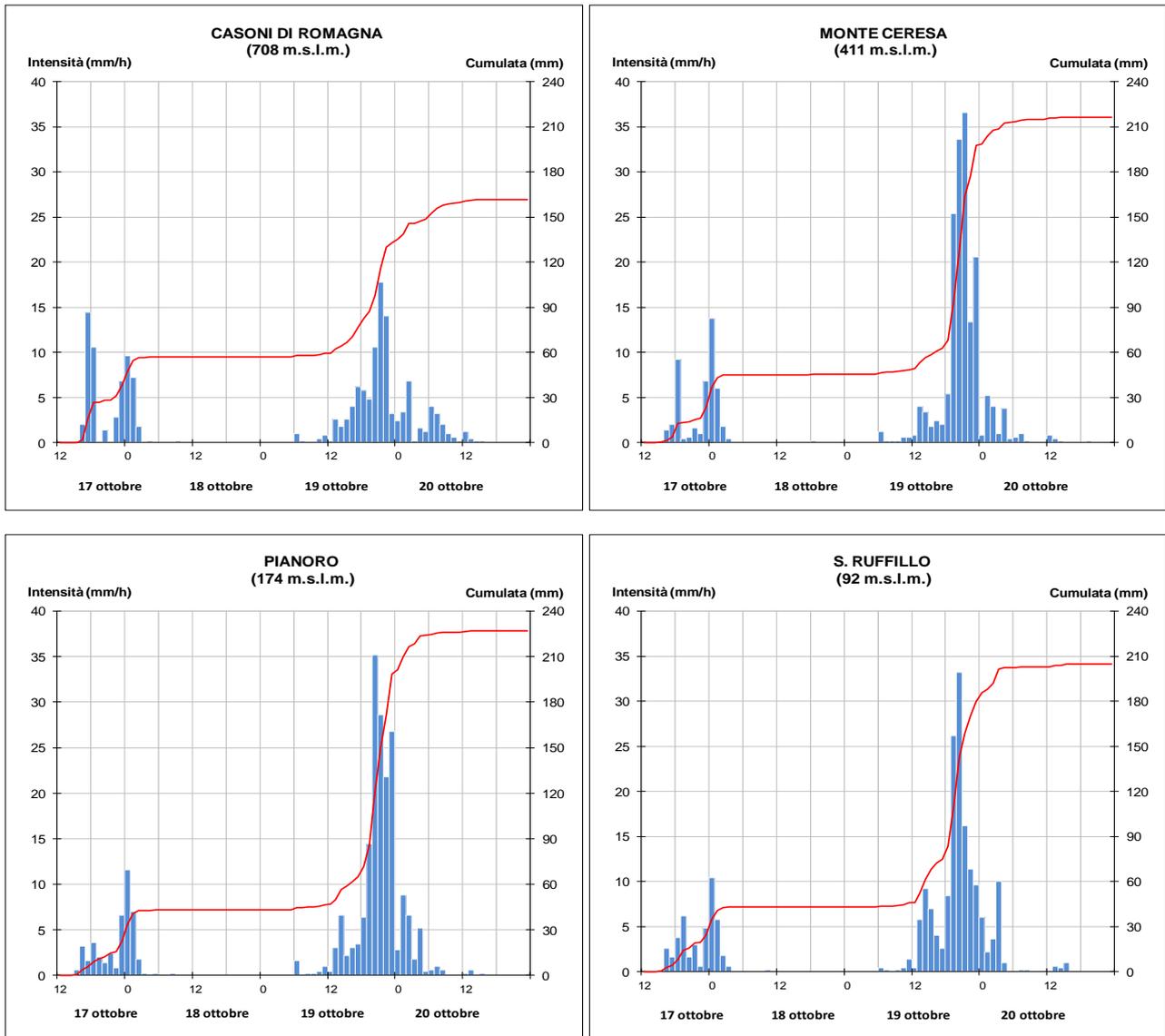


Figura 23: Andamento delle precipitazioni orarie e cumulate nella stazioni pluviometriche più significative dell'Idice (in alto) e del suo affluente Savena (in basso) (ora solare - dati validati.)

Nella Tabella 11 sono illustrate le piogge di massima intensità per le durate da 1 a 24 ore, registrate durante l'evento del 19-20 ottobre. L'analisi statistica condotta con il modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value Distribution), sulle serie storiche disponibili aggiornate al 2023, mostra i tempi di ritorno più significativi per le durate di 6 e 12 ore, con valori massimi stimati puntualmente nelle stazioni di Pianoro, S. Ruffillo (bacino del Savena) e Monte Ceresa (bacino

dell'Idice) >200 anni per le piogge di durata 6 e 12 ore. Si osserva in particolare che nelle stazioni pluviometriche di Pianoro e S. Ruffillo le piogge massime dell'evento registrate in 24 ore hanno superato i massimi delle rispettive serie storiche, che a Pianoro sono più lunghe di 100 anni.

Tabella 11: Piogge di massima intensità, per le diverse durate registrate sul bacino dell'Idice e dei suoi affluenti Savena e Quaderna, calcolate su base 15 min, nell'evento dal 19 al 20 settembre 2024, a confronto con i massimi della serie storica di durata 24 ore (in grassetto i valori che hanno superato i massimi).

STAZIONE	QUOTA	PIOGGE INTENSE					max storici al 16/10/24		Inizio serie registrazioni
		m.s.l.m.	1h	3h	6h	12h	24h	24h	
Savena									
Monghidoro	825	20,0	38,4	53,8	71,3	94,3	173,2	12 giugno 1994	1920
Loiano	675	22,2	38,8	53,0	74,8	88,2	194,0	18-19 settembre 2024	1919
Pianoro	174	37,2	86,8	133,2	162,4	181,2	142,0	11 febbraio 2015	1919
S. Ruffillo	92	34,0	77,2	108,6	139,6	159,4	103,0	2-3 maggio 2023	2003
Idice									
Casoni di Romagna	708	21,0	42,4	60,6	81,6	101,2	239,2	18-19 settembre 2024	1933
Monte Ceresa	411	43,8	99,8	135,6	153,4	167,8	290,0	8-9 ottobre 2004	2001
Quaderna									
Prugnolo	276	22,0	32,6	53,4	83,2	99,8	126,4	2-3 maggio 2023	1966
Varignana	87	25,2	31,8	42,8	71,8	84,8	109,8	2-3 maggio 2023	2001
Centonara	41	12,2	22,2	30,2	52,0	62,2	78,2	2-3 maggio 2023	2001

I livelli idrometrici di Savena e Idice, viste le condizioni iniziali di saturazione dei suoli sono tornati a crescere, ma questa volta superando di gran lunga le soglie 3. Sono stati raggiunti e superati i livelli di maggio 2023, che già rappresentavano i massimi storici conosciuti, e nella sezione di Pizzocalvo sull'Idice la piena ha anche superato la massima altezza misurabile dallo strumento. In tutti gli affluenti montani dei due corsi principali si sono osservati diffusi fenomeni di erosione e trasporto solido, particolarmente rilevanti sul torrente Zena, affluente in sinistra di Idice. Più a valle della confluenza con il Savena, nella sezione di Castenaso sull'Idice, si è registrato alle ore 3:30 del 20 ottobre un colmo di piena con un livello idrometrico di 13,76 m, ancora una volta mai superato per quanto attiene alla serie conosciuta, con portata stimata di circa 560 m³/s. A valle di Castenaso la piena ha tracimato gli argini in più punti: in destra e sinistra in prossimità del ponte di Vigorso e in destra in prossimità del vecchio ponte della Motta, distrutto dalla piena del 17 maggio 2023.

Anche i torrenti Quaderna e Gaiana, che confluiscono in Idice nel tratto arginato, i colmi di piena hanno superato le soglie 3, con importanti sormonti e conseguenti rotte nel tratto vallivo: in destra in corrispondenza della trasversale di pianura e a valle dell'attraversamento del CER, dove le acque hanno allagato la porzione di territorio tra destra Quaderna e sinistra Gaiana. Un'ulteriore rotta in sinistra, in località S. Salvatore a monte della confluenza Gaiana, ha riversato le acque nel comprensorio della Bonifica Renana tra destra Idice e sinistra Quaderna (vedi Figura 36). L'effetto della rotta di Quaderna è ben visibile dalla rapida decrescita dei livelli idrometrici registrata nella sezione di Massarolo nelle prime ore del 20 ottobre, subito dopo il raggiungimento del colmo (vedi Figura 25).

Nonostante le numerose perdite di volume dovute alle rotte di monte, nella sezione di S. Antonio la piena ha superato il massimo livello misurabile dallo strumento (vedi Figura 25). Non potendo l'Idice scaricare le sue acque in Reno, interessato a sua volta dal transito di una piena significativa, è stato necessario effettuare uno scarico controllato nelle casse di Accursi e della Cardinala in sinistra Idice. Ma anche con questa manovra preventiva, la mattina del 20 ottobre, subito a valle della chiavica della Cardinala si è aperta un'importante rotta sull'argine sinistro, che ha allagato una vasta zona tra Idice e Reno (vedi Figura 36).

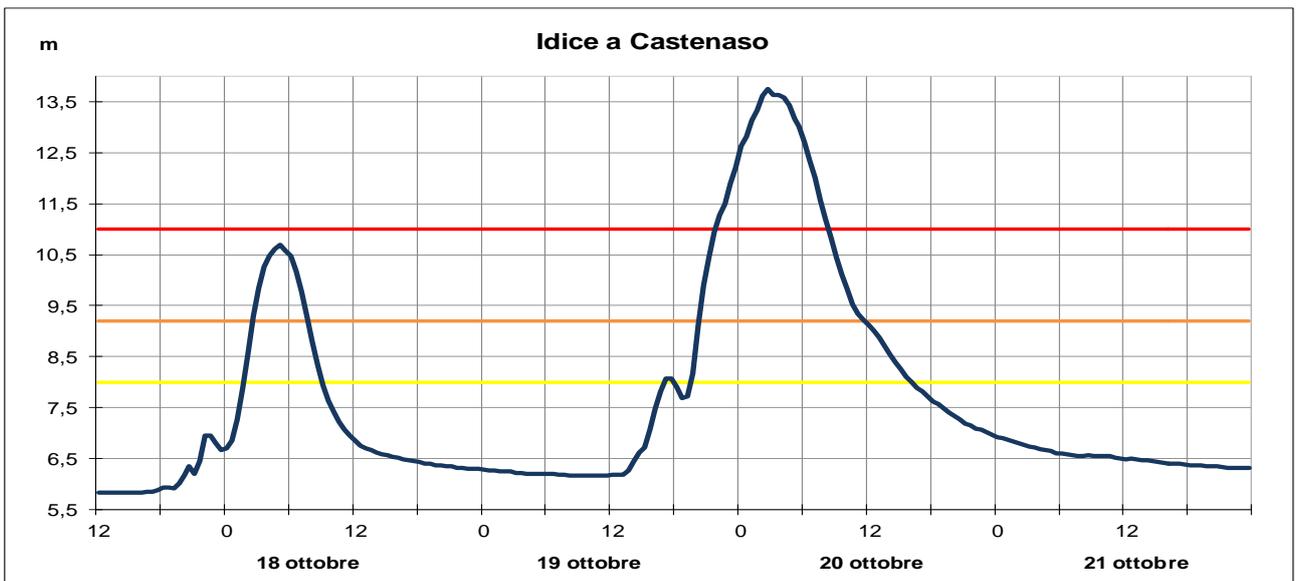
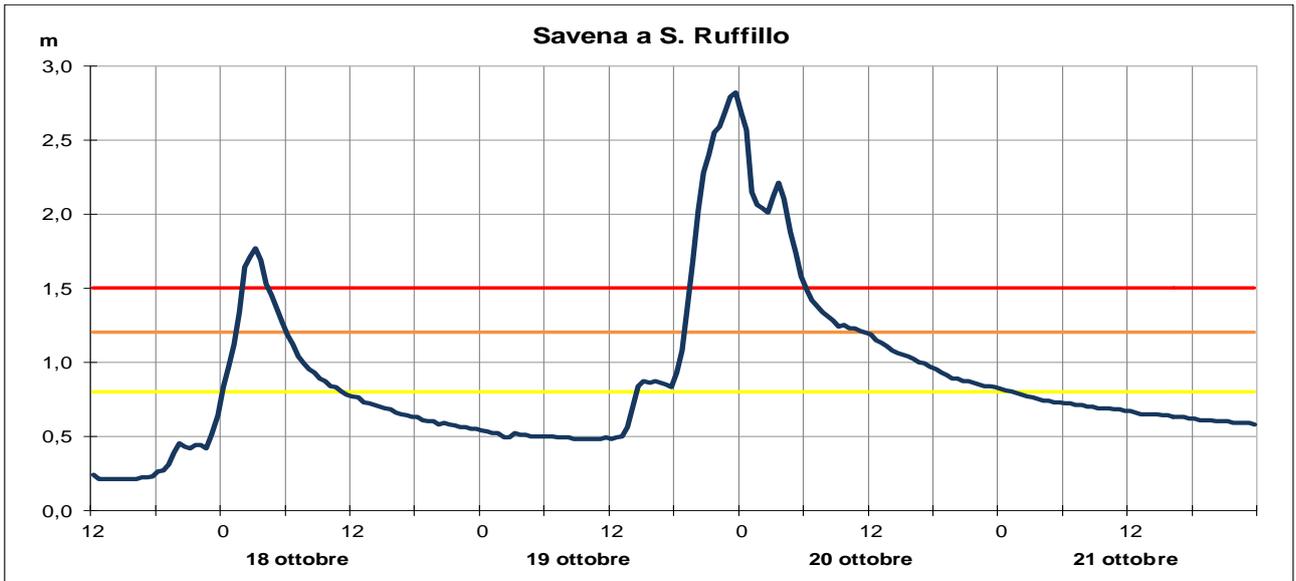


Figura 24: Andamento dei livelli idrometrici nelle sezioni più significative dell'Idice e del suo affluente Savena (ora solare - dati validati).

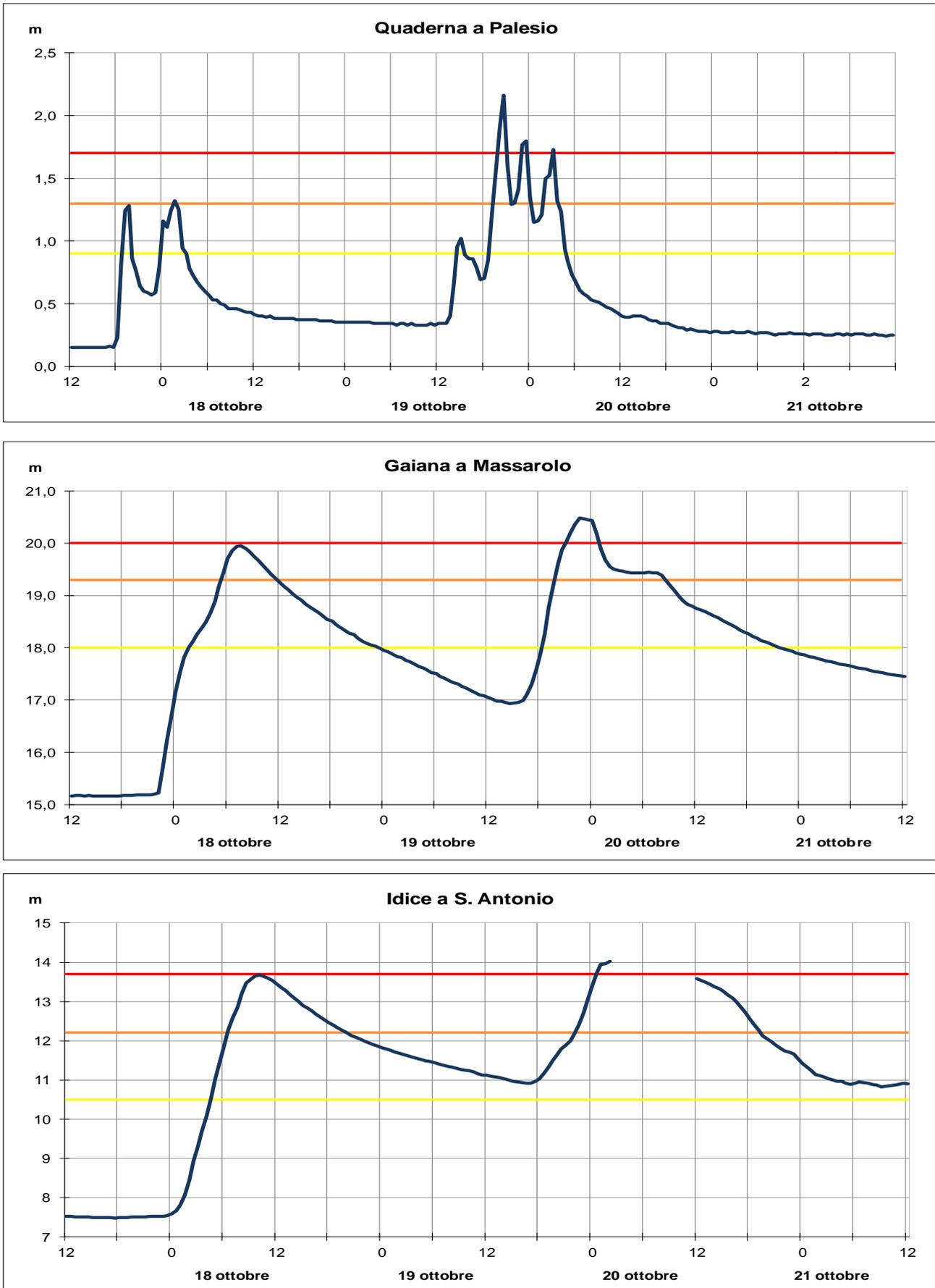


Figura 25: Andamento dei livelli idrometrici nelle sezioni più significative di Quaderna e Gaiana, e sull'Idice a S. Antonio, a valle della confluenza (ora solare - dati validati).

Nella Tabella 12 sono riportate, con riferimento all'ora solare, le massime altezze registrate nelle stazioni teleidrometriche dell'Idice e dei suoi affluenti Savena e Quaderna, durante la piena del 20-21 ottobre, con l'indicazione dei tempi di propagazione dei colmi, dei massimi storici registrati e delle perdite di volume dovute a rotte ed esondazioni.

Tabella 12: Punte massime registrate nella piena dell'Idice e dei suoi affluenti Savena e Quaderna il 19-20 ottobre 2024. In arancio i livelli superiori alle soglie 2, in rosso quelli superiori alle soglie 3 (dati validati - ora solare).

Torrente SAVENA vivo								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
LOIANO - Ponte Savena	15,0	15,0	1,00	1,50	2,00	1,65	20/10/2024 01:00	
PIANORO	15,0	30,0	0,80	1,00	1,40	1,74	19/10/2024 23:00	max dal 1986
S. RUFFILLO	9,9	39,9	0,80	1,20	1,50	2,82	19/10/2024 23:30	max dal 2000
sbocco in Idice	7,8	47,7						
Torrente QUADERNA								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
PALESIO	7,7	7,7	0,90	1,30	1,70	2,16	19/10/2024 20:30	
confluenza Fossatone	16,3	24,0						
confluenza Gaiana	3,2	27,2						
sbocco in Idice	8,2	35,4						
Torrente GAIANA								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
MASSAROLO	20,9	20,9	19,30	19,30	19,30	>20,44	20/10/2024 00:00	rotta a monte/ strumento in finestra di misura
sbocco in Quaderna	0,1	21,0						
Fiume IDICE								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
PIZZOCALVO	34,0	34,0	0,50	0,70	1,00	>1,45	20/10/2024 notte	max dal 1986/ strumento in finestra di misura
confluenza Savena	4,6	38,6						
CASTENASO	3,6	42,2	8,00	9,20	11,00	13,76	20/10/2024 02:30	max dal 1986
confluenza Quaderna	8,3	65,0						
S. ANTONIO	0,6	65,6	10,50	12,20	13,70	>14,09	20/10/2024 mattina	rotte a monte e a valle/ strumento in finestra di misura
Chiavica ACCURSI	0,5	66,1	12,40	13,20	15,70	16,66	20/10/2024 07:00	max dal 1986 / rotta a valle
Chiavica BROCCHETTI	5,5	71,6	10,80	11,70	14,35	15,75	20/10/2024 07:00	max dal 1986 / rotta a valle
Chiavica CARDINALA	1,7	73,3	9,10	10,00	12,65	13,49	20/10/2024 06:00	max dal 1986 / rotta a valle
CHIAVICONE monte	12,5	78,1	9,00	10,50	11,60	10,19	20/10/2024 09:00	rotta a monte
sbocco in Reno	0,8	78,9						

3.6. La piena del torrente Sillaro

Sul bacino del Sillaro il comportamento della piena si ripete. Tra il 17 ed il 18 ottobre si sono registrate precipitazioni con cumulate prossime ai 50 mm/12h, che in condizioni di suoli saturi hanno generato una piena superiore alla soglia 2 lungo tutte le sezioni del corso d'acqua. Le ulteriori precipitazioni del 19 ottobre, iniziate con intensità deboli ma persistenti, hanno raggiunto i valori massimi di 71 mm/12 ore a Piancaldoli e 96,8 mm/12 ore a S. Clemente nella sera (vedi Figura 26), generando ulteriori innalzamenti sulla coda di esaurimento della piena precedente. In tutte le sezioni di Sillaro a partire da quella di chiusura del tratto montano sono state superate le soglie 3 (vedi Figura 27).

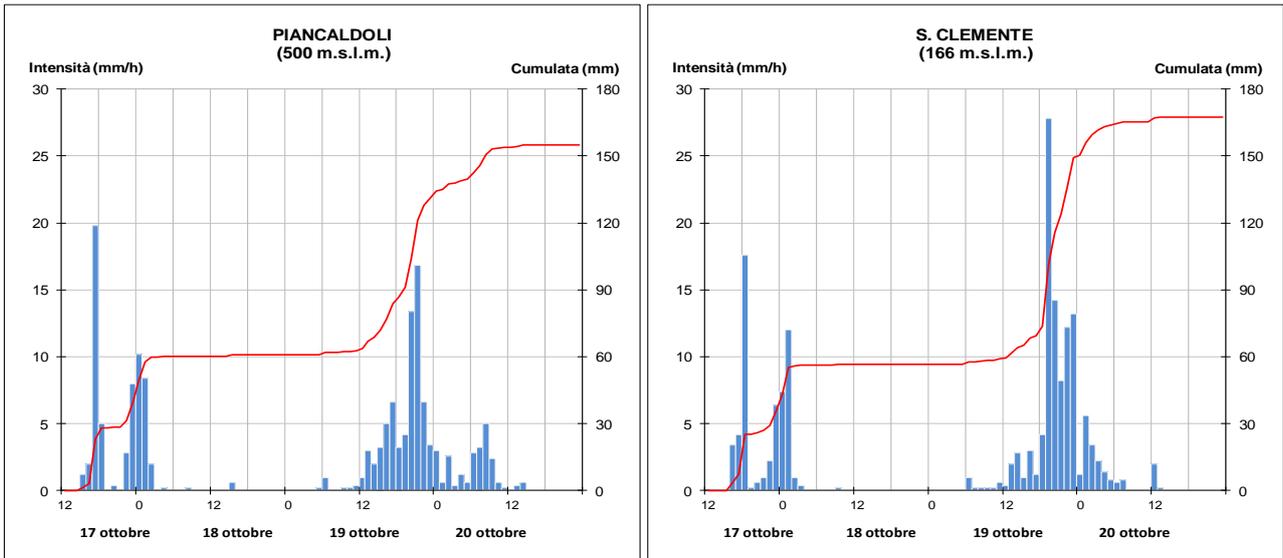


Figura 26: Andamento delle precipitazioni orarie e cumulate nella stazioni pluviometriche più significative del Sillaro (in basso) (ora solare - dati validati.)

A Castel San Pietro in particolare, il livello idrometrico al colmo ha raggiunto il valore di 1,84 m alle ore 00:00 del 20 ottobre con una stima di portata di circa 180 m³/s.

Tra le sezioni di Castel S. Pietro e Sesto Imolese si sono verificate alcune tracimazioni in destra e sinistra. Nella notte tra il 19 ed il 20 di ottobre, in prossimità della sezione di Portonovo si è verificata una tracimazione sull'argine sinistro, prontamente ripresa con un'operazione di telonatura esterna dell'argine, che ha evitato la rottura dello stesso. Nonostante le perdite di volume il colmo di piena nella sezione di Portonovo ha superato sicuramente il massimo storico registrato, ma anche quello massimo misurabile dallo strumento (vedi Figura 27).

Nella Tabella 13 sono riportate, con riferimento all'ora solare, le massime altezze registrate nelle stazioni teleidrometriche del torrente Sillaro durante la piena del 20-21 ottobre, con l'indicazione dei tempi di propagazione dei colmi e dei massimi storici registrati.

Tabella 13: Punte massime registrate nella piena del Sillaro il 19-20 ottobre 2024. In rosso i livelli superiori alle soglie 3 (dati validati - ora solare).

Torrente SILLARO								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
CASTEL S. PIETRO	31,7	31,7	1,00	1,30	1,70	1,84	20/10/2024 00:00	
CORRECCHIO	15,7	47,4	20,00	21,00	22,80	23,75	20/10/2024 03:30	
SESTO IMOLESE	1,1	48,5	11,50	12,80	14,50	15,31	20/10/2024 04:00	
PORTONOVO	9,2	57,7	10,30	11,80	13,00	>13,94	20/10/2024 mattina	max dal 1986/strumento in finestra di misura
sbocco in Reno	12,6	69,3						

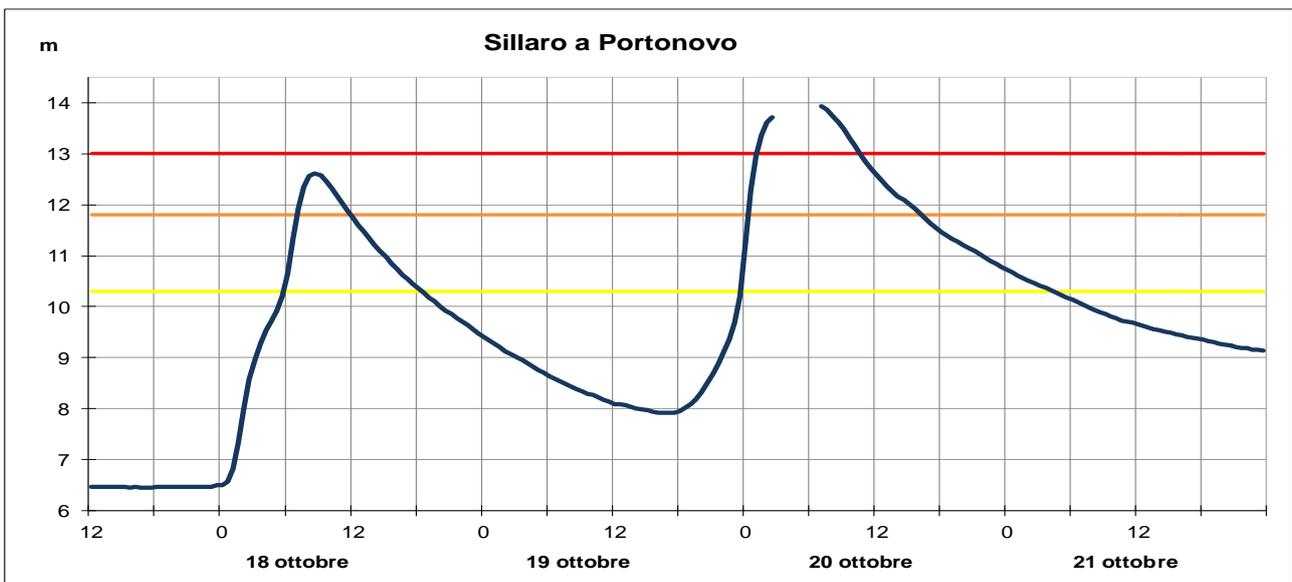
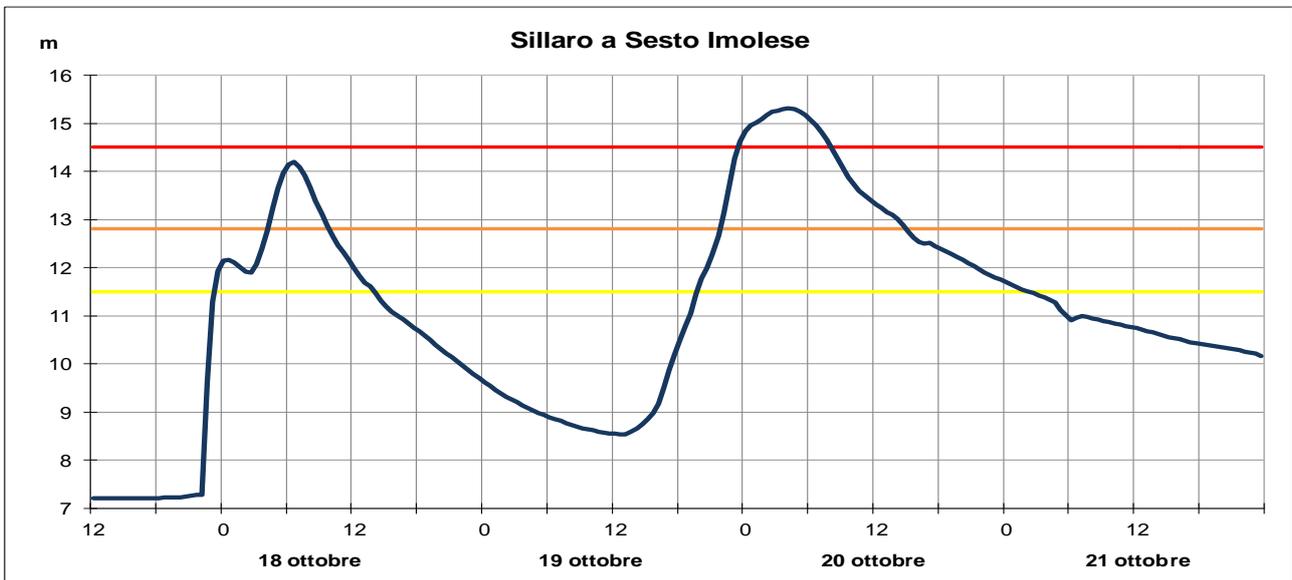
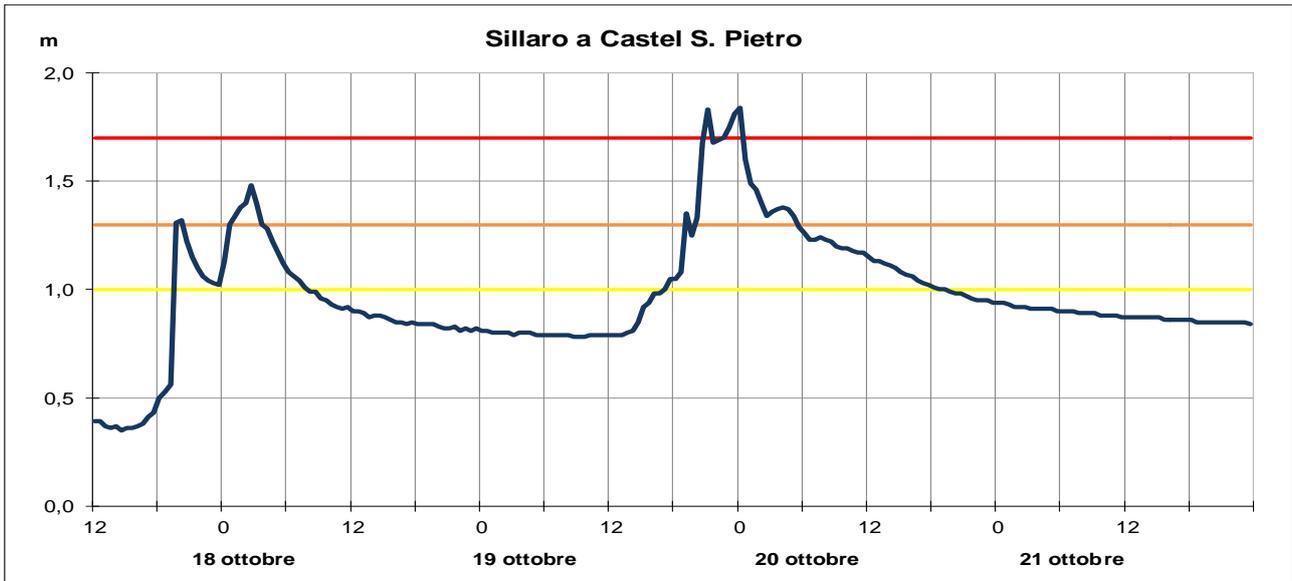


Figura 27: Andamento dei livelli idrometrici nelle sezioni più significative del torrente Sillaro (ora solare - dati validati).

3.7. La piena del fiume Reno

Anche il bacino del Reno è stato interessato tra il 17 ed il 18 ottobre da precipitazioni che nel tratto montano sulla zona di crinale hanno raggiunto cumulate di 150 mm in 24h ore e in zona collinare di 50 mm in 24h (vedi Figura 28). La piena conseguente ha superato decisamente le soglie 2 lungo tutto il tratto montano. Nella sezione di Casalecchio Chiusa in particolare è stato registrato un livello al colmo di 2,07 m alle ore 5:00 del 18 ottobre (vedi Figura 29), con una portata di 1030 m³/s.

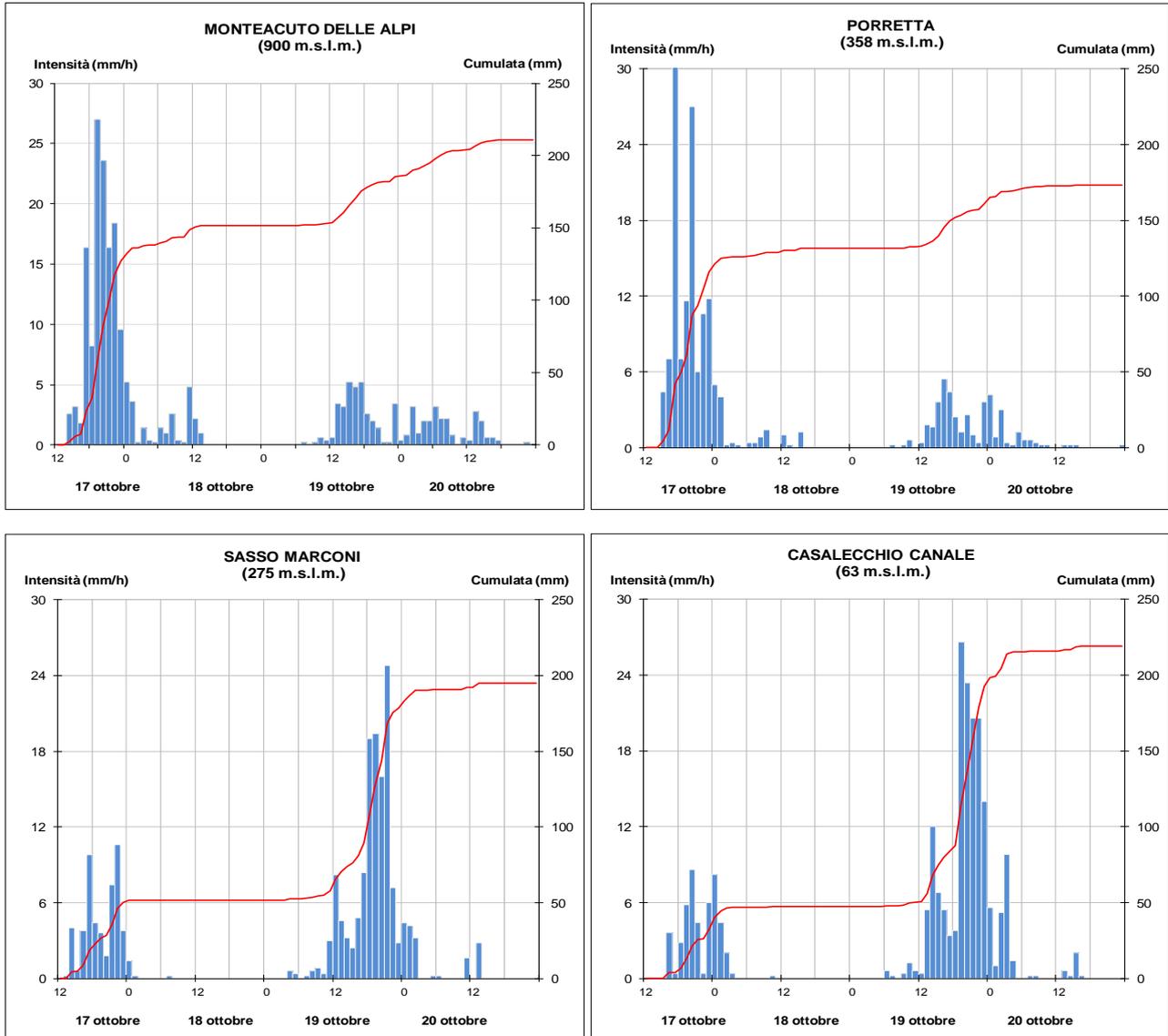


Figura 28: Andamento delle precipitazioni orarie e cumulate più significative registrate dal 17 al 20 ottobre, dai pluviometri del bacino montano e collinare del Reno (ora solare - dati validati.)

Tra il 19 ed il 20 ottobre le nuove precipitazioni hanno avuto un comportamento opposto sia per localizzazione che per quantità: sul crinale si sono registrati cumulate di 50 mm in 24h ore mentre sul tratto collinare cumulate superiori ai 150 mm in 24h ore, che hanno generato nuovi innalzamenti dei livelli idrometrici sull'esaurimento dell'onda di piena precedente. Nelle sezioni montane questa volta si sono raggiunti colmi inferiori, prossimi alle soglie 2 o di poco superiori (vedi Figura 29 e Tabella 14).

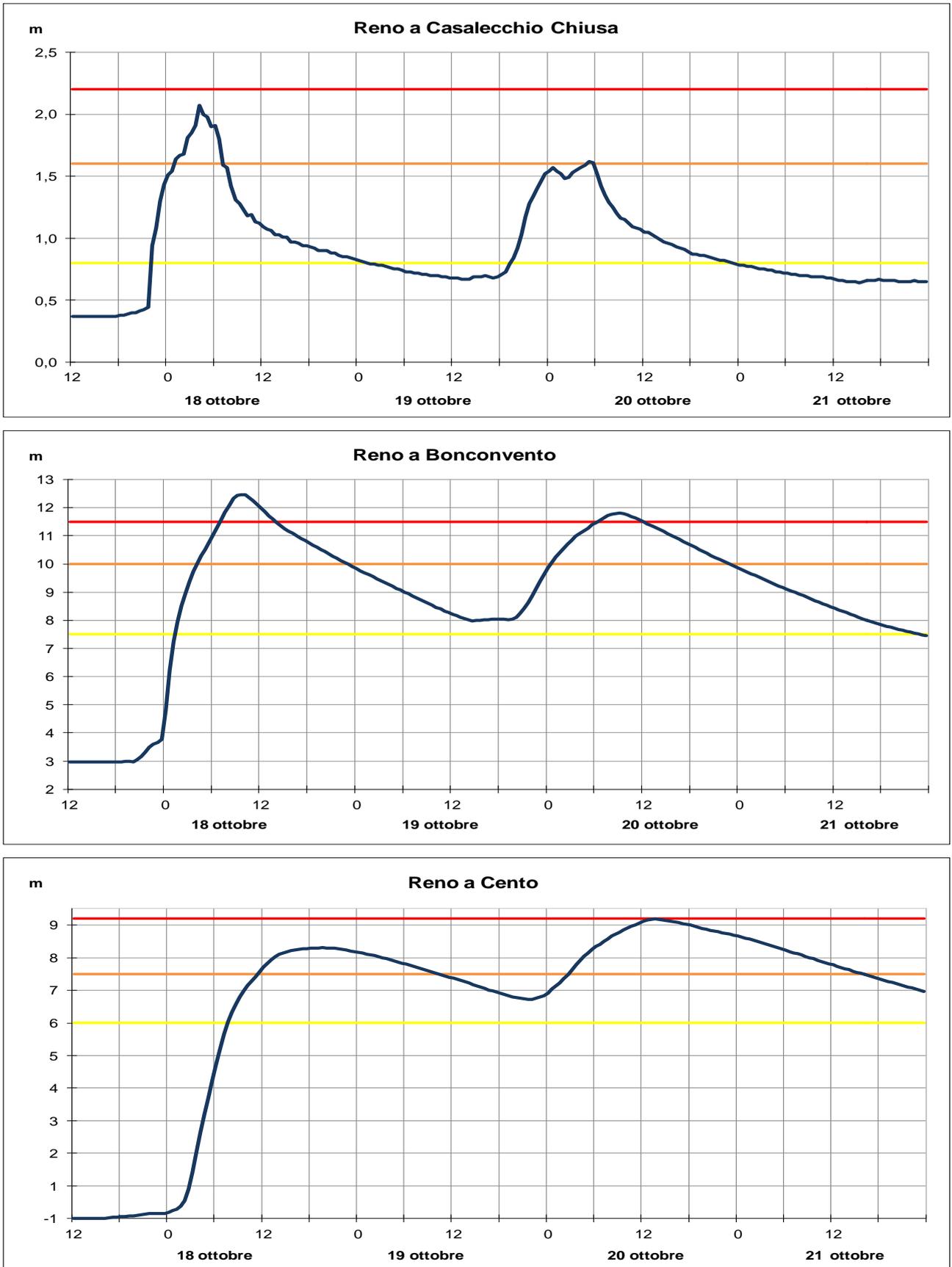


Figura 29: Andamento dei livelli idrometrici nelle sezioni più significative del tratto vallivo del fiume Reno (ora solare - dati validati).

A valle di Casalecchio i due colmi sono rimasti ben distinti, ma procedendo verso valle oltre ad avvicinarsi, il secondo colmo iniziava a prevalere sul primo. A Bonconvento al raggiungimento della soglia 3, la prima onda di piena è stata laminata dalla cassa di Boschetto e a Cento la stessa onda si è mantenuta poco sopra la soglia 2, nonostante il contributo di Samoggia. Il colmo del 20 ottobre ha superato per poche decine di centimetri e per poche ore la soglia 3 a Bonconvento, consentendo alla cassa una modesta attenuazione della piena di Reno, mentre il nuovo e importante colmo di Samoggia, in anticipo su quello di Reno, ha determinato un livello a Cento prossimo alla soglia 3 (vedi Figura 29).

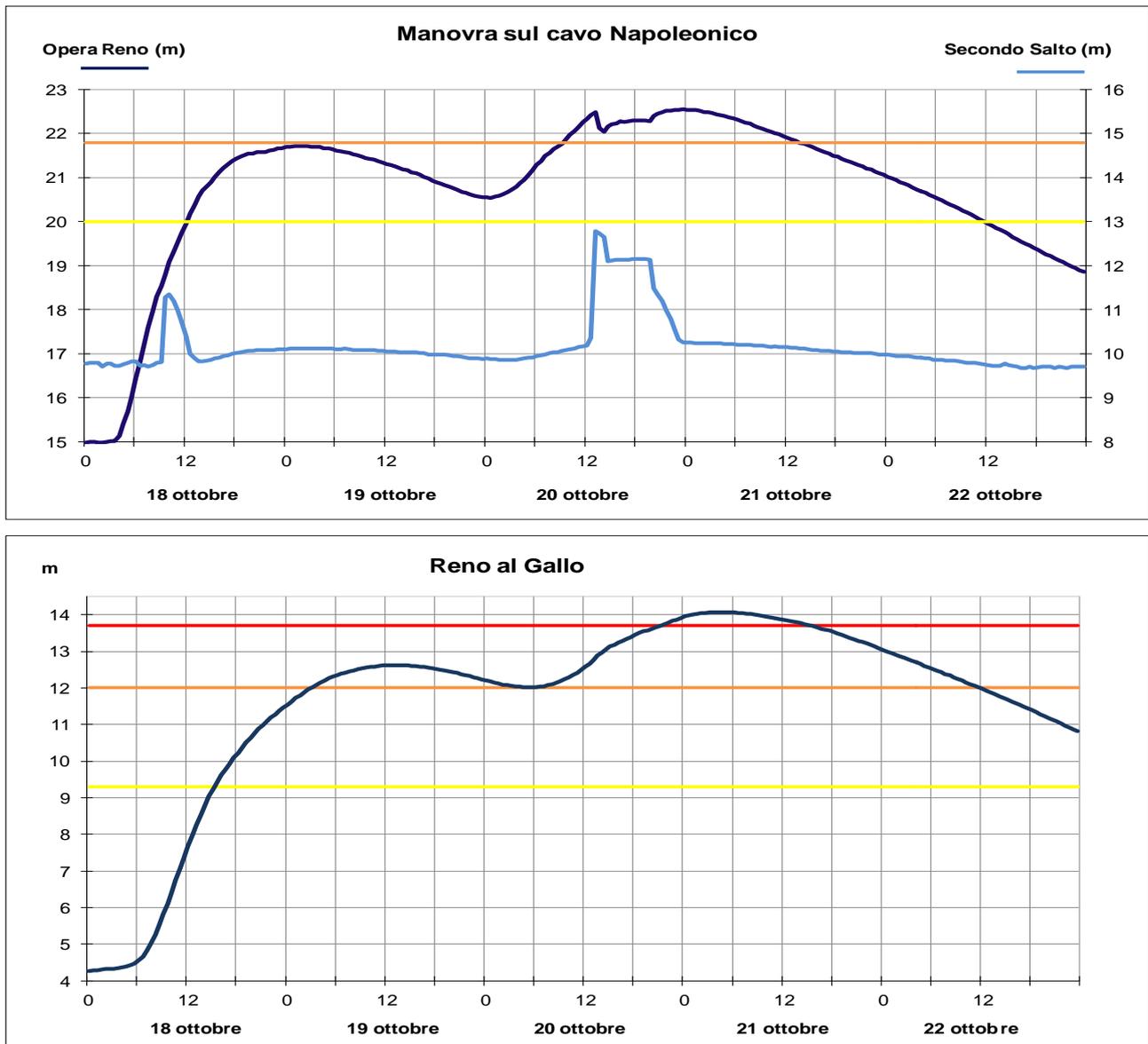


Figura 30: Andamento dei livelli idrometrici durante la manovra di scolmo nella sezione di Secondo Salto sul Cavo Napoleonico e di Opera Reno e dei nella sezione del Gallo sul Reno (ora solare - dati validati).

La previsione dei colmi di piena a Casalecchio e a Bonconvento, così come quelli di Samoggia a Calcara e Forcelli, davano a Cento per il 18 ottobre una piena con valori superiori alla soglia 2 come effettivamente si è verificato. In questi casi normalmente ci si prepara a effettuare una manovra di scolmo in Cavo Napoleonico per favorire il transito della piena a valle in tutta sicurezza.

Si è posta però subito una complicazione dovuta da una parte alla piena in transito sul Po che non avrebbe consentito il deflusso libero del Cavo Napoleonico e le previsioni meteorologiche avverse che davano un'intensificazione delle precipitazioni a partire da quelle deboli in atto sul bacino montano. Questa situazione avrebbe determinato una possibile piena a Cento per il giorno 21 di entità, se non superiore a quella in atto, al limite dello stesso livello di severità. Avendo a disposizione un volume in Cavo limitato e non superabile, occorreva decidere se laminare una piena in corso o una piena prevista in un tempo sicuramente ravvicinato. Del resto le condizioni del Cavo e del Po consentivano un'unica scelta.

Dopo valutazioni per nulla scontate, il Servizio Area Reno e Po di Volano dell'Agenzia per la sicurezza territoriale e protezione civile ha deciso di far passare la prima onda di piena e riservare quindi la capacità di invaso alla seconda onda attesa. Le previsioni si sono rilevate esatte sia dal punto di vista meteorologico che idrologico-idraulico, e la piena si è presentata a Cento con livello al colmo superiore alla soglia 3. La previsione idraulica sia dei tempi che dell'altezza del colmo a Cento ha consentito di effettuare una manovra di scolmo efficace, eseguita per circa 12 ore dalle 12:00 alle ore 24:00 del 20 ottobre (vedi Figura 30). Solo quando il 25 ottobre, i livelli della piena di Po lo hanno consentito, è iniziato il progressivo svuotamento del Cavo.

La manovra di scolmo della piena ha permesso di limitare i livelli idrometrici previsti alla sezione del Gallo dove è presente in sinistra un'altra opera di difesa idraulica: lo sfioratore del Gallo. Quest'opera realizzata nel lontano 1969, dopo le disastrose e ripetute piene del Reno negli anni dal 1949 al 1951, ha dimostrato ancora una volta la sua piena efficienza ed importanza per un alleggerimento di sicurezza delle piene di Reno. La piena del 21 ottobre, che si è presentata al Gallo con livello idrometrico di 14,07 m alle ore 5:00 ha superato di poche decine di centimetri la soglia 3 (13,70 m) che corrisponde al livello idrometrico di entrata in funzione dello sfioratore (vedi Figura 30). La piena ha quindi proseguito la sua corsa a valle nelle migliori possibili condizioni di sicurezza

Il volume di acqua sfiorato come previsto nella progettazione dell'opera è stato smaltito, senza determinare criticità, dal canale di bonifica della Cembalina, che si trovava in condizioni di ricezione favorevoli.

Anche nella sezione di Gandazzolo la piena ha superato la soglia 3 con livello idrometrico di 17,76 m alle ore 7:30 del 21 ottobre (Figura 31), massimo della serie storica, che senza le operazioni di controllo a monte, avrebbe determinato una situazione più che preoccupante.

La situazione a Gandazzolo lato Savena abbandonato, che già con il passaggio della prima onda di piena non era più in condizioni di scaricare in Reno per la prevalenza di quest'ultimo, ha determinato la chiusura dei portoni vinciani dalle ore 15:00 del 18 ottobre, con conseguente aumento dei livelli del Savena abbandonato per l'alimentazione continua da monte, dovuta alle persistenti precipitazioni nella zona urbana di Bologna. Lo scarico nelle adiacenti casse di Gandazzolo, non ha potuto evitare la mattina del 20 ottobre un'ampia rotta che si è aperta in destra Savena abbandonato, con la conseguente perdita di volume e il repentino abbassamento del livello idrometrico ben visibile nel grafico di Figura 31.

Nella sezione di Bastia la piena ha poi raggiunto un livello 10,92 m alle ore 9:00 del 20 ottobre, poco superiore alla soglia 2 quindi in sicurezza, nonostante le piene di Sillaro e di Idice si siano presentate alla confluenza del nodo idraulico con la piena di Reno in fase. Poiché l'Idice in questo caso aveva già perso parecchio volume a causa delle rotte a monte, il suo colmo si è presentato alla confluenza già laminato, mantenendosi decisamente al disotto della soglia 2.

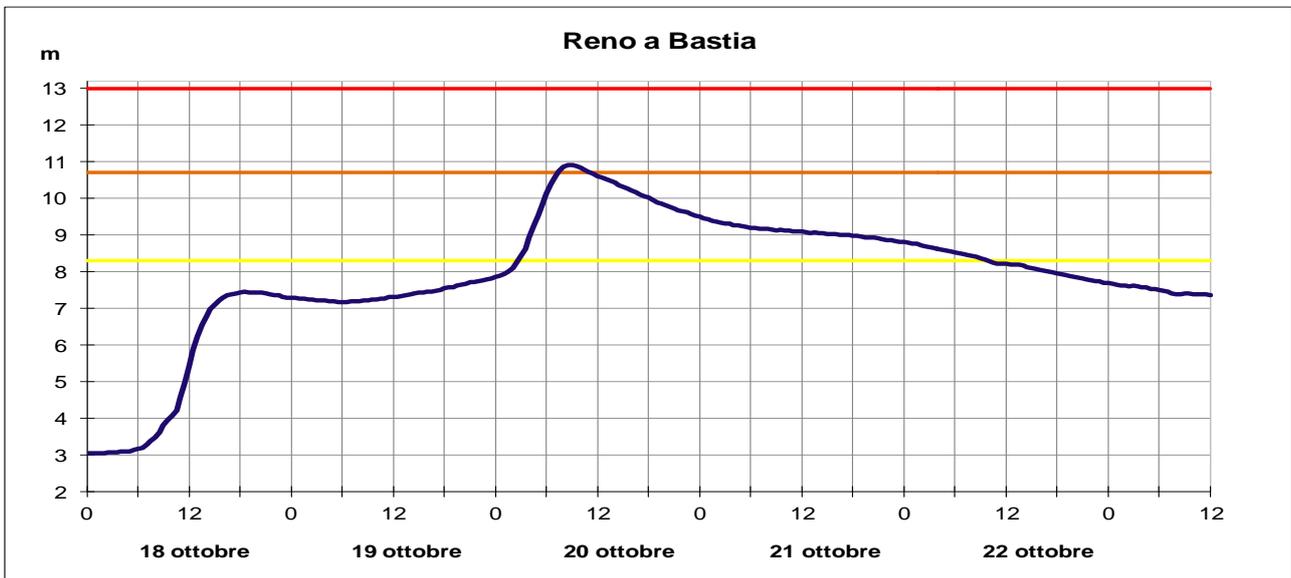
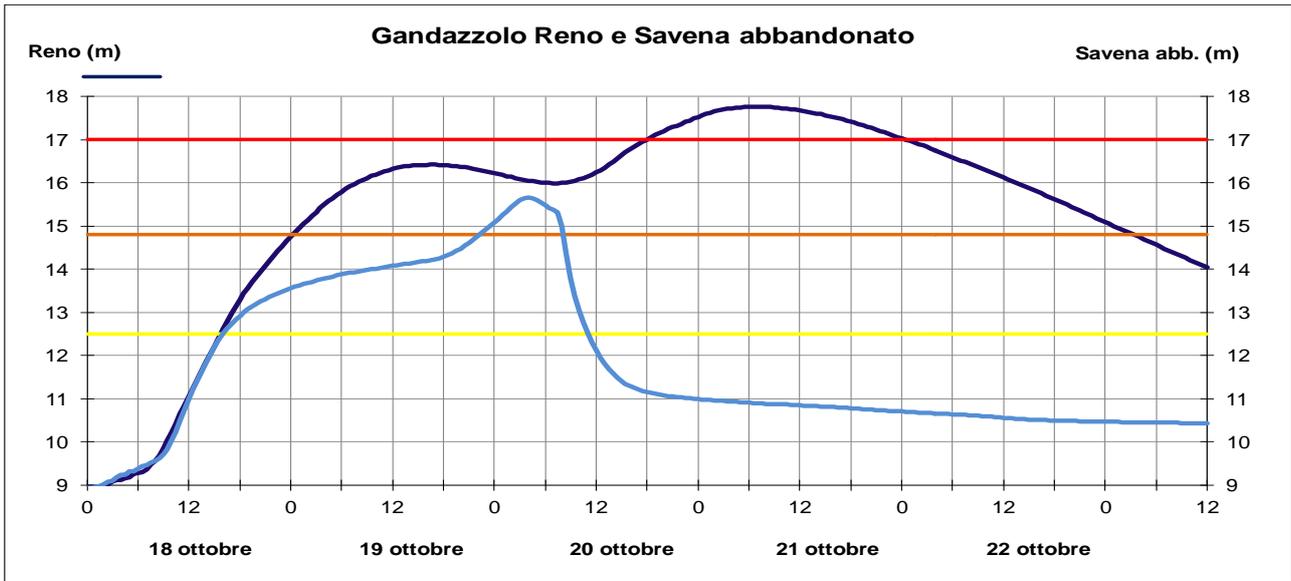


Figura 31: Andamento dei livelli idrometrici a Gandazzolo sul Reno e sul Savena abbandonato e nella sezione di Ponte Bastia sul Reno (ora solare - dati validati).

Nella Tabella 14 sono riportate le massime altezze registrate nelle stazioni teleidrometriche del fiume del Reno e dei suoi affluenti montani Silla e Setta durante la piena del 20-21 ottobre, con l'indicazione dei tempi di propagazione dei colmi, dei massimi storici registrati e della manovra al Cavo Napoleonico.

Tabella 14: Punta massime registrate nella piena del Reno e dei suoi affluenti Silla e Setta, il 20-21 ottobre 2024. In arancio i livelli superiori alle soglie 2, in rosso quelli superiori alle soglie 3 (dati validati - ora solare).

Fiume RENO								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
PRACCHIA	12,4	12,4	1,00	1,30	2,30	0,28	livello medio	
PORRETTA	13,5	25,9	9,70	11,00	13,00	9,60	20/10/2024 03:00	
confluenza Silla	3,0	28,9						
VERGATO	17,1	46,0	1,50	3,00	5,00	2,41	20/10/2024 02:00	
confluenza Setta	19,6	65,6						
CASALECCHIO CHIUSA	11,8	77,4	0,80	1,60	2,20	1,62	20/10/2024 05:00	
CASALECCHIO Tiro a Volo	1,2	78,6	0,70	2,30	3,40	2,06	20/10/2024 05:00	
BONCONVENTO	16,8	95,4	7,50	10,00	11,50	11,81	20/10/2024 09:00	
SOSTEGNO	8,1	103,5	23,90	26,50	28,20	28,78	20/10/2024 12:30	
confluenza Samoggia	2,5	106,0						
CENTO	5,1	111,1	5,50	7,00	8,70	8,69	20/10/2024 13:30	
DOSSO	6,5	117,6	8,30	10,80	12,30	11,22	20/10/2024 13:00	
OPERA RENO	2,3	119,9	20,00	21,80	23,40	22,55	20/10/2024 23:30	manovrato
GALLO	15,9	135,8	9,30	12,00	13,70	14,07	21/10/2024 05:00	max dal 1986
confluenza Navile	4,0	139,8						
GANDAZZOLO	4,6	144,4	12,50	14,80	17,00	17,76	21/10/2024 07:30	max dal 1986
BECCARA N.	21,3	165,7	8,50	11,00	14,00	11,10	20/10/2024 08:30	
confluenza Idice-Sillaro	2,8	168,5						
BASTIA	0,3	168,8	8,3	10,7	13,0	10,92	20/10/2024 09:00	
confluenza Santerno	6,9	175,7						
confluenza Senio	11,4	187,1						
sbocco in mare	17,9	205,0						

Note: Manovra Cavo Napoleonico eseguita tra le ore 11 e le ore 23 del 20 ottobre.

Torrente SILLA								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
SILLA	17,0	17,0	0,90	1,40	2,00	0,86	20/10/2024 01:30	
sbocco in Reno	0,9	17,9						

Torrente SETTA								
Denominazione del SENSORE	Distanze		SOGLIE DI RIFERIMENTO			Punta max registrata		Note
	parziali	progres.	soglia 1	soglia 2	soglia 3	H idrom.	giorno e ora	
origine	0,0	0,0						
confluenza Sambro	26,5	26,5						
SASSO MARCONI	15,0	41,5	1,30	2,00	2,50	1,66	20/10/2024 03:00	
sbocco in Reno	0,5	42,0						

3.8. Gli effetti sul territorio regionale generati dalle piene

Gli eventi di precipitazione e di piena in esame hanno generato effetti idraulici ingenti su un'estesa porzione del territorio regionale, che tra il 19 ed il 20 ottobre hanno visto l'esondazione di moltissimi rii e torrenti nella zona collinare e circa 30 rotte e sormonti arginali nei tratti vallivi dei corsi d'acqua dal bolognese al parmense, che hanno scaricato nel reticolo di bonifica e nelle campagne circostanti notevoli volumi di acqua.

La prima perturbazione verificatasi tra il 17 e il 18 ottobre ha interessato soprattutto il crinale appenninico, generando piene su tutti corsi d'acqua maggiori del settore centrale della regione dal Secchia al Santerno, accompagnate da varie criticità sui territori attraversati. Nel Modenese si sono verificati blackout elettrici a Maranello e Sassuolo, allagamenti a Serramazzoni e a Modena, che hanno interessato la viabilità secondaria. A Castelfranco Emilia si è verificato il cedimento di una banchina stradale e a Campogalliano sono stati evacuati due nuclei familiari in corrispondenza del passaggio della piena del Secchia. Nel Bolognese a Vergato e Porretta Terme gli allagamenti hanno reso inagibili vari tratti di strada.

Le precipitazioni più intense ed elevate si sono registrate sabato 19 ottobre: al mattino di sul Ferrarese e sulla costa cesenate, nel pomeriggio-sera sulla collina bolognese e nella sera-notte sulle colline del reggiano-parmense. Questo nuovo impulso ha generato ingenti allagamenti in varie zone urbane e nuovi incrementi dei livelli idrometrici sui corsi d'acqua maggiori e minori, con numerose esondazioni nelle zone pedecollinari, nonché tracimazioni, rotture arginali e conseguenti ed estesi allagamenti nei territori di pianura.

Le piogge intense hanno causato a Cesenatico diffusi allagamenti di scantinati, abitazioni e attività al piano terra, con gravi disagi alla viabilità per l'allagamento e conseguente chiusura di strade e sottopassi (Figura 32). Numerosi gli interventi dei Vigili del Fuoco anche per gli alberi caduti sulle strade; circa venti le persone evacuate in emergenza. Anche nei comuni di Gatteo a Mare, Bellaria Igea Marina e Savignano sul Rubicone sono stati segnalati disagi alla viabilità per allagamenti.



Figura 32: Sottopasso allagato a Cesenatico (foto Cesena Today) e allagamenti ad Anzola Emilia (a destra, foto Roberto Tomesani)

Sui rii e torrenti minori della prima collina bolognese si sono registrati rapidissimi innalzamenti dei livelli idrometrici, accompagnati da diffuse esondazioni, erosioni, trasporto solido, a carico dei centri abitati e della viabilità principale e secondaria, nonché numerosi blackout elettrici.

Nel comune di Valsamoggia è esondato il rio Crespellano, allagando strade ed edifici nell'omonima località ed il rio Fossetta, le cui acque hanno raggiunto il centro di Bazzano; interrotta la linea ferroviaria Bologna-Vignola e chiusi numerose strade e sottopassi, interessate anche da erosioni e smottamenti. Il torrente Lavino è esondato a monte a Lavino di Mezzo e a Zola Predosa, mentre nel tratto vallivo un'ulteriore rotta sull'argine sinistro, tra la ferrovia e la Strada Provinciale 568 Persicetana, ha allagato i territori circostanti. Nel comune di Anzola dell'Emilia il torrente Ghironda è tracimato in sinistra idraulica rompendo l'argine nei pressi di S. Giacomo in Martignone.

Il comune di Pianoro è stato fortemente colpito, in particolare il centro abitato di Botteghino di Zocca, dove il torrente Zena è esondato in più punti allagando strade e abitazioni ed un suo affluente, il rio Laurenzano, ha travolto un'automobile sulla quale un ragazzo ha perso la vita. Il torrente Zena è esondato anche più a valle, riempiendo di acqua e fango strade e abitazioni in località Farneto nel comune di S. Lazzaro. Sempre a S. Lazzaro l'esondazione del rio Brolo ha allagato il quartiere della Ponticella. Nel comune di Ozzano è esondato il rio Marzano, allagando le strade circostanti.



Figura 33: Allagamenti causati dall'esondazione del torrente Zena a S. Lazzaro: al Farneto (a sinistra, foto Schicchi) e alla Ponticella (a destra, foto Bologna Today)

Nella città di Bologna il torrente Ravone che scorre tombato nel tratto urbano del quartiere Porto-Saragozza ha generato numerosi allagamenti, come già descritto nel § 3.3. All'imbocco della tombatura subito a monte il forte rigurgito ha provocato l'allagamento delle abitazioni adiacenti fino al primo piano (vedi Figura 20) e della stessa Via di Ravone, dove si sono registrati erosioni e smottamenti lungo le scarpate stradali.

In città nei punti più deboli del tratto coperto, si sono verificate vere e proprie esplosioni con fuoriuscita di acqua e detriti che hanno allagato in più punti strade, locali interrati ed edifici al piano terra tra via Saragozza e via Sabotino. Nonostante le copiose fuoriuscite di acqua anche in di via del Chiù, dove il Ravone procede scoperto fino alla confluenza in Reno, si sono avute esondazioni in tutte le strade adiacenti. A valle di Via del Chiù la piena è fuoriuscita dall'alveo in vari punti ed ha rotto il muro di contenimento che lo separa dall'area verde dei Prati di Caprara, allagando la porzione occidentale del bosco per poi entrare in Viale Sabena, dove ha completamente riempito il tunnel stradale a doppia canna con 110.000 metri cubi d'acqua (vedi Figura 34). Lo sfioro di emergenza sotterraneo del torrente Ravone sul Canale di Reno, in corrispondenza dell'antico "ponte degli stecchi" sotto via Sabotino, ha contribuito a determinare, insieme a tutti gli apporti dei rii

collinari direttamente collettati, una vera e propria piena sul Canale di Reno. In via Riva di Reno, nel tratto attualmente scoperto del canale di Reno si sono verificate ancora esondazioni ed allagamenti nelle strade circostanti. La quantità di detriti accumulatisi sul Canale di Reno è stata, da informazioni raccolte direttamente dal Consorzio dei Canali di Reno e Savena, pari a circa 3.000 tonnellate.



Figura 34: Allagamenti causati dall'esondazione del torrente Ravone a Bologna: rottura della tombatura in Via Brizio (a sinistra, foto QN) e riempimento del sottopasso di Via Sabena (a destra, foto Il Resto del Carlino)

Allagamenti di strade e abitazioni si sono verificati anche nel quartiere S. Mamolo, per le piene improvvise dei rii collinari della parte est della città e gli intensi ruscellamenti causati dalle forti piogge. Nel quartiere Corticella si sono verificate localizzate esondazioni del canale Navile, che raccoglie le acque della zona urbana nord di Bologna. Lo stesso canale è uscito più a valle anche a Castel Maggiore, allagando la località Castello, e a Bentivoglio. L'esondazione del Savena abbandonato ha allagato l'area vicino al ponte di accesso alla SS64 Porrettana, e la zona di Casette di Cadriano. L'ampia rotta dell'argine destro del Savena abbandonato, apertasi nel suo tratto terminale la mattina del 20 ottobre, ha allagato una vasta zona agricola nel comune di Baricella (Figura 35).



Figura 35: Allagamenti causati dalla rotta arginale del canale Savena abbandonato a Baricella (a sinistra, foto Il Resto del Carlino), e dalla dalla rotta arginale del fiume Idice ad Argenta (a destra, foto Gazzetta di Reggio)

Nelle zone di pianura le numerose tracimazioni e conseguenti rotte arginali descritte nei precedenti paragrafi hanno generato allagamenti diffusi: il Lavino è esondato a Zola Predosa ed ha rotto l'argine allagando in sinistra un'ampia zona agricola tra Calderino e Anzola dell'Emilia.

La piena del fiume Idice ha sormontato l'argine in più punti, con diffusi allagamenti nel comune di Budrio, in prossimità del ponte di Vigorso, in prossimità del vecchio ponte della Motta, dove si era verificata l'importante rotta del maggio 2023, e più a valle ad Argenta, con allagamento di un'ampia porzione di territorio tra destra Reno e sinistra Idice, nel comprensorio della Bonifica Renana (vedi Figura 36).

Il torrente Quaderna ha sormontato l'argine destro aprendo due brecce a Medicina, in località Fiorentina, con allagamento delle campagne circostanti, ed un'ulteriore breccia in sinistra in località S. Salvatore, che ha allagato le campagne fino a Budrio. Nell'imolese le tracimazioni del torrente Sillaro hanno causato allagamenti a Castel Guelfo.

Nella mappa in Figura 36 sono illustrate le principali criticità idrauliche, censite dall'Agenzia regionale per la sicurezza territoriale e la protezione civile nei giorni successivi all'evento ed i territori allagati a seguito delle esondazioni, tracimazioni e rotte arginali occorse sui corsi d'acqua del settore centro-orientale della regione.

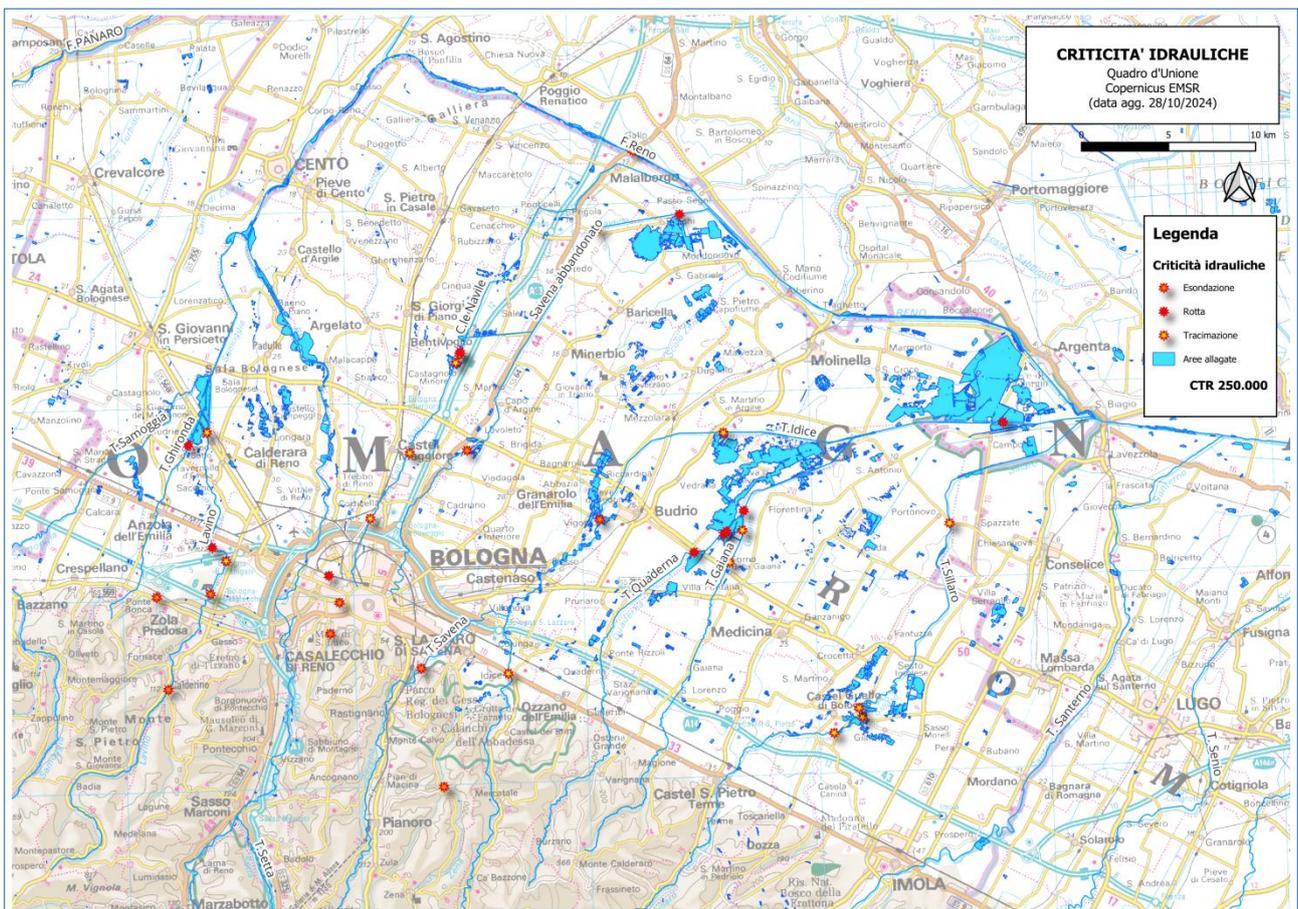


Figura 36: Mappa delle criticità idrauliche sui corsi d'acqua del settore centro-orientale della regione, sovrapposte all'immagine satellitare dei territori allagati a seguito delle piene del 19-21 ottobre 2024 (fonte Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile su dati Programma UE Copernicus Emergency Management Service).

Anche nel Modenese le piene dei torrenti pedecollinari hanno generato localizzate esondazioni, accompagnate da diffusi ruscellamenti ed erosioni spondali, come il torrente Ghiaietta a Zocca ed il torrente Rossenna a Prignano sulla Secchia. In pianura sono stati in via preventiva chiusi alcuni ponti su su Secchia, Tiepido e Panaro, in corrispondenza del passaggio dei colmi di piena. Allagamenti localizzati hanno creato disagi alla viabilità a Spilamberto, Vignola, Castelvetro, Pavullo, Prignano sulla Secchia, Savignano sul Panaro, Castelnovo Rangone e Marano sul Panaro.

Nel Reggiano le piene elevate hanno causato rotte arginali sul torrente Crostolo, sul Canalazzo Tassone e sul Cavo Cava, determinato allagamenti nelle campagne tra Cadelbosco, Castelnovo di Sotto, Villa Seta, Bagnolo e Santa Vittoria di Gualtieri, in comune di Reggio-Emilia, dove un migliaio di persone sono state evacuate ed è stata interrotta la circolazione sulla SP63 tra Cadelbosco di Sotto e S.Vittoria. I fenomeni di tracimazione sono avvenuti in un contesto aggravato dalla concomitanza delle piene del reticolo di bonifica interno al Comprensorio dell'Emilia Centrale, in cui si sono verificate ulteriori rotture arginali. La rete di bonifica è stata messa ulteriormente alla prova in corrispondenza dello scarico delle sue acque nel tratto terminale del Secchia in territorio mantovano, anch'esso interessato dal transito di un'onda di piena. Questo scenario ha comportato per diversi giorni grande difficoltà nel sistema di drenaggio delle acque basse, in particolare dei collettori principali Alfieri e Acque Basse Reggiane, per lo smaltimento delle acque che continuavano a fuoriuscire dalle rotte arginali di Crostolo, Canalazzo Tassone e Cavo Cava.

Anche nel Parmense, nel comprensorio idraulico di pianura gestito da AIPo, nel comune di Sorbolo Mezzani, si sono verificati sormonti sul colatore Fumolenta e sul Canalazzo Terrieri, erosioni e cedimenti lungo il colatore Naviglia e il Canalazzo Terrieri. In alcune aree del comprensorio del Consorzio della Bonifica Parmense, identificabili per lo più in zone della Bassa, le precipitazioni abbondanti hanno provocato sormonti arginali e alcune rotture in prossimità di aree rurali. I comuni interessati dagli allagamenti sono stati: Fontanellato, Torrile, Colorno, Sorbolo Mezzani, Busseto, Soragna, San Secondo Parmense, in questa ultima località è stata necessaria l'evacuazione di oltre 100 famiglie. Nel comune di Soragna, oltre all'esondazione di canali afferenti allo Stirone, si è verificata la rottura di un argine del torrente Rovacchia, fuoriuscito questo anche a Fidenza. A Sala Baganza una famiglia è rimasta isolata per la tracimazione del Rio Burraia.



Figura 37: Rotta arginale sul torrente Crostolo a Cadelbosco (a sinistra, foto la Repubblica) e allagamenti a Fontanellato (a destra, foto la Repubblica)

Nella mappa in Figura 38 sono illustrate le principali criticità idrauliche, censite dall'Agenzia regionale per la sicurezza territoriale e la protezione civile nei giorni successivi all'evento, ed i territori allagati a seguito delle esondazioni, tracimazioni e rotte arginali occorse sui corsi d'acqua del settore occidentale della regione.

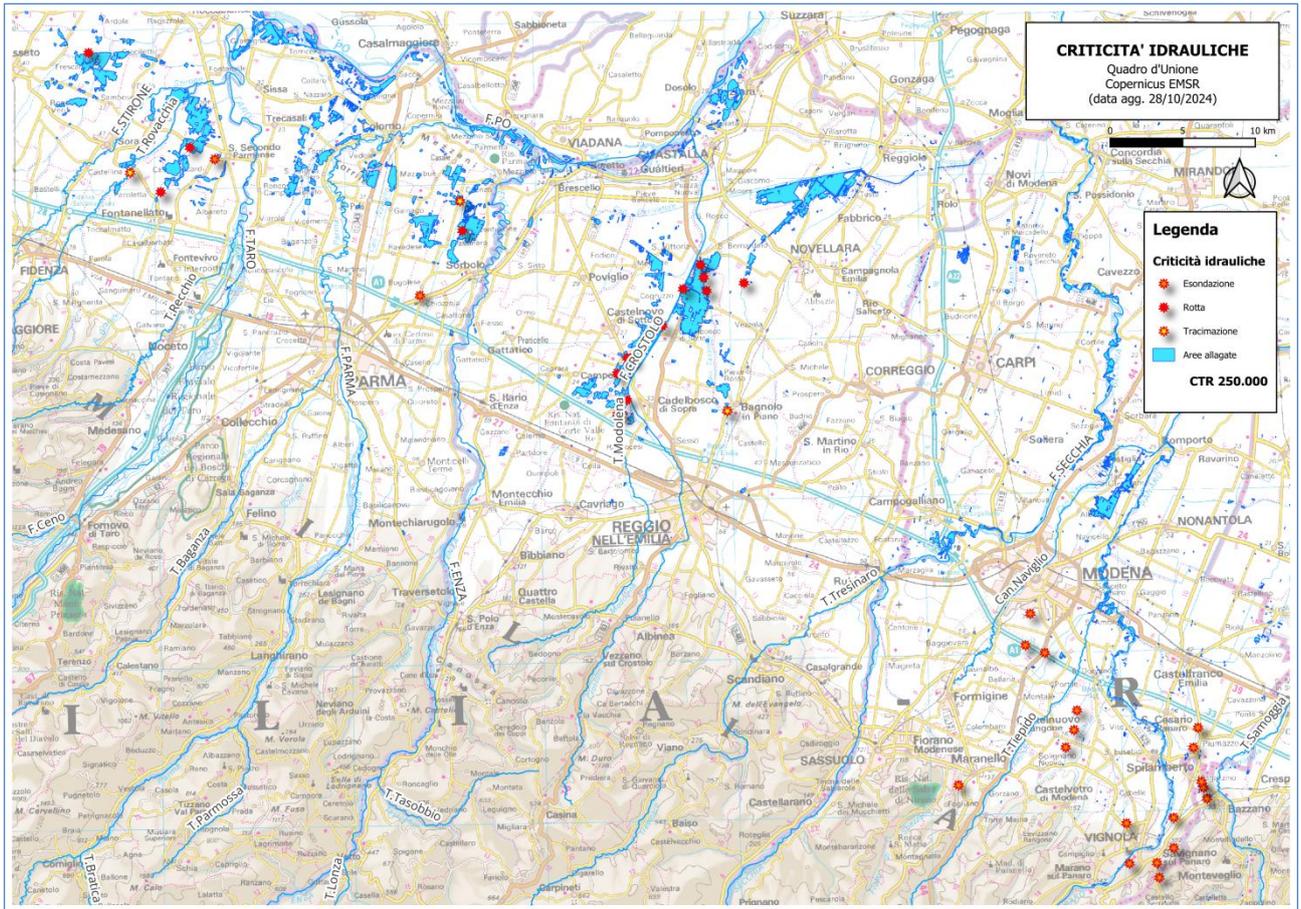


Figura 38: *Mapa delle criticità idrauliche sui corsi d'acqua del settore occidentale della regione, sovrapposte all'immagine satellitare dei territori allagati a seguito delle piene del 19-21 ottobre 2024 (fonte Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile su dati Programma UE Copernicus Emergency Management Service).*

4. Gli effetti idrogeologici sul territorio regionale

L'evento meteorologico di ottobre 2024 ha avuto inizio il giorno 17, raggiungendo il picco di intensità, in particolare nel bolognese, tra le 19:00 e le 23:30 di sabato 19, provocando criticità idrogeologiche diffuse sui versanti collinari e sui relativi corsi d'acqua interessati dalle piene descritte nei precedenti paragrafi, dai più piccoli come il torrente Ravone (bacino di 7 km²), fino ai più rilevanti, come il torrente Savena (145 km² a Rastignano) e il torrente Idice (129 km² alla confluenza con il torrente Zena).

Le intense precipitazioni cadute tra settembre e i giorni precedenti l'evento hanno determinato una condizione di elevata saturazione dei suoli ben documentata dagli indici di umidità derivati da immagini satellitari (vedi Figura 39). Piogge significative si sono verificate il 3 ottobre, con oltre 70 mm nel settore collinare centro-orientale, e tra il 17 e la mattina del 18 ottobre, con accumuli superiori a 100 mm nelle aree montane centrali e oltre 60 mm nelle zone medio-collinari.

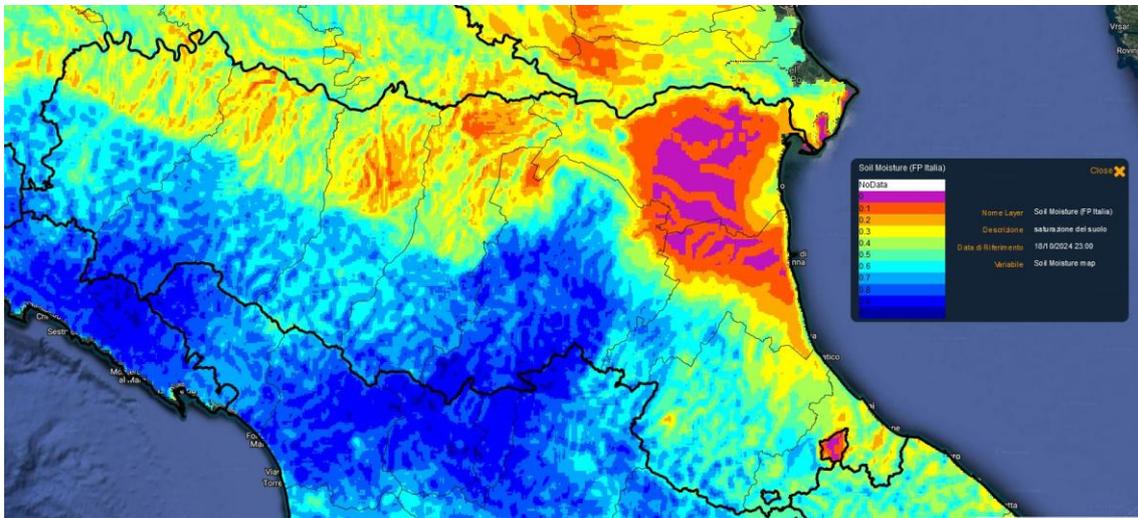


Figura 39: Indice di Umidità del suolo (Soil Moisture FP Italia, sviluppato da fondazione CIMA) del giorno 15 ottobre 2024. Piattaforma Dewetra del Centro Funzionale Centrale del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale - Presidenza del Consiglio dei ministri.

Si sono verificate tutte le tipologie principali di effetti idrogeologici: a partire dai fenomeni di ruscellamento e deflusso disordinato delle acque di pioggia lungo i versanti, con creazione di vie d'acqua effimere lungo campi e strade e conseguenti ingenti erosioni e sedimentazioni, fino a vere proprie frane. Inoltre, si sono verificate diffuse erosioni spondali, sedimentazione di importanti quantità di sabbie al di fuori degli alvei di piena ordinaria e la fluitazione di importanti quantità di legnami e detriti vari, raccolti dalle acque non solo negli alvei demaniali ma anche nei terreni privati circostanti, che hanno contribuito ad amplificare gli effetti alluvionali.

Una delle aree più colpite da effetti di questo tipo è stata la valle del torrente Zena, dove sono stati registrati danni in prossimità del corso d'acqua lungo tutta la vallata, anche in corrispondenza di località abitate come Zena, Botteghino di Zocca e Farneto (vedi Figura 40 e Figura 41).



Figura 40: Fenomeni di ruscellamento lungo i versanti, erosione spondale ed esondazione del torrente Zena in località Lago dei castori, a sud dell'abitato di Botteghino di Zocca



Figura 41: Esondazione e sedimentazione al di fuori dell'alveo di piena ordinaria del torrente Zena in località C. Bottega a nord dell'abitato di Botteghino di Zocca.

I fenomeni di versante comprendono, oltre alle frane superficiali causate da scivolamenti rapidi della coltre e ai cedimenti lungo scarpate stradali o terreni coltivati (che generalmente hanno estensioni limitate), anche il riattivarsi di frane di notevoli dimensioni. Queste ultime si verificano dopo lunghi periodi di piogge intense che saturano grandi volumi di terreno. Tra i casi più significativi si segnalano la frana di Cà della Torre, nel comune di Loiano (località Quinzano), e quella di Cà di Sotto nel comune di San Benedetto Val di Sambro. Entrambe, già oggetto di precedenti attivazioni note, sono presenti nelle cartografie tematiche regionali.



Figura 42: Abitazione colpita da una frana per scivolamento rapido di terra e detrito, lungo la strada di fondovalle Idice in località Monterenzio (BO).



Figura 43: Frana di Cà della Torre – Loc. Quinzano (BO). Parte alta interessata dagli scivolamenti rototraslativi.



Figura 44: Vista panoramica sulla frana di Cà di Sotto (San Benedetto val di Sambro). Ripresa da drone del 08/11/2024.

5. L'evento di mareggiata sul litorale romagnolo

5.1. Caratteristiche marino-costiere dell'evento

Il presente rapporto descrive i risultati dell'analisi condotta sull'evento verificatosi tra il 18 e il 20 ottobre 2024 sulle coste dell'Emilia-Romagna. La procedura regionale di allerta per il rischio costiero utilizza tre diversi scenari durante la fase di previsione:

1. SL1: livello del mare superiore a 0,7 m combinato con un'altezza dell'onda significativa superiore a 2,0 m;
2. SL2: livello del mare superiore a 0,8 m, indipendentemente dall'altezza dell'onda significativa;
3. SL3: l'altezza delle onde supera i 3,0 metri, indipendentemente dal livello del mare.

Questi valori di riferimento di allertamento per il rischio costiero sono considerati come base fondamentale per la discussione successiva.

Nel periodo compreso tra il 18 e il 20 ottobre 2024 si è registrato un innalzamento del livello del mare lungo la costa emiliano-romagnola causato dalla sovrapposizione di intense condizioni meteorologiche all'andamento oscillatorio della marea astronomica, come mostrato dai grafici dei tre mareografi di Arpae distribuiti lungo la costa, illustrati in Figura 45.

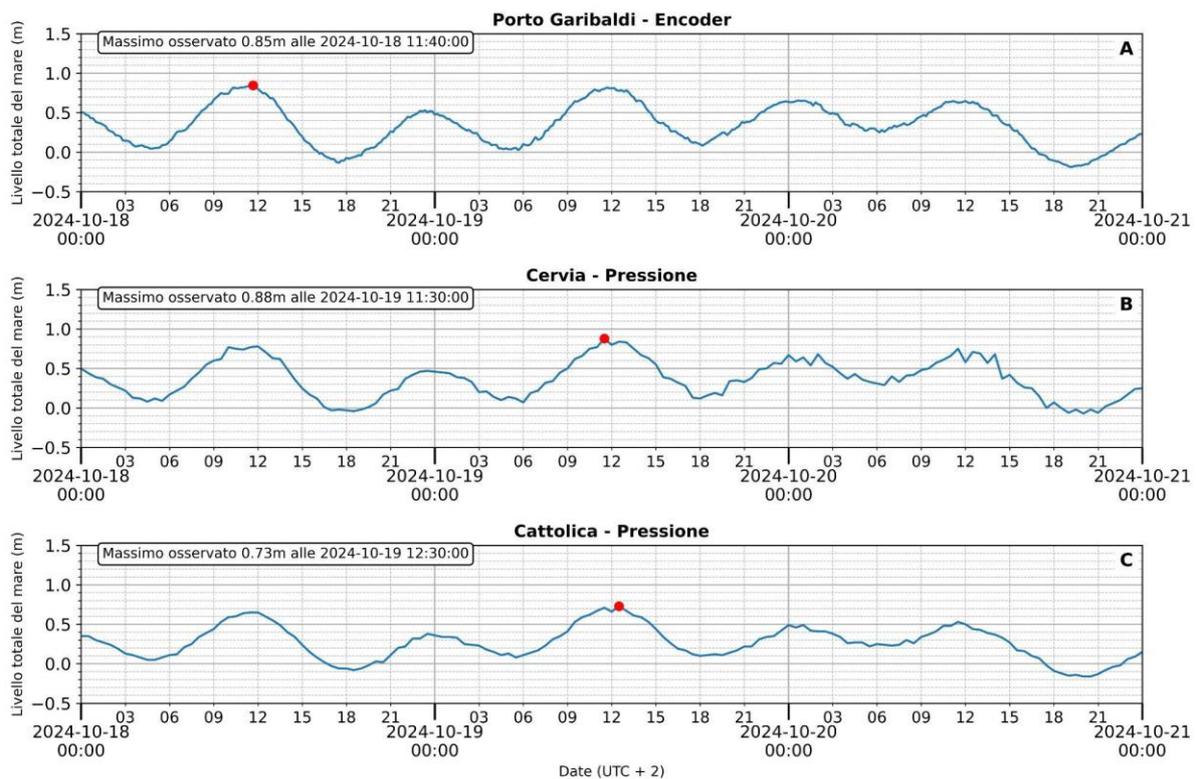


Figura 45: Livello totale del mare misurato ai mareografi di Porto Garibaldi, Cervia e Cattolica nel periodo compreso dal 18/10/2024 alle 00:00 al 21/10/2024 alle 00:00.

Di seguito viene analizzata la variazione del livello del mare durante l'evento per ognuno dei tre mareografi:

Porto Garibaldi (Figura 45, Pannello A)

Il livello del mare ha superato SL1 (0,7 m) per la prima volta alle 9:20 (0,72 m) del 18, continuando ad aumentare continuamente fino a superare SL2 (0,8 m) alle 10:20 (0,82 m). Il livello ha raggiunto un massimo di 0,85 m alle 11:40 prima di iniziare a diminuire. È importante evidenziare che il valore massimo di 0,85 m, registrato il 18 ottobre, rappresenta la massima lettura ottenuta dal mareografo di Porto Garibaldi durante il corso dell'evento. Dopo il picco, il livello del mare ha continuato a diminuire, scendendo sotto SL2 alle 12:10 (0,77 m) e sotto SL1 alle 12:50 (0,68 m). I valori del livello del mare a Porto Garibaldi il 18 ottobre sono rimasti al di sopra dello SL1 per un periodo di tre ore e mezza, con un intervallo di circa un'ora e quaranta minuti durante il quale è rimasto al di sopra dello SL2.

Il 19 ottobre, le misurazioni del livello del mare hanno superato nuovamente lo SL1 alle 10:20 (0,71 m), per poi superare lo SL2 alle 11:30 (0,801 m). Il massimo giornaliero di 0,82 m è stato poi raggiunto alle 11:40. Dopo il massimo giornaliero, le registrazioni del livello del mare hanno iniziato gradualmente a diminuire, scendendo al di sotto di SL2 alle 12:20 (0,78 m) e al di sotto di SL1 alle 13:30 (0,69 m). Durante la giornata, il livello del mare a Porto Garibaldi è rimasto al di sopra di SL1 per un totale di tre ore e dieci minuti, di cui cinquanta minuti al di sopra di SL2.

Cervia (Figura 45, Pannello B)

Il 18 ottobre il livello del mare registrato al mareografo di Cervia ha inizialmente superato SL1 alle ore 10:00 (0,77 m), raggiungendo un massimo giornaliero di 0,78 m alle 12:00. Successivamente, ha iniziato a diminuire, scendendo sotto SL1 alle 13:00 (0,63 m). Nel corso della giornata del 18, il livello del mare registrato a Cervia è rimasto al di sopra di SL1 per circa due ore. Il 18 non sono stati osservati valori superiori a SL2.

Il 19 ottobre il livello del mare ha nuovamente superato SL1, raggiungendo un valore di 0,75 m alle 10:30. Il livello del mare ha continuato a salire, superando SL2 alle 11:30 e raggiungendo un massimo giornaliero di 0,88 m. Inoltre, il massimo giornaliero è stato il valore più alto registrato a Cervia nel corso dell'evento. Dopo il massimo giornaliero, si è osservato un calo del livello del mare, con misure al di sotto dello SL2 alle 13:30 (0,75 m) e successivamente dello SL1 alle 14:00 (0,67 m). Per tutto il 19 ottobre, il livello del mare è rimasto al di sopra di SL1 per una durata totale di tre ore e mezza, durante le quali è rimasto al di sopra di SL2 per due ore.

Cattolica (Figura 45, Pannello C)

Per Cattolica, il livello del mare misurato dal mareografo il 18 ottobre ha raggiunto un massimo di 0,65 m tra le 11:30 e le 12:00 senza mai superare né SL1 né SL2. Il 19, invece, SL1 è stato superato alle 11:30 (0,71 m) scendendo al di sotto di esso alle 12:00 (0,66 m) e raggiungendo il massimo giornaliero alle 12:30 per un valore di 0,73 m.

In Figura 46 viene riportato l'andamento delle variabili di altezza e direzione dell'onda rilevate dalla boa ondometrica Nausicaa posizionata al largo di Cesenatico. L'evento di mareggiata ha riguardato principalmente le giornate del 19 e 20 ottobre 2024: come visibile dal grafico, la boa ha rilevato un aumento dell'altezza dell'onda significativa (HS) a partire dalle ore 11:00 del 19 ottobre, orario in cui la boa misurava un valore di 0,65 m. A partire da questo momento l'altezza dell'onda ha iniziato a salire fino a raggiungere il picco dell'evento pari a 2,21 m a fine giornata, nello specifico alla ore 00:00 del 20 ottobre. A seguito del picco, l'evento di mareggiata ha iniziato la sua decrescita per poi esaurirsi completamente nella notte del 20 ottobre.

Dall'analisi delle direzioni delle onde è possibile attribuire la mareggiata ai venti di Scirocco (provenienti da Sud-Est) che hanno spirato costantemente sull'intero bacino Adriatico nella giornata del 19 ottobre. La direzione di provenienza dell'onda durante l'evento è compresa nel range 70°N - 90°N, che lascerebbe presupporre onde dovute a venti di Bora, ma la boa dell'Emilia-Romagna è

ormeggiata su un fondale poco profondo (circa 10 metri) e per questo motivo, soprattutto sui regimi di Scirocco (SE), le onde subiscono una rifrazione in senso antiorario dovuta all'interazione con il fondale. Questi eventi risultano quindi registrati con direzioni di provenienza più prossime all'Est rispetto alla dinamica generale di scirocco a scala di bacino adriatico.



Figura 46: Altezza e direzione dell'onda misurati dalla Boa ondometrica Nausicaa posizionata al largo di Cesenatico nel periodo compreso tra le 00:00 (ora locale) del 18/10/2024 e le 00:00 al 21/10/2024.

Sulla base della metodologia utilizzata per la definizione delle mareggiate [3], la durata dell'evento è stata di circa 25,5 ore con inizio alle ore 14:00 del 19 ottobre. L'energia dell'evento di mareggiata è pari a 74,71 m²/h, da cui è possibile classificare l'evento come "classe II" (moderata).

La Figura 47 fornisce una rappresentazione combinata delle serie temporali dei tre mareografi per il livello totale del mare (linee blu, arancione e verde) e l'altezza dell'onda significativa (linea nera), offrendo una comprensione complessiva dell'evoluzione delle variabili durante l'evento. Per tutti e tre i mareografi, i valori massimi raggiunti il 19 ottobre non hanno coinciso con la massima altezza dell'onda significativa misurata (ore 00:00 del 20 ottobre). È da notare che le misurazioni del livello del mare hanno mostrato un aumento delle fluttuazioni di alta frequenza più accentuate quando le onde hanno iniziato ad aumentare (circa alle ore 12:00 del 19 ottobre), suggerendo una leggera intensificazione delle perturbazioni atmosferiche.

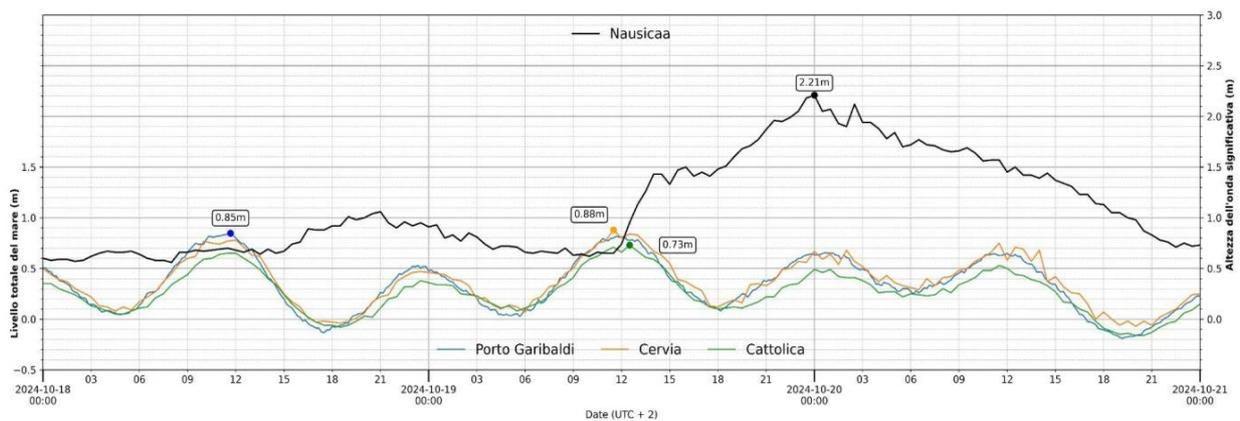
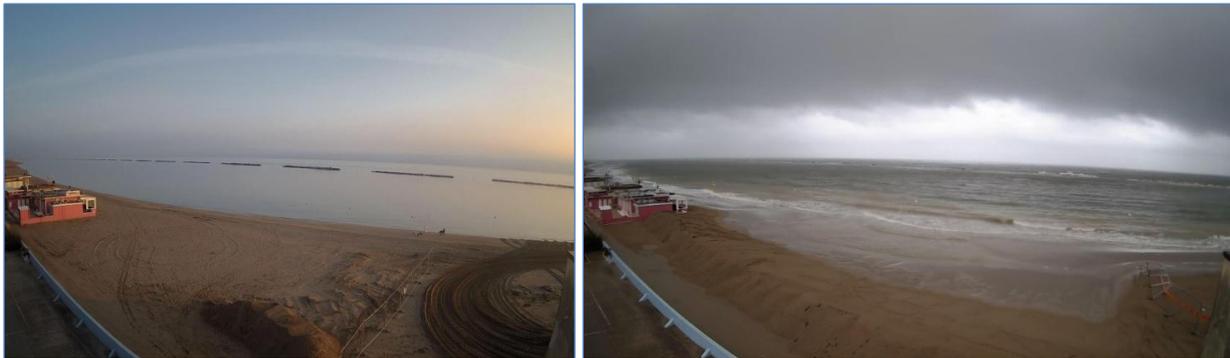


Figura 47: Livello totale del mare misurato dai tre mareografi (Porto Garibaldi - blu -, Cervia - arancione - e Cattolica - verde) indicato dall'asse y sinistra e di altezza dell'onda significativa misurata dalla Boa Nausicaa (linea nera) indicata nell'asse y destra, nel periodo compreso dalle 00:00 (ora locale) del 18/10/2024 alle 00:00 al 21/10/2024.

5.2. Monitoraggio degli eventi di mareggiata tramite camERa, il sistema di video monitoraggio dell'Emilia-Romagna

Grazie al finanziamento di alcuni progetti europei, Arpae e Regione hanno implementato una rete regionale di webcam costiere, denominata camERa (<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo/dati-e-osservazioni/webcam/rete-webcam>). Questo sistema di video monitoraggio continuo copre attualmente alcune sezioni della costa dell'Emilia-Romagna, grazie a una rete di 8 stazioni webcam fisse posizionate in aree di particolare interesse regionale, ma ha la potenzialità per essere estesa in ogni punto di interesse regionale che possa beneficiare di un monitoraggio operativo delle condizioni ambientali.

In particolare, per quanto riguarda gli eventi di mareggiata, le immagini raccolte dal sistema camERa possono essere utilizzate sia per il monitoraggio in tempo reale che per l'analisi post-evento. In Figura 54 sono riportati gli snapshot grezzi (che operativamente vengono aggiornati ogni 15 minuti) relativi alla località di Valverde. A scopo di confronto, viene mostrato in Figura 48 uno snapshot del 15/10/2024 (pre-evento di mareggiata) e un'immagine catturata durante l'evento nella giornata del 19 ottobre 2024, in cui si può notare l'avvenuta costruzione della duna invernale di protezione.



(A) 15/10/2024 - 06:00

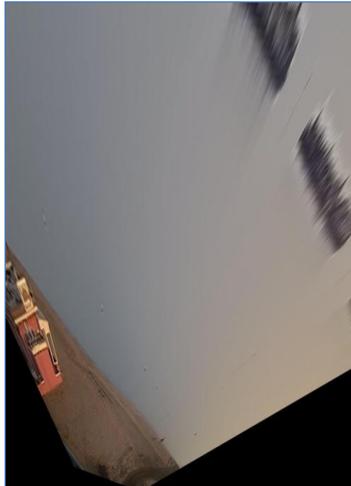
(B) 19/10/2024 – 11:30

Figura 48: Immagini grezze (Snapshot) della stazione webcam Valverde, nel periodo pre-evento (A) e durante l'evento (B).

L'immagine B mostra l'evento di inondazione costiera, che coincide con i picchi dei livelli del mare e delle onde descritti nei paragrafi precedenti. In particolare, lo snapshot del 19 ottobre è stato acquisito quando il livello del mare ha superato la soglia di allerta (0,88 m a Cervia), mentre l'altezza dell'onda significativa ha raggiunto valori superiori a 2 m (come riportato nella Figura 46).

In Figura 49, invece, vengono presentate le immagini ortorettificate della località Valverde per gli stessi istanti mostrati in Figura 48. Un'immagine ortorettificata è depurata dagli effetti distorsivi dovuti alla sfericità delle lenti e ri-proiettata su un sistema piano con coordinate reali, consentendone l'utilizzo anche in ambienti GIS. Le immagini ortorettificate mostrano con maggior precisione la distribuzione spaziale dell'inondazione e possono essere utilizzate per l'analisi dei cambiamenti morfologici della costa e per migliorare la gestione del rischio costiero.

(A) 15/10/2024 - 06:00



(B) 19/10/2024 - 11:30

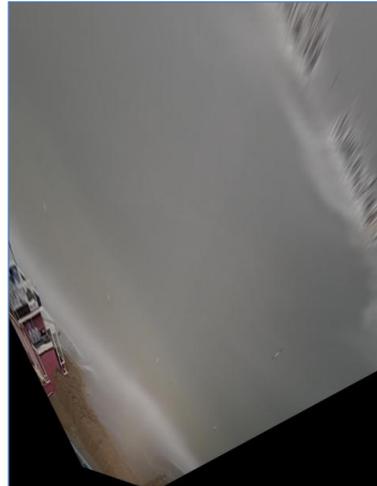


Figura 49: Immagini orto-rettificate (Rectm) della stazione webcam Valverde, nel periodo pre-evento (A) e durante l'evento (B).

5.3. Censimento degli impatti delle mareggiate a scala regionale

Solo i litorali della provincia di Ferrara hanno subito impatti da mareggiata (Tabella 15, Figura 50 e Figura 51); lungo la costa ravennate e romagnola, invece, il mare ha raggiunto solo occasionalmente il piede della duna invernale (laddove presente), senza produrre erosioni significative. In alcune spiagge, in particolare nelle vicinanze delle foci fluviali, si sono riversati ingenti quantitativi di materiale vegetale e legname trasportato dai fiumi in piena. Quantitativi rilevanti sono stati osservati, in particolare, nelle spiagge limitrofe ai moli di Marina di Ravenna (Figura 52).

In occasione del presente evento sono stati segnalati allagamenti di infrastrutture turistiche e aree urbane retrostanti la spiaggia che, tuttavia, non sono ascrivibili alla mareggiata ma alle forti precipitazioni e all'ostruzione del reticolo drenante. Questi fenomeni si sono registrati nei comuni di Cesenatico e Rimini.

Nella Tabella 15 sono riportate le tipologie di danno riscontrate e l'ente che ha fornito la segnalazione.

Tabella 15: Sintesi impatti dell'evento sulla costa regionale

Id	Prov.	Località	Tipologia impatto	Dettaglio	Fonte segnalazione	Precisione ubicazione
1	FE	Lido di Volano, Lido di Spina	Erosione spiaggia, danni alle opere di difesa	Erosioni puntuali a Lido di Volano (Bagno Isa) e Lido di Spina nord (Bagno ex-Jamaica) con danneggiamento delle opere di difesa radenti (in geotessuto, sacchi di sabbia e pali in legno)	ARSTPC-FE	Esatta
2	RA	Marina di Ravenna	No impatto ma materiale spiaggiato	Accumuli tronchi	AGSS	Esatta



Figura 50: Erosione litorale con danneggiamento opera di difesa radente a Lido di Spina sud



Figura 51: Erosione litorale con danneggiamento opera di difesa radente a Lido di Volano

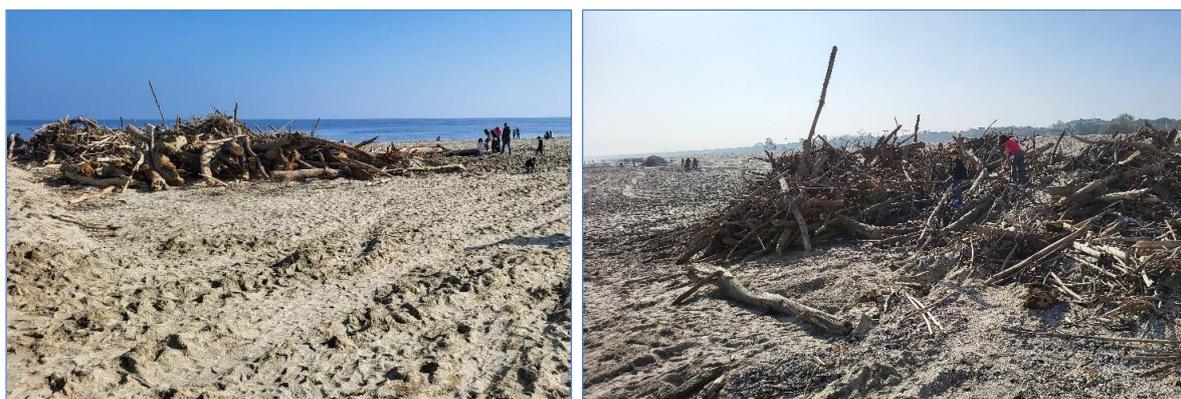


Figura 52: Accumulo tronchi e materiale vegetale in prossimità del molo sud a Marina di Ravenna

6. L'attività di previsione e monitoraggio del Centro Funzionale

Gli eventi di precipitazione e di piena descritti nei precedenti paragrafi sono stati previsti e monitorati in tempo reale dal Centro Funzionale ARPAE-SIMC senza soluzione di continuità, attraverso il presidio h24 della propria Sala Operativa a partire dal 17 ottobre fino a tutta la giornata del 22 ottobre, con l'emissione di 8 Allerte meteo idrologico idrauliche (dalla 140/2024 alla 147/2024), e 16 Documenti di monitoraggio meteo-idrologico-idraulici periodici, in continuità tra i due eventi. Tutti i documenti di allerta e di monitoraggio sono scaricabili dal portale AllertameteoER all'indirizzo: <https://allertameteo.regione.emilia-romagna.it/allerte-e-bollettini>.

In particolare la mattina del 18 ottobre, alla luce delle piene ancora in corso, e della previsione meteorologica per la giornata successiva (Figura 53), il Centro Funzionale ARPAE-SIMC e l'Agenzia di Protezione Civile hanno emesso per il 19 ottobre un'Allerta rossa per criticità idraulica (142/2024), con specifica indicazione di: *“precipitazioni diffuse e persistenti, anche associate a rovesci temporaleschi di moderata-forte intensità che genereranno nuovi innalzamenti dei livelli idrometrici sui bacini già interessati dalle piene in atto, con probabili superamenti delle soglie 3 e rapidi innalzamenti dei livelli idrometrici sui bacini collinari del settore centro-occidentale, con diffusi fenomeni franosi e ruscellamenti nelle zone collinari e montane caratterizzati da condizioni idrogeologiche particolarmente fragili, anche a seguito delle precipitazioni dei giorni precedenti, e allagamenti in aree urbane.”*

A seguito dell'allerta rossa sono state effettuate numerose azioni preventive sul territorio: evacuazioni della popolazione in zone a rischio, chiusure di ponti, strade, scuole.

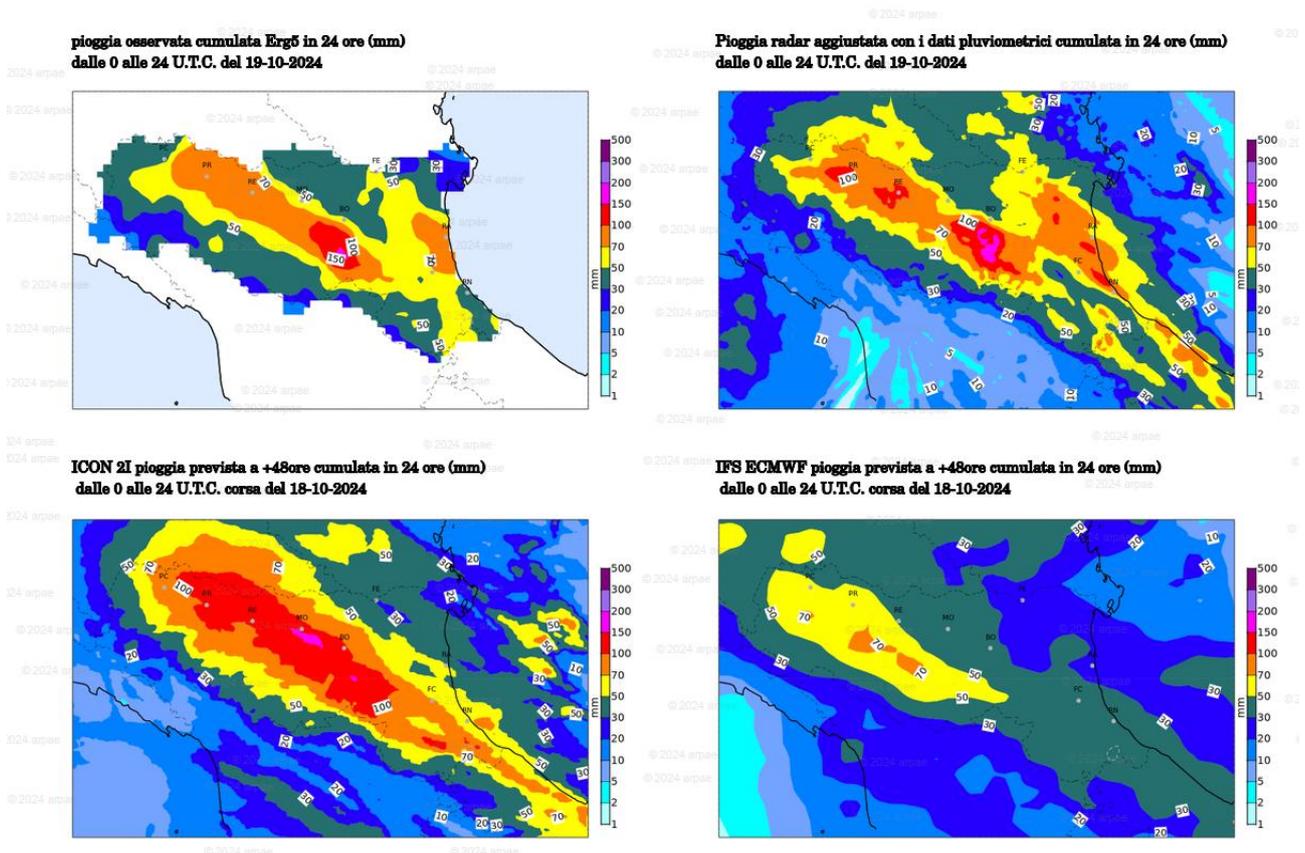


Figura 53: Confronto tra le precipitazioni di sabato 19 ottobre 2024 osservate da pluviometri (in alto a sinistra), osservate da pluviometri e radar (in alto a destra), e previste dal modello ad area limitata ICON2I (in basso a sinistra) e dal modello a scala globale ECMWF (in basso a destra) la mattina di venerdì 18 ottobre

Come è possibile osservare nella Figura 53, rispetto alla previsione dei modelli meteorologici ad area limitata (ICON2I in basso a sinistra) e a scala globale ECMWF (in basso a destra) disponibili la mattina del 18 ottobre al momento della previsione, le precipitazioni effettivamente osservate il 19 ottobre sono state meno abbondanti del previsto sul settore occidentale ed orientale della regione, ma più intense e concentrate sul settore collinare centrale bolognese, dove la pioggia spazializzata con i dati pluviometri e radar (in alto a destra) mostra l'ampia zona con cumulate superiori ai 150 mm/24 ore.

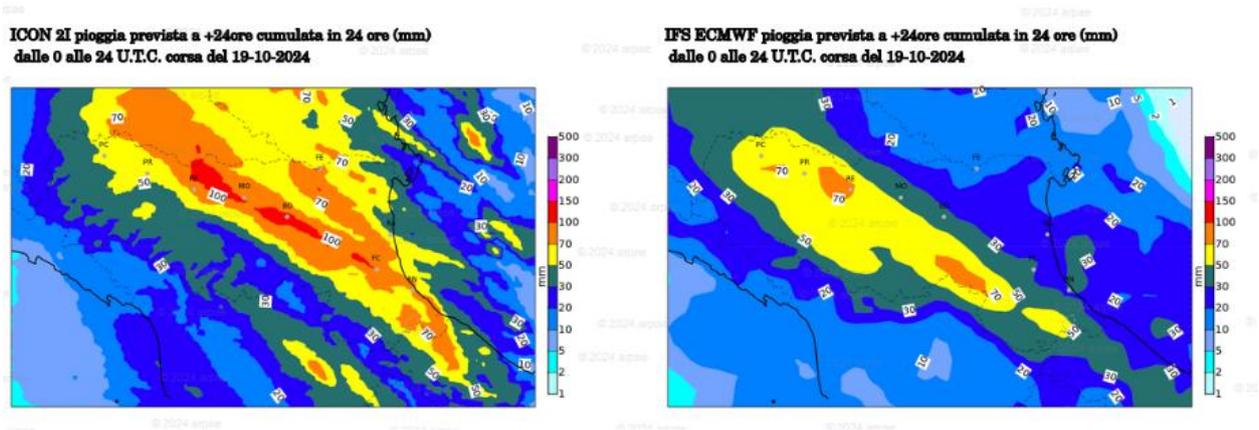


Figura 54: Confronto tra le precipitazioni di sabato 19 ottobre 2024 previste dal modello ad area limitata ICON2I (in basso a sinistra) e dal modello a scala globale ECMWF (in basso a destra) la mattina stessa di sabato 19 ottobre.

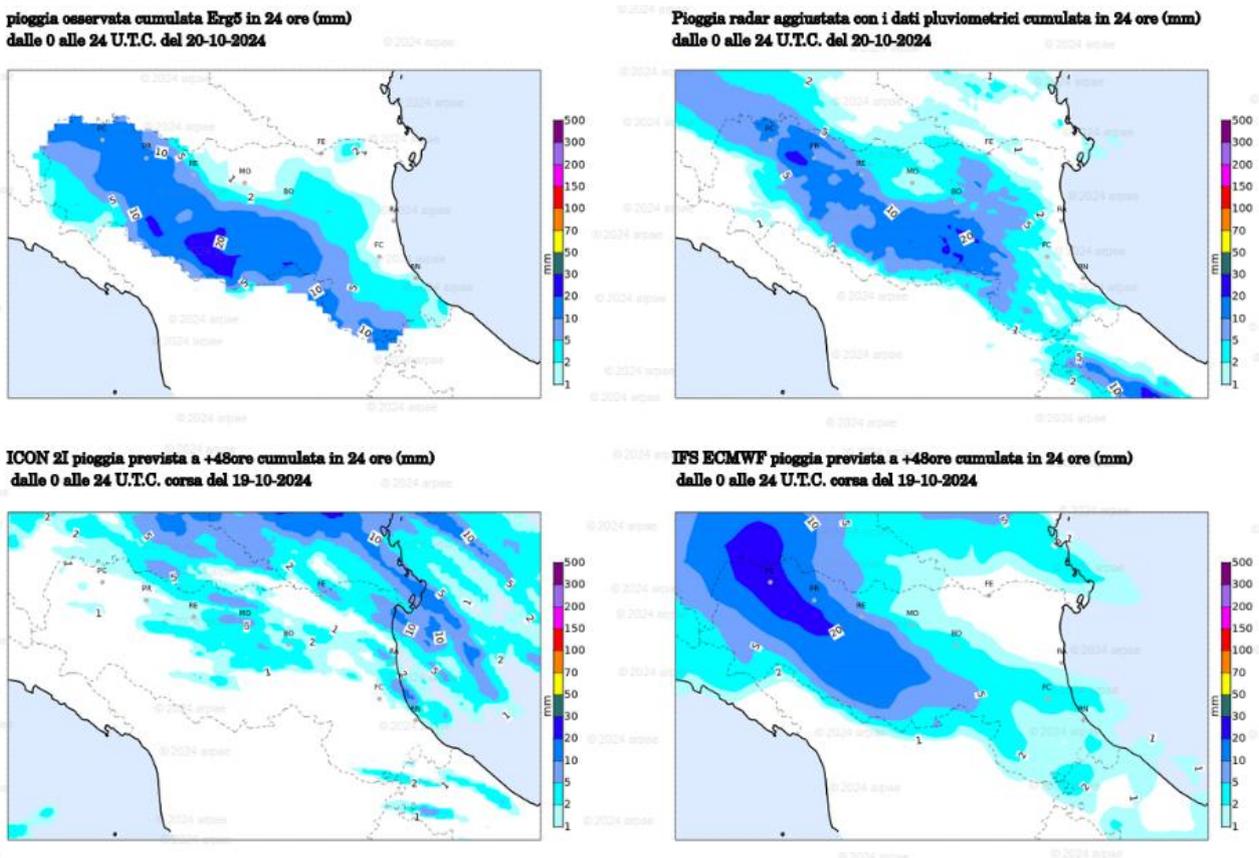


Figura 55: Confronto tra le precipitazioni di domenica 20 ottobre 2024 osservate da pluviometri (in alto a sinistra), osservate da pluviometri e radar (in alto a destra), e previste dal modello ad area limitata ICON2I (in basso a sinistra) e dal modello a scala globale ECMWF (in basso a destra) la mattina di sabato 19 ottobre.

La mattina del 19 ottobre l'aggiornamento dei modelli meteorologici faceva prevedere rispetto alle previsioni disponibili il giorno precedente, una riduzione delle precipitazioni per il giorno stesso (Figura 54), deboli residue nella giornata successiva (Figura 55). L'Allerta arancione per criticità idrogeologica e idraulica (143/2024) emessa per il 20 ottobre indicava di conseguenza il rientro a *“livelli idrometrici superiori alle soglie 2 nei tratti vallivi dei corsi d'acqua del settore centro-orientale della regione e nei bacini collinari del settore occidentale”* e *“residue precipitazioni che potranno generare, in particolare nella notte e nella mattinata, ancora ruscellamenti e fenomeni franosi, con maggiore diffusione sui versanti collinari.”*

Attraverso l'attività di monitoraggio in tempo reale, tramite gli aggiornamenti modellistici del sistema RUC (Rapid Update Cycle, ciclo di aggiornamento rapido) e il nowcasting meteorologico (basato sulla rete radar regionale), a partire dal pomeriggio di sabato 19 ottobre i meteorologi del Centro Funzionale hanno potuto valutare l'intensificazione delle precipitazioni rispetto alla previsione, in concomitanza con lo spostamento della linea di intensi rovesci temporaleschi dalla costa verso la collina bolognese e successivamente verso la pianura reggiana-parmense. Sono stati emessi quindi una serie Documenti di monitoraggio in rapida sequenza, che hanno permesso di seguire e anticipare, ove possibile, la repentina risalita dei corsi d'acqua sul Reno e sui suoi affluenti, nonché su gran parte dei corsi d'acqua emiliani.

Inoltre tramite un innovativo sistema di monitoraggio e previsione sperimentale, implementato da ARPAE-SIMC sul torrente Ravone (https://www.arpae.it/it/ecoscienza/numeri-ecoscienza/anno-2023/numero-5-anno-2023/alluvione-emilia-romagna/grazzini_et_al_es2023_5.pdf), è stato possibile allertare già dal pomeriggio del 19 ottobre il COC del Comune di Bologna, che intorno alle ore 18 ha diramato tempestivamente una serie di avvisi alla popolazione residente in aree particolarmente critiche, attraverso sms e canali social, con l'indicazione di salire preventivamente ai primi piani delle case, stare lontani dai corsi d'acqua ed evitare i sottopassi, individuando le strade maggiormente a rischio.

La mattina di domenica 20, nonostante le precipitazioni fossero in esaurimento, alla luce degli ingenti ed estesi allagamenti occorsi sul territorio e della previsione di propagazione delle piene nei tratti vallivi dei corsi d'acqua con livelli superiori alle soglie 3, l'Allerta (144/2024) è stata aggiornata a rossa per criticità idraulica dalle 12 del giorno stesso. Per la giornata del 21 ottobre, non essendo previste ulteriori piogge, è stato previsto un codice arancione per criticità idrogeologica e idraulica sul settore bolognese e la pianura emiliana centrale, per la propagazione delle piene nei tratti arginati di Reno e Secchia e per la particolare fragilità dei versanti nelle aree collinari centrali, causata dalle abbondanti precipitazioni dei giorni precedenti.

Alle suddette Allerte ne sono seguite altre tre con codice colore progressivamente decrescente fino all'esaurimento dei fenomeni idraulici, che hanno tenuto conto anche delle situazioni di fragilità presenti sul territorio, causate dagli allagamenti e dai fenomeni franosi occorsi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Grazzini, F. Dottori, M. Di Lorenzo, A. Spisni, F. Tomei “*Nubifragi e rischio idraulico nella collina bolognese: il caso di studio del torrente Ravone*”, Arpae 2013 https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo/report-meteo/altri-report/report_rischioidraulico_ravone.pdf/view
- [2] F. Grazzini, M. Di Lorenzo, F. Tomei - “*Rischio alluvionale; lo studio del torrente Ravone*” – Ecoscienza, n°5 2023 https://www.arpae.it/it/ecoscienza/numeri-ecoscienza/anno-2023/numero-5-anno-2023/alluvione-emilia-romagna/grazzini_et_al_es2023_5.pdf
- [3] ARPAE- Struttura Idro-Meteo-Clima “*Rapporto IdroMeteoClima Emilia-Romagna 2023*” Arpae 2023 <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo/report-meteo/rapporti-annuali/rapporto-idrometeoclima-2023/view>



Struttura Idro-Meteo-Clima

Viale Silvani, 6 – Bologna

051 6497611

<http://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo>