

RAPPORTO SULL'EVENTO METEO IDROGEOLOGICO E IDRAULICO DEL 20 SETTEMBRE 2014



A cura di
Centro Funzionale Regione Emilia-Romagna

***Unità Radarmeteorologia, Radarpluviometria,
Nowcasting e Reti non convenzionali***

Bologna, 3 ottobre 2014

RIASSUNTO

La formazione di un vasto sistema convettivo organizzato (del tipo Mesoscale Convective Complex), in seno a correnti sud-occidentali in quota calde e umide, ha determinato, durante le prime ore del mattino di sabato 20 settembre, precipitazioni estese e molto intense su tutto il settore centro orientale della regione. I massimi quantitativi di pioggia sono stati registrati sulla parte alta dei bacini compresi fra il fiume Reno e il Montone. Tali quantitativi, che hanno raggiunto valori record di cumulata alla diverse scale temporali (1, 3, 6, 12 ore), hanno determinato piene fluviali impulsive con valori in molte sezioni superiori ai massimi storici. Si segnalano gravi danni alle infrastrutture come sormonto di ponti e parziale allagamento di centri abitati (Imola, Castrocaro, Modigliana).

In copertina: Danni al ponte di Rineggio, nei pressi di Borgo Tossignano, dovuti al sormonto del fiume Santerno.

INDICE

1. PREMESSA	4
2. EVOLUZIONE METEOROLOGICA GENERALE E ZONE INTERESSATE	5
3. ANALISI DELL'EVOLUZIONE ALLA MESOSCALA SULL'EMILIA-ROMAGNA	6
4. LE PIENE DEI FIUMI SANTERNO, SENIO, LAMONE E MONTONE	11
4.1. <i>Analisi pluviometrica sui bacini</i>	12
4.2. <i>Propagazione della piena sui corsi d'acqua</i>	18
5. LE ATTIVITÀ DI PREVISIONE E MONITORAGGIO DEL CENTRO FUNZIONALE.....	35
6. CONCLUSIONI E RAFFRONTI CON GLI EVENTI DEL PASSATO	35

1. PREMESSA

La formazione di un vasto sistema convettivo, in seno a correnti sud-occidentali calde e umide in quota ha determinato, durante le prime ore del mattino di sabato 20 settembre, precipitazioni temporalesche estese e molto intense su tutto il settore centro orientale della regione.

Il nubifragio è stato originato dalla formazione di un sistema convettivo organizzato alla mesoscala (MCS). Questi, si differenziano dai temporali ordinari a cella singola o multicella che di solito hanno durante inferiori o intorno all'ora o occupano pochi Km², per il maggior grado di organizzazione spaziale e durata. Gli MCS sono sistemi temporaleschi che hanno dimensioni spaziali superiori ai 250 Km, durate uguali o superiori a 6 ore, che possono determinare piogge estese.

I massimi quantitativi di pioggia sono stati registrati sulla parta alta dei bacini compresi fra il fiume Reno e il Montone. Tali quantitativi, che hanno raggiunto valori notevoli di cumulata alle diverse scale temporali (1 ora, 6 e 12 ore), hanno determinato piene fluviali impulsive con colmi in molte sezioni dei tratti montani, superiori o pari ai massimi storici.

I bacini maggiormente investiti da questo sistema sono stati quello del Santerno, Senio, Lamone e Montone dove una precipitazione concentrata, soprattutto nel tratto montano, anche superiore ai 150 mm in 6 ore, ha determinato un improvviso colmo di piena che rapidamente ha raggiunto e superato il livello di allarme in molte sezioni di chiusura dei bacini.

Il transito della piena con tali livelli ha determinato allagamenti diffusi anche oltre le normali zone di espansione fluviale raggiungendo spesso le aree di allagamento classificate con tempo di ritorno 200 anni fino alla chiusura dei bacini montani.

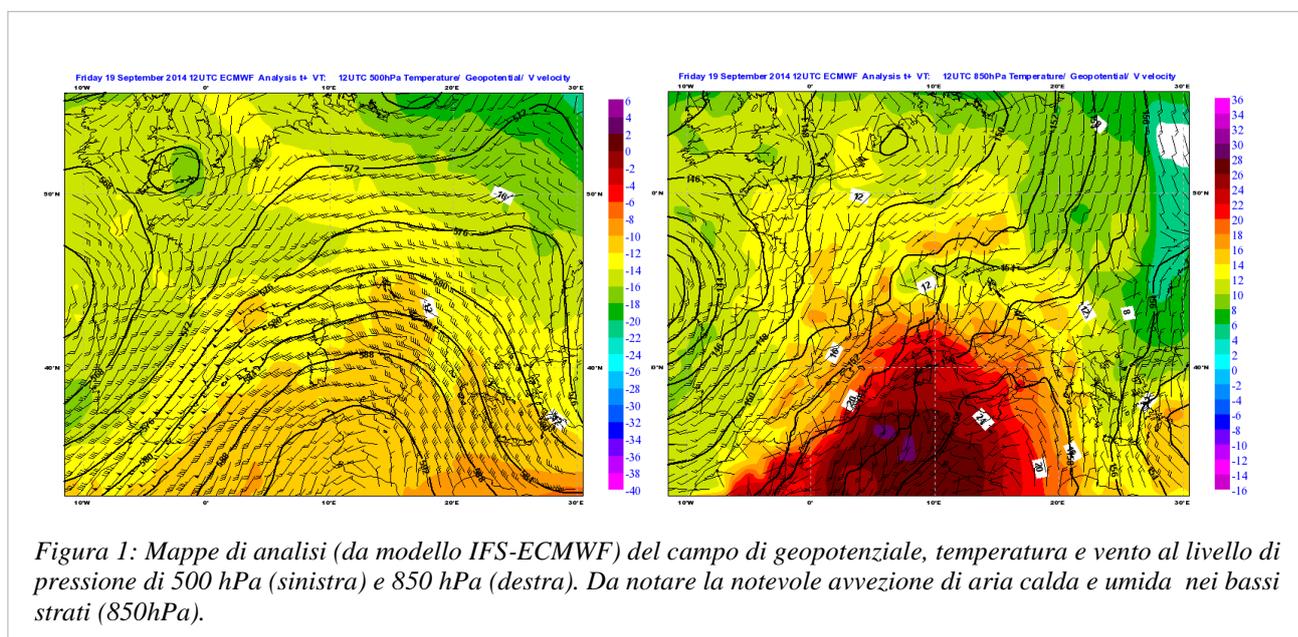
L'alleggerimento della piena a monte, causato dalle diffuse esondazioni in più tratti, ha favorito l'ingresso in pianura di una piena già contenuta per effetto della laminazione, ma ancora in grado di far registrare livelli ragguardevoli almeno nelle prime sezioni del tratto arginato; poi rapidamente i livelli verso valle si sono attenuati progressivamente, grazie anche alle condizioni favorevoli dei ricettori e dello stato iniziale di minimo deflusso dei fiumi.

L'evento registrato è stato seguito e monitorato nella sua rapidissima evoluzione, ma per le sue caratteristiche, che verranno esaminate in dettaglio nei paragrafi che seguono, non è stato possibile prevederlo con la modellistica meteorologica numerica.

Nel territorio sono stati segnalati gravi danni alle infrastrutture dei ponti e delle traverse fluviali, nonché allagamenti diffusi in prossimità dei centri abitati.

2. EVOLUZIONE METEOROLOGICA GENERALE E ZONE INTERESSATE

L'evoluzione di un blocco anticiclonico, presente fino al 15 settembre sull'Europa centrale, determina il posizionamento di una vasta onda depressionaria in quota a ovest della penisola iberica già dal 17 settembre. Il progressivo avvicinamento e inclinazione dell'onda ciclonica in quota spinge, già dal 17 settembre, verso il Mediterraneo centrale, masse d'aria calde e umide molto instabili. Nel seno di queste correnti scorrono piccoli impulsi perturbati che vanno ad interessare dapprima la Francia meridionale, dove si registra la formazione di numerosi sistemi convettivi organizzati, all'origine anche di una alluvione lampo il giorno 18 settembre che ha causato 5 morti in un campeggio di Lamalou-Les-Bains. Dal 18 fino al 20 le correnti sud-occidentali tendono a muoversi lentamente verso est, portando il loro centro d'azione verso il Mar Ligure, mentre sulle regioni centro-meridionali permane un campo anticiclonico di origine subtropicale (vedi Figura 1).



Durante la notte fra il 19 e 20, il sopraggiungere di altri corpi nuvolosi dal Tirreno ha determinato una nuova intensificazione della fenomenologia, non ben prevista dai modelli numerici a disposizione nella giornata di venerdì 19. Infatti i modelli (ECMWF e COSMO) prevedevano il passaggio di un modesto impulso perturbato con precipitazioni sulla Toscana centrale e in un secondo tempo sulla pianura emiliana, mentre invece, come vedremo nel dettaglio, la zona di genesi e persistenza dei temporali è stata quella del crinale appenninico dal parmense fino al forlivese. Inoltre, quello che assolutamente non era presente nella modellistica numerica, anche nelle corse più prossime all'evento, era l'indicazione dell'elevato grado di organizzazione dei sistemi convettivi che hanno portato ad una precipitazione su aree molto estese, mentre i modelli al più hanno fornito indicazioni di piogge temporaneamente intense e localizzate.

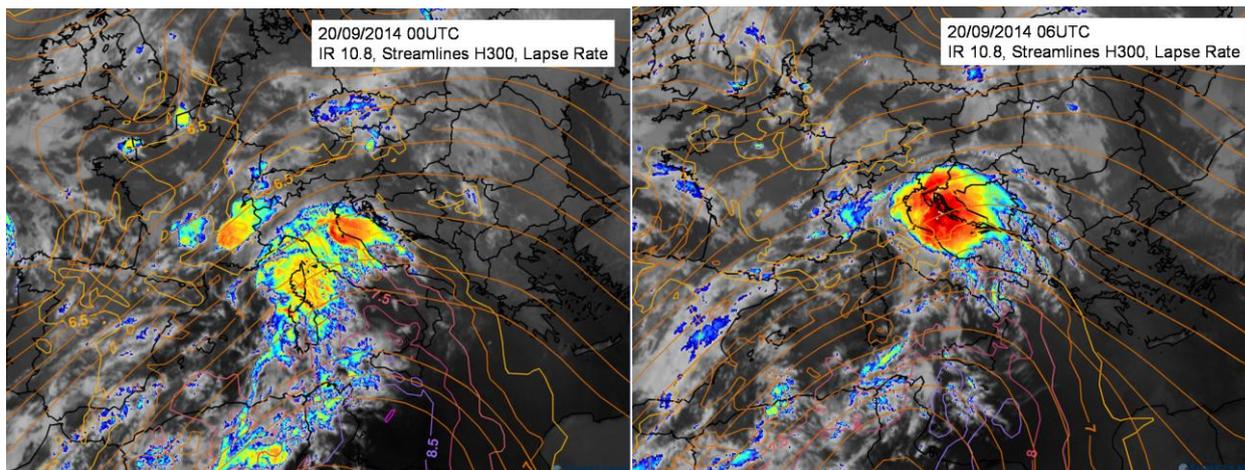


Figura 2: Immagini satellitari MSG-Eumetrain nel canale dell'infrarosso (10.8) con colorazione del top delle nubi più fredde. Per caratterizzare la situazione meteorologica, dal punto di vista dinamico e termodinamico, sulla stessa mappa sono state sovrapposte un indicatore del flusso a 300 hPa (jet level) e il lapse rate fra 850 e 500 hPa. A sinistra la situazione alle 00UTC a destra quella delle 06 UTC dove risulta ormai molto evidente il sistema convettivo alla mesoscala (MCC), ormai in fase matura.

3. ANALISI DELL'EVOLUZIONE ALLA MESOSCALA SULL'EMILIA-ROMAGNA

Dall'analisi degli echi radar, riportati nelle mappe in Figura 5 e Figura 6, a passi orari dalle 22 alle 5 UTC, è possibile cogliere bene l'evoluzione dei sistemi precipitanti che hanno dato luogo all'evento.

La precipitazione sul crinale appenninico ha inizio nella serata del giorno 19, con isolati nuclei di precipitazione convettiva intensa. Attorno alle 23 UTC sembra prevalere il sistema temporalesco presente sull'Appennino bolognese, che da luogo a notevoli intensità istantanee ma di breve durata, anche a carattere grandinigeno, come evidenziato dal radar. Infatti in Figura 3 sono riportate le mappe di VIL (grandezza che riporta il contenuto di acqua lungo la colonna verticale) e di POH (probabilità di grandine) tra le 23.25 e le 23.55 UTC. Nelle mappe sono evidenziate dal cerchio bianco le aree dove è molto probabile la presenza di grandine.

Il sistema poi transita velocemente verso l'appennino forlivese dando luogo a cumulate in alcuni casi già significative ma che possono rientrare nella dinamica di normale passaggio temporalesco. Successivamente invece di assistere ad un graduale miglioramento, come previsto dai modelli, si verifica la nuova formazione di attività convettiva diffusa su tutto il crinale, che ha dato vita in maniera rapidissima e inaspettata (fra le 01 e le 03 UTC) alla formazione di un unico grande sistema convettivo classificabile come Mesoscale Convective Complex (MCC), nel quale si sono fusi tutti i sistemi convettivi presenti. In questo periodo di formazione del MCC si sono registrate le precipitazioni più forti, inclusi i 67.8 mm/1h misurati dal pluviometro di Firenzuola fra le 1.15 e le 2.15 UTC. Alle 6 UTC l'MCC risultava già nella sua fase matura, ben visibile nella Figura 2 sul pannello di destra.

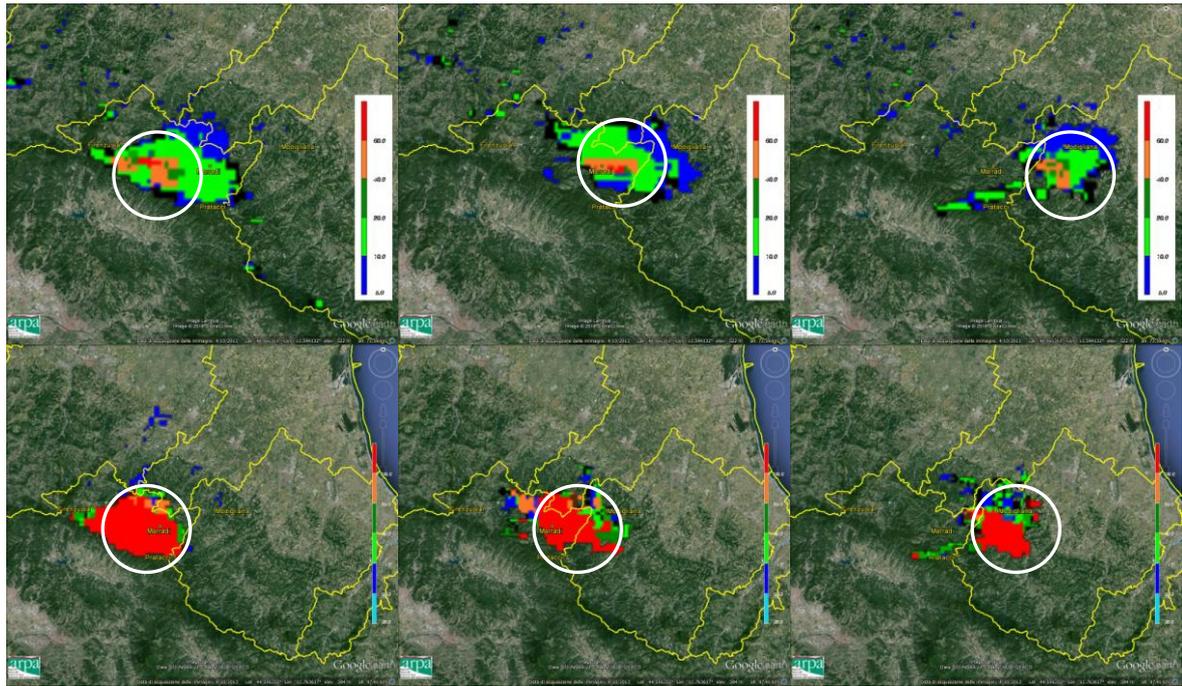


Figura 3. Mappe di VIL (sopra) e POH (sotto) del 19/09/2014 alle 23.25 UTC, 23.40 UTC, 23.55 UTC (da sinistra a destra). Zoom sull'area di precipitazione intensa.

Gli MCC, particolare sottocategoria di sistemi convettivi alla mesoscala (MCS), non sono inediti sul bacino del Mediterraneo anche se piuttosto rari. Essi richiedono infatti condizioni particolari per il loro sviluppo e anche a livello planetario non sono così frequenti (Barry and Carleton, 2001). Le zone a maggiore probabilità di sviluppo degli MCC sono quelle prossime all'equatore e alle grandi pianure degli Stati Uniti e dell'America del sud. Si sviluppano tipicamente durante le ore notturne in zone caratterizzate da una forte avvezione calda-umida nei bassi strati che determina strati condizionatamente instabili. Lo sviluppo tipico durante le ore notturne e su terraferma avviene poiché il processo di organizzazione della convezione è favorito dal forte raffreddamento per irraggiamento dal top delle nubi (maggiore durante la notte) e dalla presenza di un low level jet che si intensifica nelle ore notturne in presenza dell'inversione termica. Altra condizione è la presenza del jet subtropicale in quota a curvatura anticiclonica che favorisce l'afflusso di umidità e la divergenza in quota. In ultimo le informazioni derivanti dalla distribuzione climatologica degli MCC suggeriscono una genesi preferenziale sottovento ad importanti catene montuose che evidentemente fungono da triggering per la nascita di celle contemporanee su un'area vasta.

Tutti questi ingredienti li ritroviamo nell'analisi dettagliata delle condizioni a mesoscala che hanno portato alla formazione del sistema del 20 settembre, che può essere quindi classificato come uno dei pochi casi di MCC registrati e analizzati sulla nostra regione in tempi recenti. Per accertarci che il sistema convettivo in oggetto si ascrive veramente ad un MCC, abbiamo applicato i criteri di classificazione proposti da Maddox (1980) basati sulle caratteristiche delle proprietà termiche, estensione spaziale e forma del top delle nubi. Come mostrato in **Figura 4** (pannello di sinistra) tale analisi soddisfa pienamente i criteri per gli MCC (area con Temp al top delle nubi $< -52^{\circ}\text{C}$ deve essere maggiore di 50mila Km^2 , la forma deve essere leggermente ellittica con asse maggiore lungo il vento prevalente in quota) mostrando un'area con $T_{\text{top}} < -52^{\circ}\text{C}$ estesa per oltre 153mila Km^2 . La zona con temperature al top minori di -52°C corrisponde in via qualitativa alla zona interessata da precipitazioni al suolo di elevata intensità, è quindi

molto vasta. Fortunatamente il sistema si è mosso rapidamente verso est, scaricando il grosso del suo carico e della sua violenza in mare. Sul mare si sono infatti raggiunti i valori più bassi di temperatura delle nubi, che sono scesi sotto i -70°C su ampie zone, indice di ampie aree caratterizzate da fortissime correnti ascensionali. Il sondaggio di San Pietro Capofiume delle ore 00 UTC del 20/09, poco prima della nascita del sistema, evidenzia come l'ambiente fosse favorevole alla sua formazione dovuto alla presenza di ampio strato instabile e alla rotazione con la quota in senso orario del vento negli strati medio bassi, indicatore di un avvezione calda in atto.

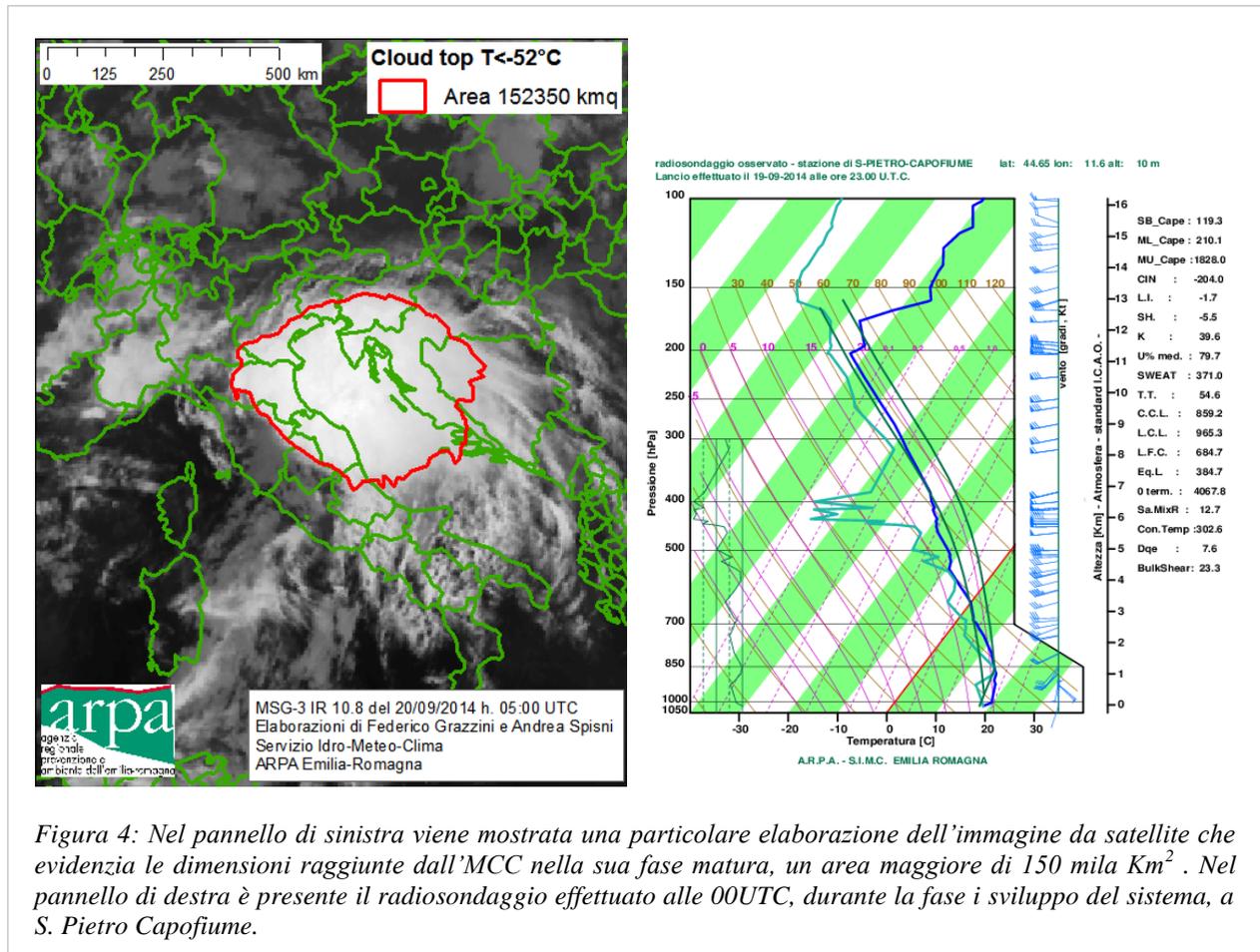


Figura 4: Nel pannello di sinistra viene mostrata una particolare elaborazione dell'immagine da satellite che evidenzia le dimensioni raggiunte dall'MCC nella sua fase matura, un'area maggiore di 150 mila Km^2 . Nel pannello di destra è presente il radiosondaggio effettuato alle 00UTC, durante la fase di sviluppo del sistema, a S. Pietro Capofiume.

Dall'analisi della moviola radar e da satellite si stima la formazione del sistema intorno alle 01:00 UTC e il suo definitivo esaurimento intorno alle 15 UTC dello stesso giorno sulla Bulgaria dopo aver attraversato l'Adriatico centro settentrionale e la parte centro meridionale della regione balcanica. Si stima quindi un tempo di vita del sistema di circa 14 ore, quindi un ordine di grandezza in più rispetto ad un sistema temporalesco ordinario che di solito presenta un tempo di vita medio di circa 1 ora. Durante il suo percorso sulla nostra regione questo sistema convettivo ha scaricato notevolissime quantità di pioggia lungo il crinale appenninico centro-orientale ma anche piogge moderate su tutta l'area di pianura.

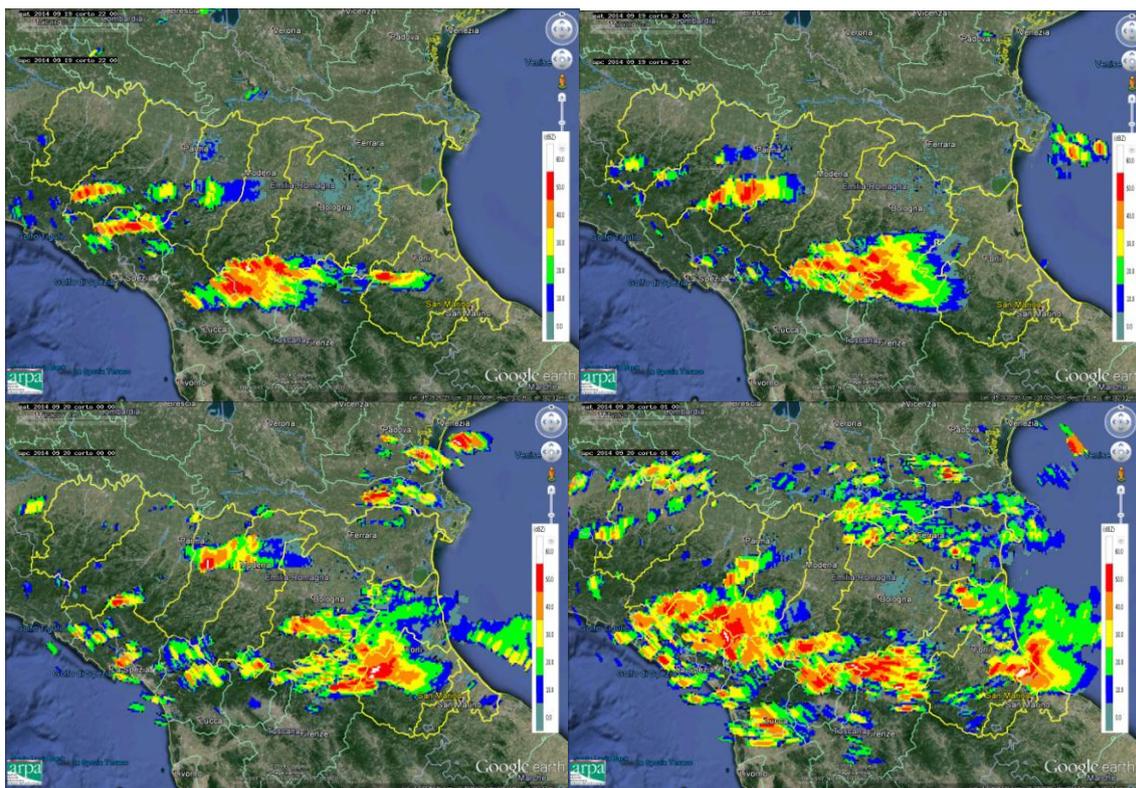


Figura 5: Mappe di riflettività del 19/9/2014 alle 22:00 UTC (in alto a sinistra), alle 23:00 UTC (in alto a destra), del 20/9/2014 alle 00:00 UTC (in basso a sinistra) e alle 01:00 UTC (in basso a destra).

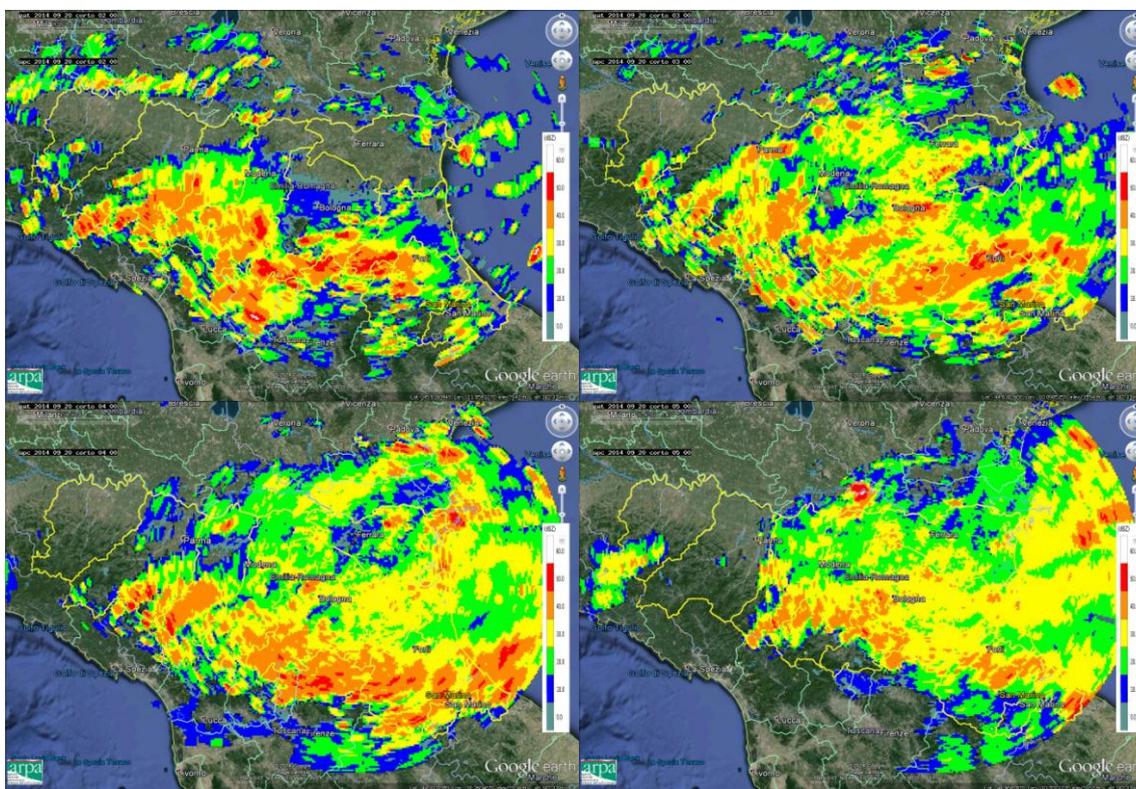
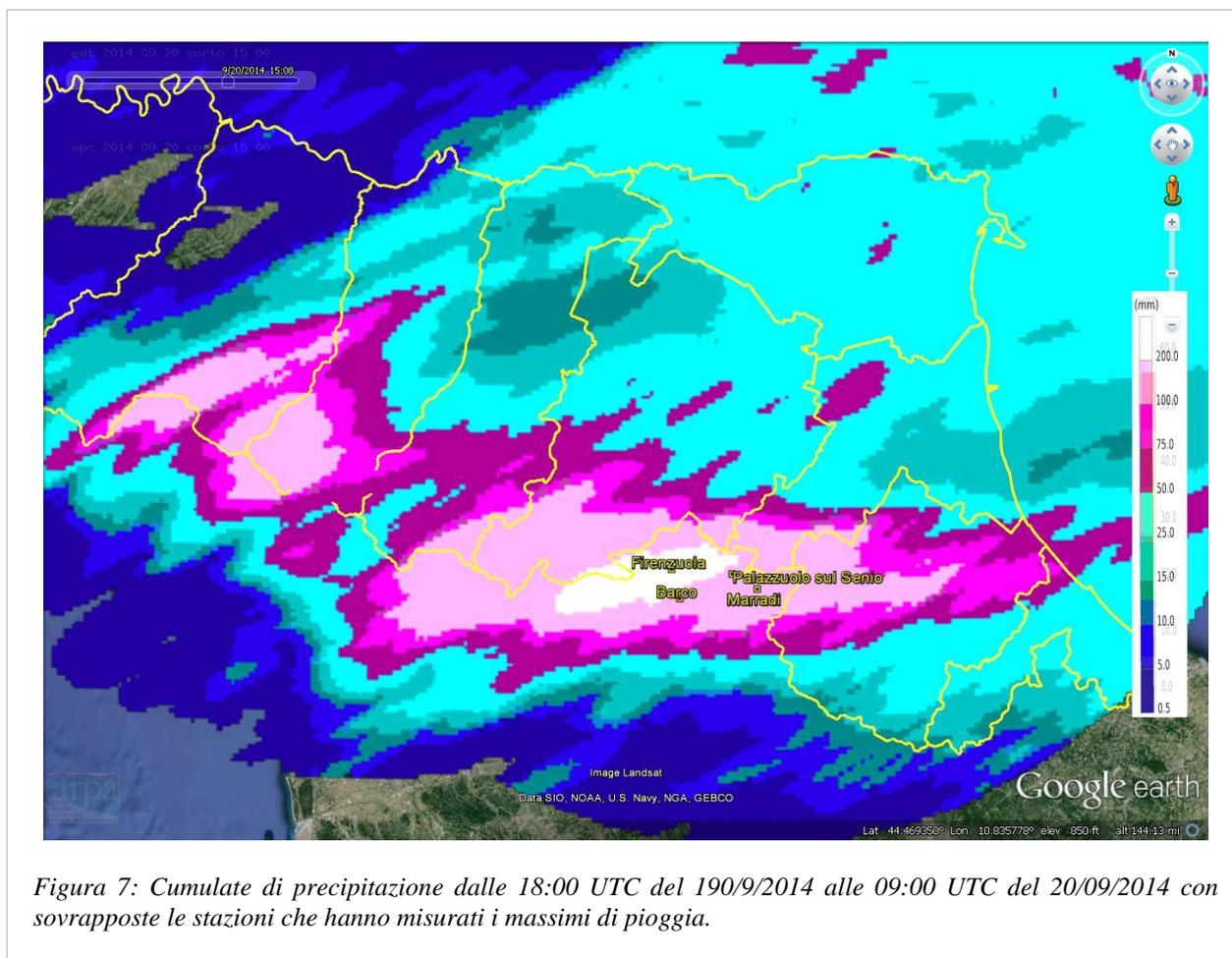


Figura 6: Mappe di riflettività del 20/9/2014 alle 02:00 UTC (in alto a sinistra), alle 03:00 UTC (in alto a destra), alle 04:00 UTC (in basso a sinistra) e alle 05:00 UTC (in basso a destra).

La Figura 7 illustra infatti la pioggia cumulata osservata tramite radar nelle 15 ore centrali dell'evento, dalla quale appare evidente come l'Appennino centro-orientale sia stata la zona maggiormente interessata dal fenomeno. Le cumulate di pioggia più elevate sono state registrate dai pluviometri di Barco e Firenzuola, localizzati in corrispondenza delle nucleo di precipitazione radar maggiore, sebbene nell'evento in esame i pluviometri abbiano registrato cumulate inferiori a quelle del radar (vedi Figura 9), probabilmente a causa della presenza di grandine, il cui contributo non è rilevato dai pluviometri, e può determinare una sottostima del quantitativo di precipitazione.



4. LE PIENE DEI FIUMI SANTERNO, SENIO, LAMONE E MONTONE

L'evento meteorologico sopra descritto, caratterizzato da piogge di elevata intensità concentrate in poche ore, ha generato piene impulsive sui bacini del Santerno, Senio, Lamone e Montone, con livelli idrometrici che in molte sezioni del tratto montano hanno superato o raggiunto i massimi storici registrati.

Nella Figura 8 sono illustrati i bacini idrografici interessati, con l'ubicazione delle stazioni di misura.

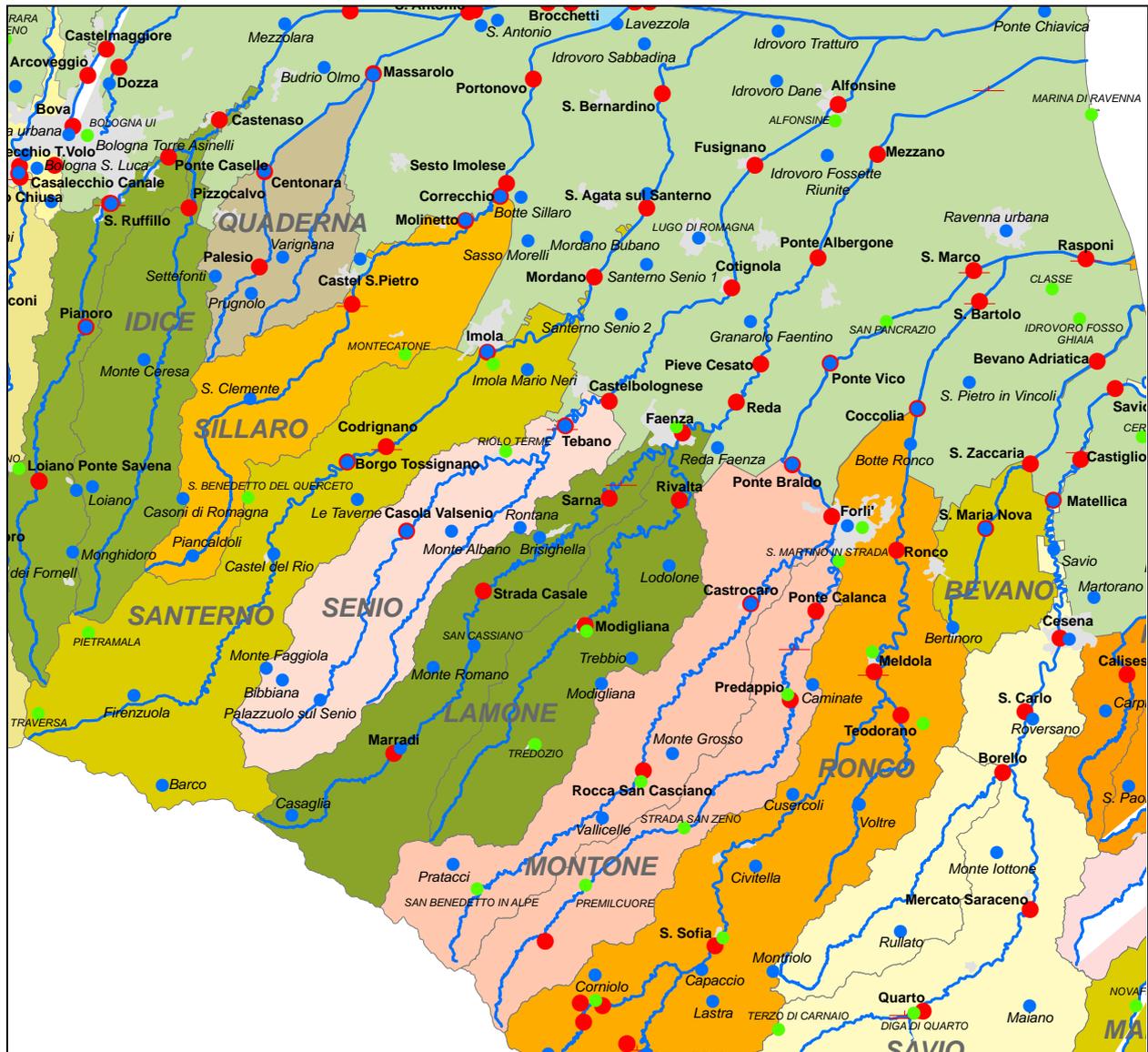


Figura 8: Bacini idrografici dei fiumi Santerno, Senio, Lamone e Montone con ubicazione dei pluviografi (in verde), e delle stazioni idrometriche (in rosso) e pluviometriche (in blu) in telemisura.

4.1. Analisi pluviometrica sui bacini

Nella Figura 9 è possibile osservare la cumulata di pioggia registrata dai pluviometri dalle ore 12 di venerdì 19 settembre alle ore 12 di sabato 20. Appare evidente come i quantitativi maggiori abbiano interessato la quasi totalità dei bacini montani di Santerno, Senio, Lamone, e Montone.

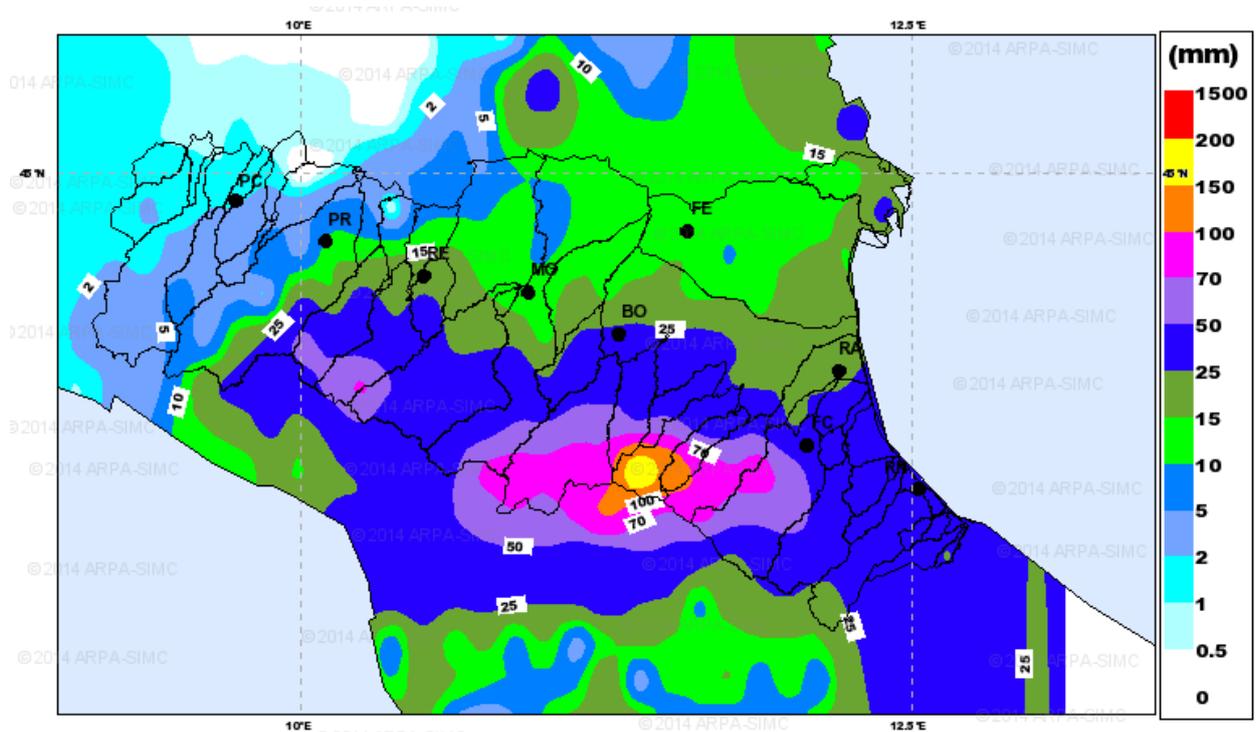


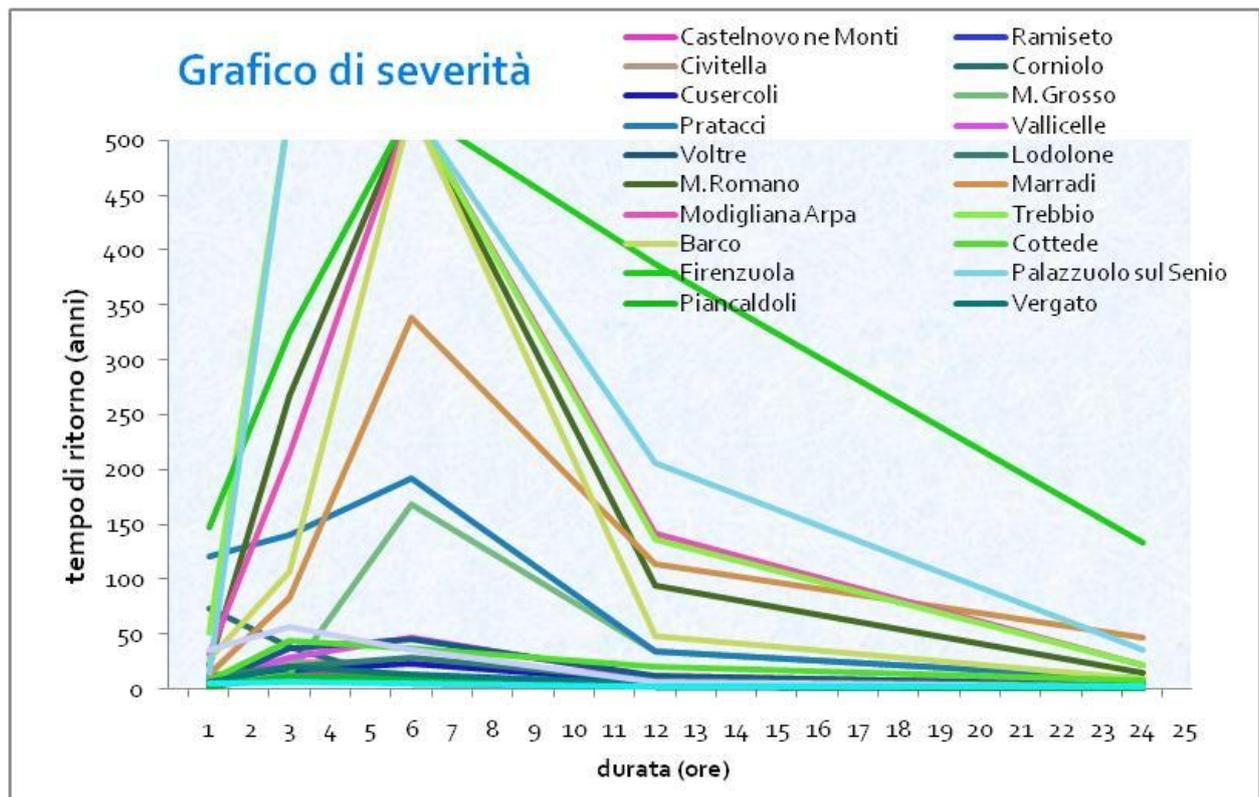
Figura 9: Pioggia cumulata dell'evento dalle ore 12 del 19 settembre alle ore 12 del 20 settembre sui bacini idrografici della Regione Emilia Romagna

Dagli ietogrammi di pioggia oraria e cumulata più significativi, riportati nelle figure successive, si osserva come in tutti i pluviometri le intensità maggiori si siano registrate in realtà in un arco di tempo di circa 3 - 6 ore, ovvero in un tempo paragonabile al tempo di corrivazione dei bacini montani interessati.

Nella **Tabella 1** è possibile osservare come le piogge di massima intensità dell'evento, per le durate da 3 a 12 ore, abbiano superato dovunque il tempo di ritorno 50 anni, ed in alcune stazioni del Santerno e del Lamone anche il tempo di ritorno di 200 anni.

Tabella 1: Precipitazioni massime dell'evento e grafici di severità per durate < 24 ore, con i relativi tempi di ritorno, nelle stazioni pluviometriche più significative.

Stazione	Bacino	1 ora		3 ore		6 ore		12 ore		24 ore	
		Tempo di ritorno (anni)	Prec (mm)								
M.Grosso	Fiumi Uniti	3.1	26.4	12.9	51.4	>100	87.0	34.7	87.8	8.7	92.8
Pratacci	Fiumi Uniti	>100	60.0	>100	84.8	>100	98.8	34.6	98.8	9.6	104.4
Vallicelle	Fiumi Uniti	7.8	33.4	28.1	58.2	46.8	72.8	10.8	72.8	5.4	83.6
Voltre	Fiumi Uniti	5.0	31.4	37.7	64.0	45.5	73.6	11.5	73.6	3.5	74.8
M.Romano	Lamone	21.9	44.4	>100	87.0	>200	113.8	94.4	114.2	15.4	115.6
Marradi	Lamone	13.0	41.2	82.8	83.0	>100	124.4	>100	128.6	46.5	131.2
Modigliana Arpa	Lamone	31.5	47.4	>100	87.6	>200	109.6	>100	115.8	21.4	117.4
Trebbio	Lamone	51.2	50.2	>200	96.4	>200	113.6	>100	115.2	21.8	118.0
Barco	Reno	27.8	50.2	>100	83.8	>200	117.6	48.4	118.8	9.6	128.0
Firenzuola	Reno	>100	67.8	>100	105.0	>200	167.0	>100	173.8	>100	178.4



Le piogge orarie registrate dai pluviometri dell'alto Santerno, illustrate nella Figura 10 e nella Tabella 2 che seguono, sono state le più intense dell'evento, con la stazione di Firenzuola (1928-2013) che ha fatto registrare **105 mm/3h**, **167 mm/6h** e **173 mm/12h** a fronte di riferimenti storici con base di 80 anni, pari a 109 mm/3h, 130 mm/6h e 159 mm/12h; le curve di probabilità pluviometrica calcolate per la stazione di Firenzuola mostrano come i tempi di ritorno per tutte le durate risultano pari o superiori al tempo di ritorno di 200 anni.

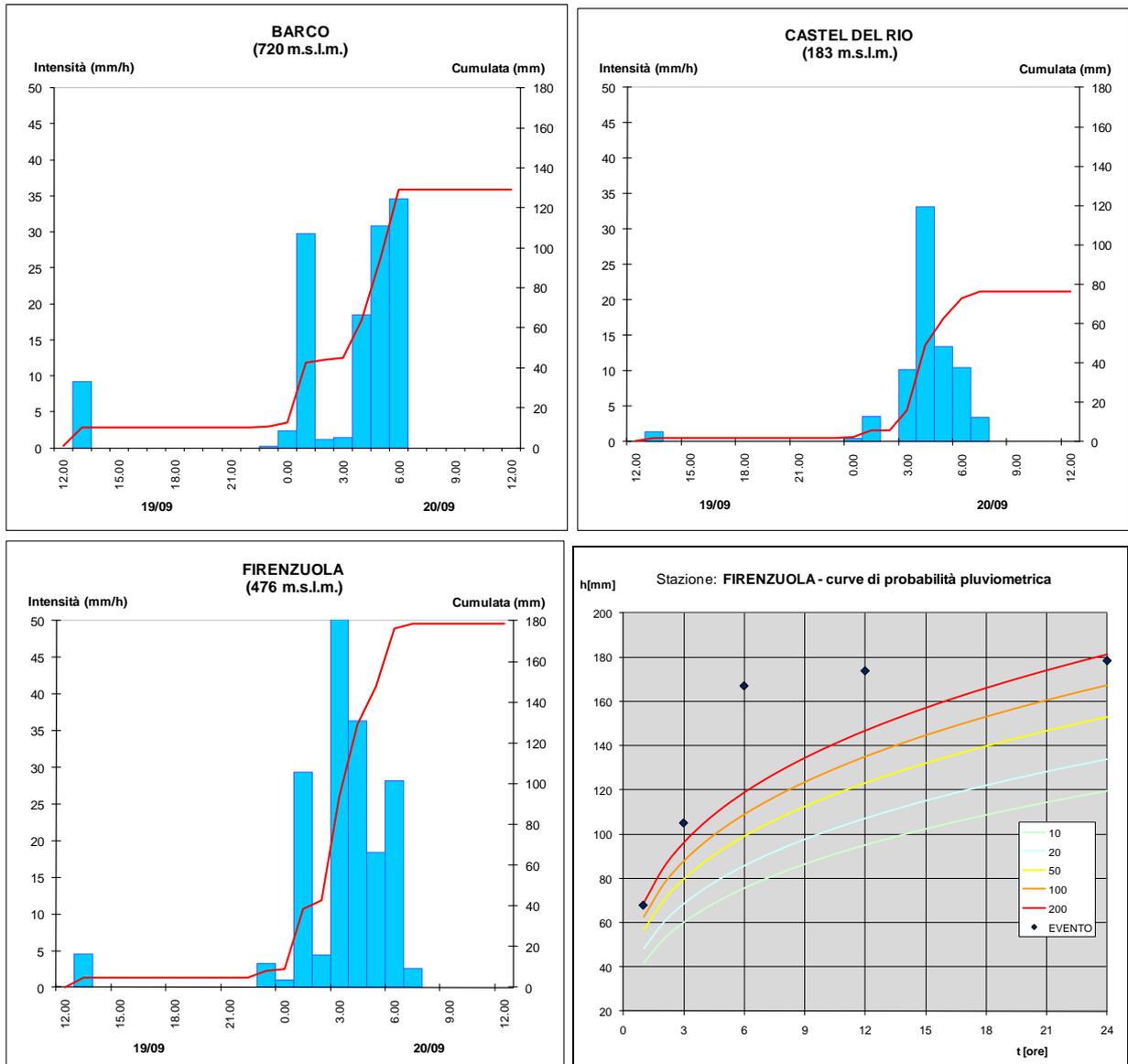


Figura 10: Pioggia oraria e cumulata nelle stazioni più significative del bacino montano del Santerno e curve di probabilità pluviometrica nella stazione di Firenzuola

Confrontando le massime intensità dell'evento con i valori massimi delle serie storiche disponibili (Tabella 2), è possibile osservare come l'evento in esame nel pluviometro di Firenzuola è il primo caso critico dal 1928, per tutte le durate maggiori di 6 ore, a Barco il primo caso critico dal 1990.

Tabella 2: Precipitazioni massime dell'evento per durate < 24 ore, a confronto con le precipitazioni massime storiche, nelle stazioni del bacino montano del Santerno e del Senio

STAZIONE	QUOTA m.s.l.m.	PIOGGE di max intensità del 20/09/14					PIOGGE di max intensità al 2013						
		1h	3h	6h	12h	24h	1h	3h	6h	12h	24h		
Santerno													
Barco	720	50.2	83.8	117.6	118.8	128.0	52.6	67.6	82.6	101.2	154.2		
Firenzuola	476	67.8	105.0	167.0	173.8	178.4	81.8	109.2	130.0	159.4	166.6		
Castel del Rio	183	33.2	57.0	72.0	74.6	76.0	79.6	98.6	102.6	118.2	131.2		
Borgo Tossignano	98	10.2	20.2	25.2	25.6	27.2	40.6	84.6	125.0	164.2	174.4		
Imola	42	5.2	11.4	15.0	15.4	17.2	36.0	47.0	71.8	112.4	131.6		
Senio													
Palazuolo sul Senio	500	37.0	101.0	137.8	138.4	140.0	35.8	56.8	78.6	97.2	129.8		
Casola Valsenio	154	17.8	37.0	45.8	46.6	48.6	45.2	66.4	80.2	97.2	135.0		

Anche nella stazione di Palazzuolo sul Senio le piogge di massima intensità registrate nell'evento in esame rappresentano il primo caso critico dal 1990. Le precipitazioni più intense (Figura 11) e le cumulate più elevate si sono verificate sul crinale tra Santerno e Senio (pluviometro di Monte Faggiola).

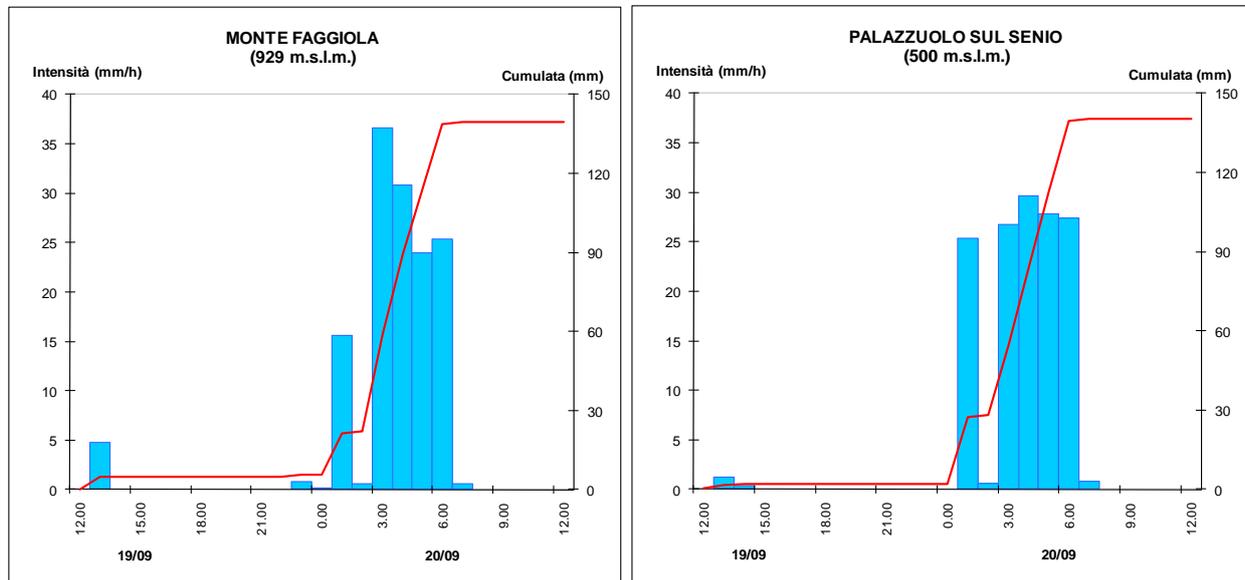


Figura 11: Pioggia oraria e cumulata nelle stazioni più significative del bacino montano del Santerno e Senio

Sul bacino del Lamone i pluviometri hanno registrato intensità e cumulate notevoli, con intensità massime che per le durate di tre e sei ore hanno raggiunto e in qualche caso superato i massimi storici (Tabella 3).

In particolare nella stazione di Trezzio le piogge di massima intensità registrate nell'evento sono le massime della serie storica dal 1941, con un tempo di ritorno per le durate di 6 e 12 ore superiore ai 200 anni, e di circa 100 anno per la durata di 3 ore (Figura 12).

Tabella 3: Precipitazioni massime dell'evento per durate < 24 ore, a confronto con le precipitazioni massime storiche, nelle stazioni del bacino montano del Lamone

STAZIONE	QUOTA m.s.l.m.	PIOGGE di max intensità del 20/09/2014					PIOGGE di max intensità al 2013				
		1h	3h	6h	12h	24h	1h	3h	6h	12h	24h
Lamone											
Marradi	350	41.2	83.0	124.4	128.6	131.2	63.0	83.2	125.0	138.0	139.4
S. Cassiano	226	38.2	71.6	89.0	89.4	91.6	55.6	76.6	96.0	118.0	151.0
Trezzio	334	36.0	87.2	133.6	141.6	141.6	57.8	84.2	100.0	109.8	113.6
Trebbio	570	50.2	96.4	113.6	115.4	118.2	-	-	-	-	-

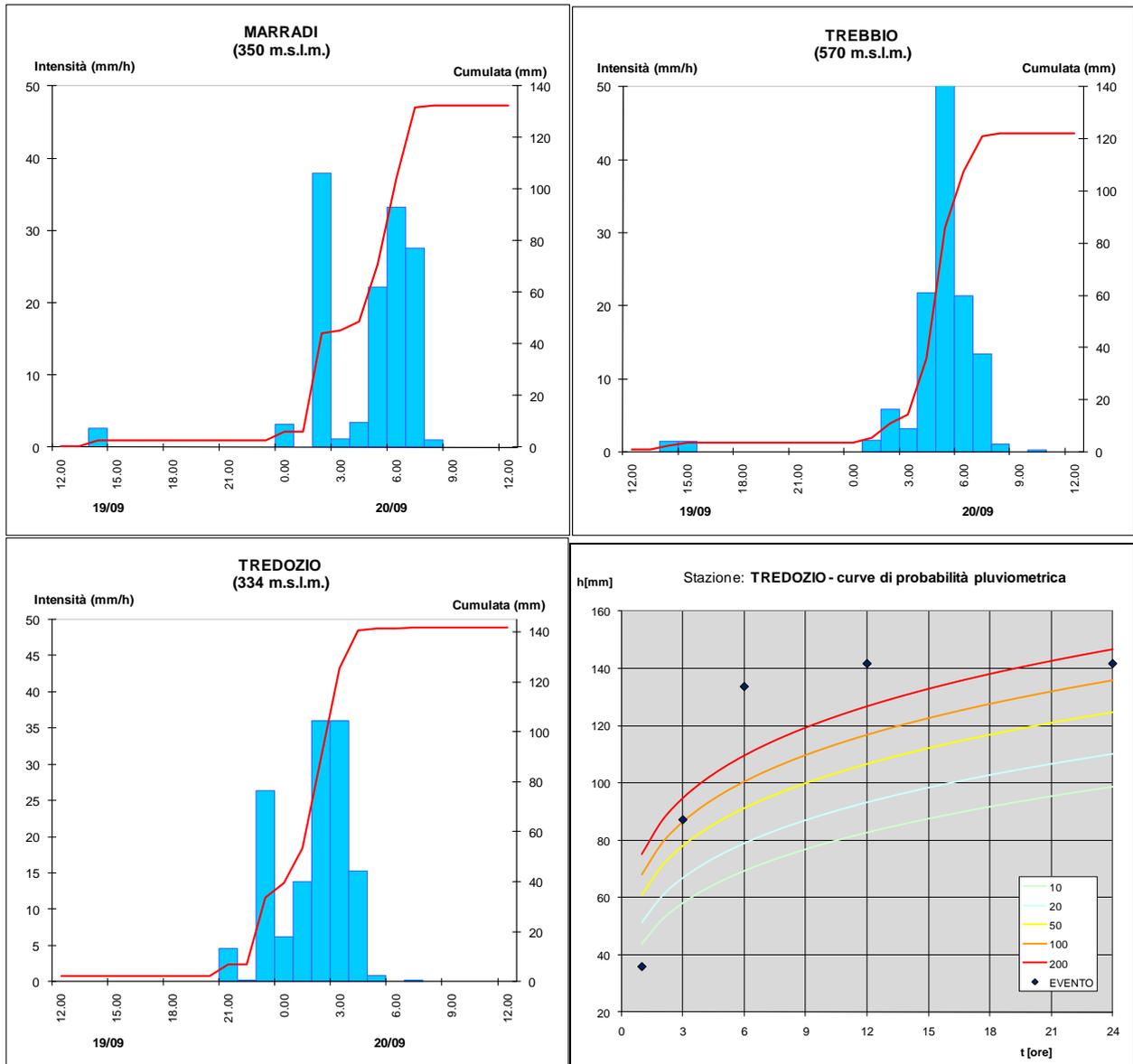


Figura 12: Pioggia oraria e cumulata nelle stazioni più significative del bacino montano del Lamone e curve di probabilità pluviometrica nella stazione di Trezzozio

Sul bacino del Montone invece, le massime intensità sono state registrate sul crinale occidentale lungo la linea di displuvio del bacino del Lamone, come è possibile osservare nella Figura 13 dove si riportano i pluvi grammi delle stazioni di Pratacci e di Modigliana (stazione in telemisura ubicata sul versante del bacino del Montone in prossimità della linea di displuvio).

Tabella 4: Precipitazioni massime dell'evento per durate < 24 ore, nelle stazioni del bacino montano del Montone

STAZIONE	QUOTA	Piogge di max intensità del 20/09/14				
		1h	3h	6h	12h	24h
Montone	m.s.l.m.					
Pratacci	750	60.0	84.8	98.8	98.8	104.4
Modigliana Arpa	556	46.0	87.6	109.6	115.8	117.4

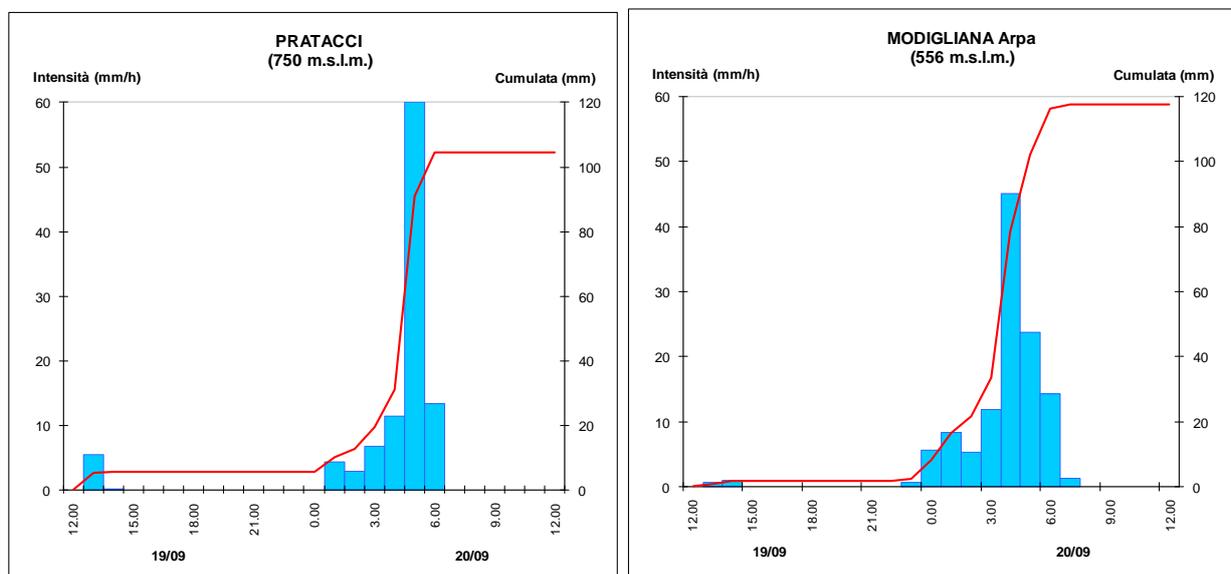


Figura 13: Pioggia oraria e cumulata nelle stazioni più significative del bacino montano del Montone

4.2. Propagazione della piena sui corsi d'acqua

Le piene fluviali che si sono sviluppate su Santerno, Senio, Lamone e Montone hanno avuto lo stesso comportamento impulsivo, facendo registrare un rapidissimo incremento di livello idrometrico nella fase di concentrazione ed una diminuzione altrettanto rapida in fase di esaurimento dell'onda, in ragione anche delle numerose esondazioni che si sono registrate lungo l'attraversamento del tratto montano del bacino.

Nelle tabelle e grafici che seguono sono riportate le schede di archiviazione delle piene per ciascun corso d'acqua con l'indicazione degli orari e dei livelli idrometrici al colmo di piena nelle varie sezioni strumentate da monte verso valle, nonché i relativi idrogrammi che descrivono la propagazione fino alle sezioni terminali di valle in tratto arginato.

FIUMI SANTERNO E SENIO

I colmi che sono stati raggiunti nelle prime sezioni di monte del fiume Santerno, come descritto nelle stesse schede di piena, hanno superato o raggiunto in molti casi i massimi storici registrati dalla strumentazione in telemisura esistente, che nel solo caso della stazione di Codrignano dispone di una serie di dati in telemisura a partire dal 1981.

In alcune sezioni come ad esempio quella di Borgo Tossignano alla traversa di Rineggio sul Santerno il livello registrato (2,53m) dallo strumento a monte della traversa stessa è stato inferiore al colmo di piena perché l'incremento idrometrico è stato tale da raggiungere il campo di "non lettura" strumentale del sensore ad ultrasuoni. E' stato comunque possibile ricostruire il colmo dalle tracce di piena ottenendo un valore di 3,16 m. Nel caso specifico di questa sezione inoltre, l'onda di piena è stata in grado di asportare un porzione considerevole del ciglio della traversa in calcestruzzo creando una gaveta centrale di circa 30 m per una profondità media di circa 50 cm (vedi **Foto**), pertanto anche il valore al colmo dedotto di 3,16 m potrebbe risentire del cambio di sezione del punto di misura durante l'evento stesso.



Foto 1: F. Santerno - Stazione di Borgo Tossignano – Traversa di Rineggio . Passaggio del colmo di piena alle ore 9:30 locali con 3,16 m con sormonto del ponte a valle (fonte SIAT)



Foto 2: F. Santerno - Stazione di Borgo Tossignano – Traversa di Rineggio dopo il passaggio dell'onda di piena.

Nella sezione più a valle alla traversa di Codrignano il colmo di piena ha raggiunto un livello di 1,79 (anche questo valore non rilevato, è stato dedotto dalle tracce di piena) che rappresenta il massimo storico dal 1981, ovvero dall'entrata in funzione della strumentazione idrometrica in telemisura.

In questa sezione esistono delle effemeridi storiche di altezze di massima piena di lunga durata anche se con strumentazione e riferimenti idrometrici diversi. Da una prima indagine sembra che il colmo di piena in questo punto sia paragonabile, se non di poco superiore, al colmo registrato nella piena del 4 novembre del 1966 (3,80 m con il riferimento storico equivalente ad un valore attuale di circa 1,75 m) . Un altro evento di piena, forse il più gravoso al momento conosciuto risale al 1° ottobre 1893 dove a Codrignano sono stati misurati 3,95 m rispetto al riferimento storico che dovrebbero corrispondere ad un'altezza idrometrica riferita all'attuale sensore di 1,90 m.

A monte della sezione di Borgo Tossignano in località Carseggio anche il ponte di via Macerato è stato danneggiato, mentre l'adiacente ponte bailey in disuso è stato distrutto dalla piena che ha determinato un incollo dell'onda in questa sezione con aggiramento del manufatto in sinistra idraulica. Questo episodio ha determinato un' ulteriore incremento che ha modificato leggermente il picco di piena già abbastanza pronunciato.

Il fenomeno è stato registrato bene alla traversa di Codrignano dove in fase di colmo con livello idrometrico di 1.75 m si è osservato prima un'apparente diminuzione dell'onda e poi una rapidissima risalita del livello a 1,79 m.



Foto 3: F. Santerno – Ponte di Carsegno (Via Macerato) poco a monte di Fontanelice

Più a valle nella sezione di Imola il colmo di piena è transitato dal ponte di via Dante, dove risulta posizionato l'idrometro, con un livello di 4,35 m alle ore 11:00 solari del 20 settembre con circa un metro di margine rispetto al sottotrave del ponte. Procedendo ancora verso valle alla chiusura del bacino montano, il colmo di piena, ridotto in volume per i numerosi fenomeni di allagamento e diffusione nelle aree inondabili, ha fatto il suo ingresso in pianura nel tratto arginato facendo registrare a Mordano un livello di 13,03 m alle ore 16:00.

In questa sezione, nonostante il livello idrometrico risulta inferiore soltanto al 1° caso critico di 13,25 m registrato il 23 dicembre del 2009, e quindi un dato ragguardevole per il tratto di pianura, si sono sentiti gli effetti di laminazione dovuti alle esondazioni del tratto montano con il passaggio della piena con livello idrometrico inferiore alla soglia di allarme (14,00 m).

Il ridotto volume di piena e le condizioni iniziali favorevoli di deflusso del fiume e non ultime le recenti operazioni di manutenzione delle sponde arginali, hanno determinato un'ulteriore riduzione del colmo di piena per effetto della laminazione dell'onda procedendo verso le sezioni terminali di valle fino allo sbocco in Reno come si può osservare dagli idrogrammi di Figura 14.

Anche l'evoluzione della piena del fiume Senio è stata caratterizzata da un rapidissimo incremento dei livelli idrometrici a monte con attenuazione dell'onda di piena nel tratto vallivo. Si sottolinea ancora il dato di precipitazione della stazione di Palazzuolo sul Senio che per le durate di 3 e 6 ore ha fatto registrare intensità rispettivamente di 101 e 137,8 mm dove i massimi precedenti conosciuti erano 56,8 mm in 3h e 78,6 mm in 6h. A Casola Val Senio la stazione idrometrica ha registrato un colmo alle ore 7:30 di 1,54 m che rappresenta il 1° caso critico della di serie disponibile distinguendosi nettamente dai precedenti colmi di piena, comunque con una serie limitata in questo caso a partire dal 2003. Non si hanno altre registrazioni di livello idrometrico nel bacino montano, ma anche in questo caso si sono registrati allagamenti ed esondazioni in più punti, anzi le prime criticità idrauliche del giorno 20 sono state segnalate in

questo bacino quando ancora la strumentazione di monitoraggio idrometrico non indicava una situazione critica imminente. Alla chiusura di bacino alla sezione di Castelbolognese il colmo di piena invece è stato più contenuto con un livello di 4,85 m alle ore 14:00. Procedendo verso valle la laminazione è stata favorita anche in questo caso dalle recenti operazioni di manutenzione fluviale ordinaria che hanno fatto sì che il passaggio alla sezione critica di Cotignola è avvenuto in sicurezza con un livello idrometrico di 14,05 m alle ore 19:00.



Foto 4: F. Senio (26/09/2014) – Ponte di Cotignola con evidente traccia della piena del 20 settembre in sponda sinistra.

Tabella 5: Scheda di archiviazione della piena dei fiumi Santerno e Senio

 <div style="text-align: right;">P06a14</div>									
Servizio Idro - Mete - Clima CENTRO FUNZIONALE EMILIA ROMAGNA									
BACINO DEL RENO TABELLA delle PUNTE MASSIME PIENA dei gg. 20 - 21 settembre									
Torrente SANTERNO									
Denominazione del SENSORE	Distanze		Attenzione H idr.ca	Punta max registrata			Tempi		Note
	parziali	progres.		H idr.ca	gior.	ora	parziali	progres.	
origine	0.0	0.0							
Borgo Tossignano (Rineggio)	39.0	39.0	1.5	3,16*	20	8.30	0.00	0.00	max livello dal 2002
CODRIGNANO	9.5	48.5	0.7	1,79*	20	9.30	1.00	1.00	max livello dal 1981
IMOLA	8.5	57.0	2.0	4.35	20	11.00	1.30	2.30	max livello dal 1995
MORDANO	19.0	76.0	9.5	13.03	20	16.00	5.00	7.30	
SANT'AGATA	6.5	82.5	9.4	12.46	20	18.30	2.30	10.00	
S. BERNARDINO	9.7	92.2	7.5	10.86	20	21.30	3.00	13.00	
sbocco in Reno	10.5	102.7							
Torrente SENIO									
Denominazione del SENSORE	Distanze		Attenzione H idr.ca	Punta max registrata			Tempi		Note
	parziali	progres.		H idr.ca	gior.	ora	parziali	progres.	
origine	0.0	0.0							
CASOLA VALSENO	22.4	22.4	-0.3	1.54	20	7.30	0.00	0.00	
CASTELBOLOGNESE	31.6	54.0	2.5	4.85	20	14.00	6.30	6.30	
COTIGNOLA	16.4	70.4	11.5	14.05	20	19.00	5.00	11.30	
FUSIGNANO	10.4	80.8	8.7	11.59	20	23.00	4.00	15.30	
ALFONSINE	7.8	88.6	8.3	9.72	21	1.00	2.00	17.30	
sbocco in Reno	6.4	95.0							
Note: Le piene di Santerno e Senio, determinate da precipitazioni medie cumulate nei tratti montani di 150 mm in 6-8 ore, hanno fatto registrare incrementi di livello notevoli con colmi che hanno superato anche i massimi storici Si sono avuti notevoli allagamenti diffusi oltre le zone di espansione fluviale fino alla chiusura dei bacini montani e questo ha favorito l'ingresso in pianura di una piena già laminata ma ancora in grado di far registrare livelli ragguardevoli * Livelli idrometrici rilevati dalle tracce di piena, per mancata lettura degli idrometri in telemisura									

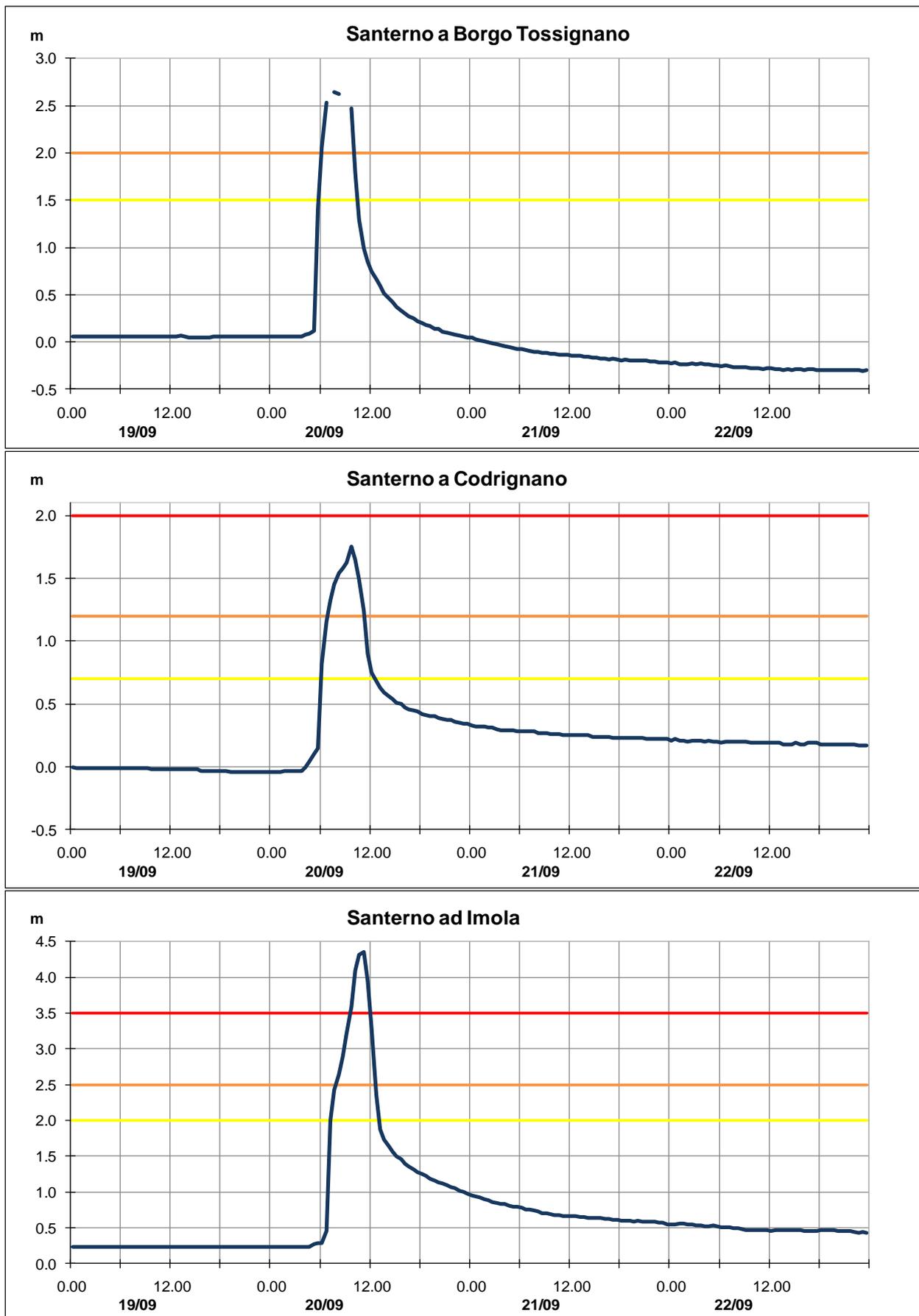


Figura 14: Propagazione della piena lungo le sezioni montane del Santerno

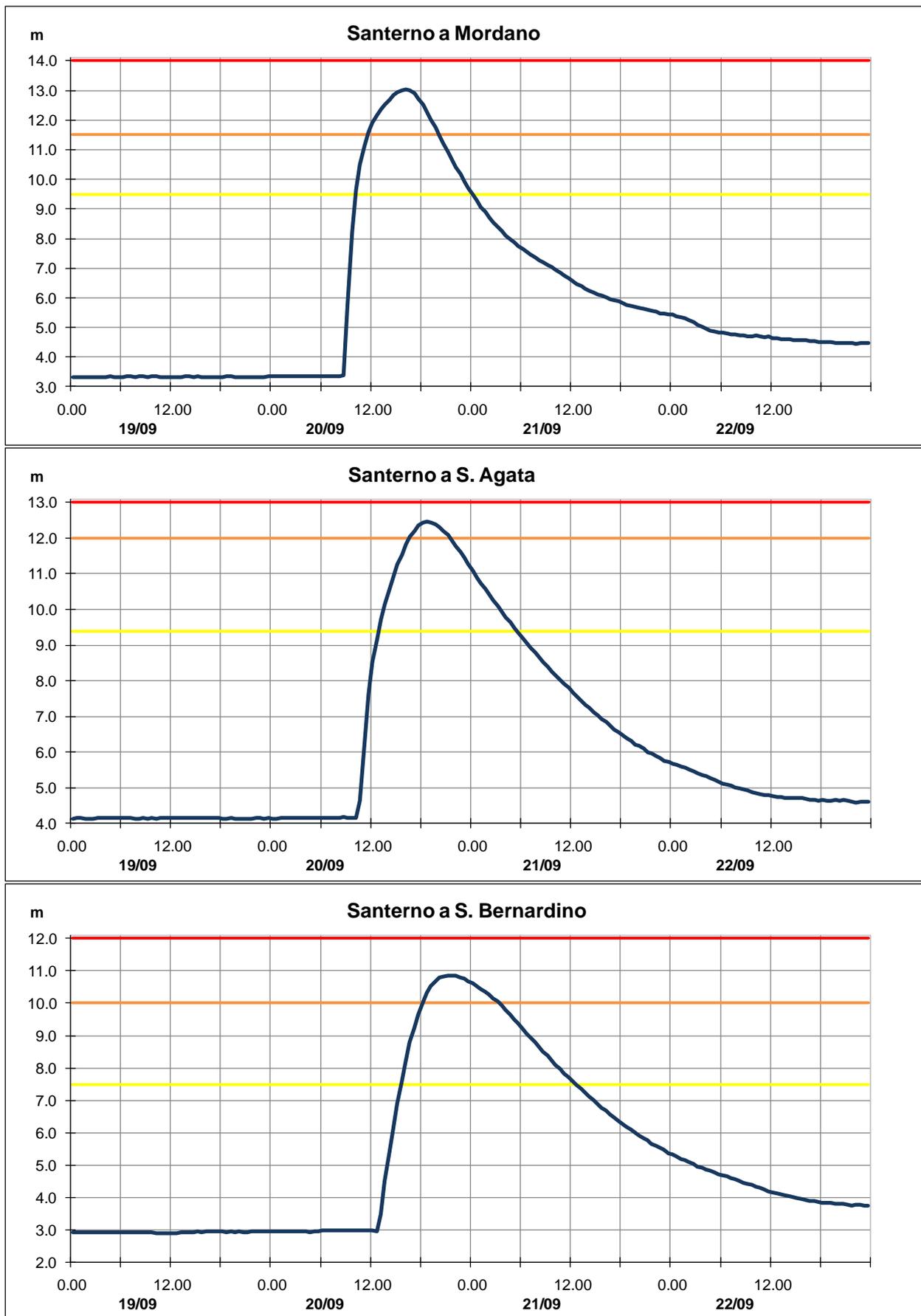


Figura 15: Propagazione della piena lungo le sezioni vallive del fiume Santerno

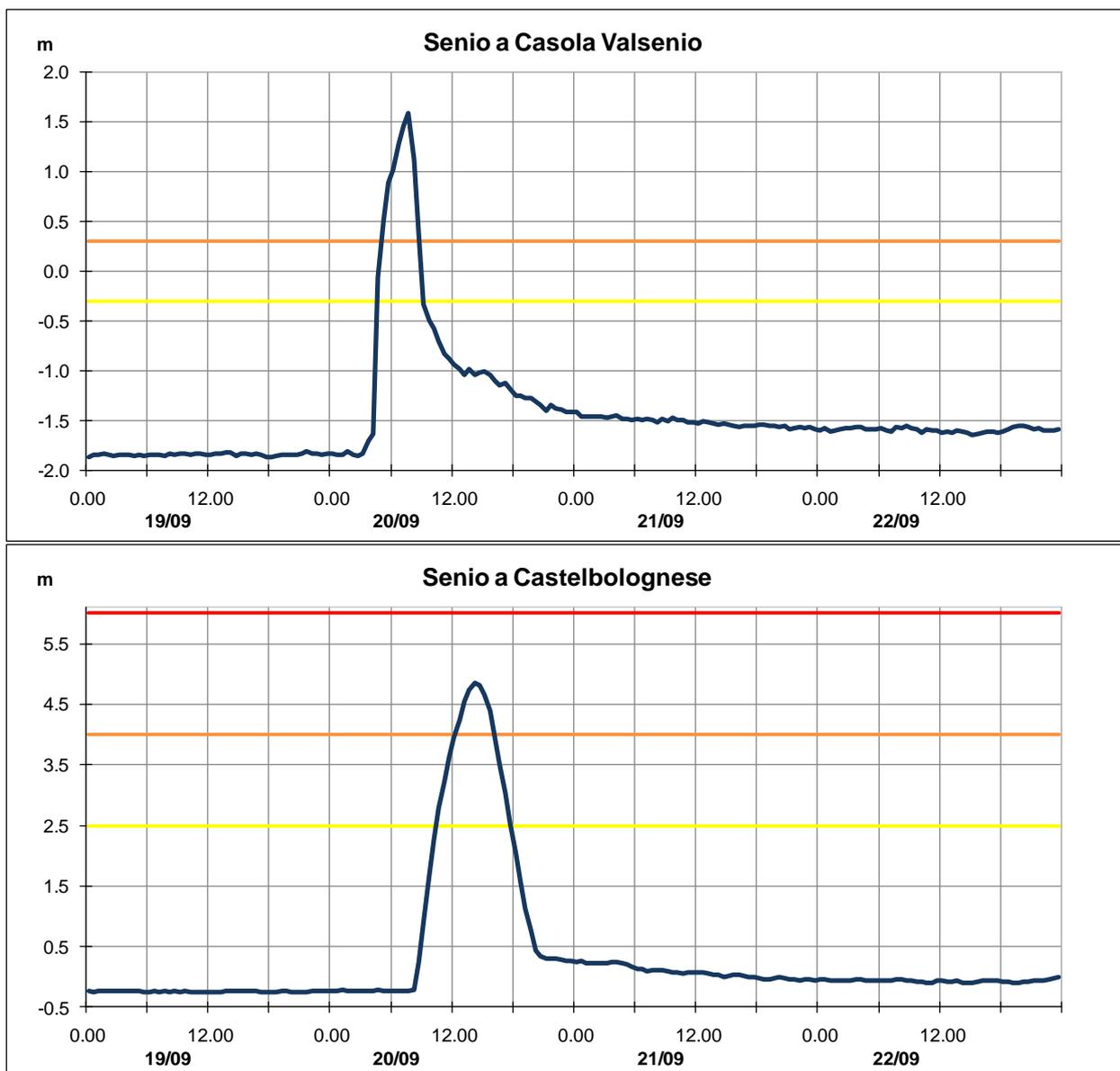


Figura 16: Propagazione della piena lungo le sezioni montane del fiume Senio

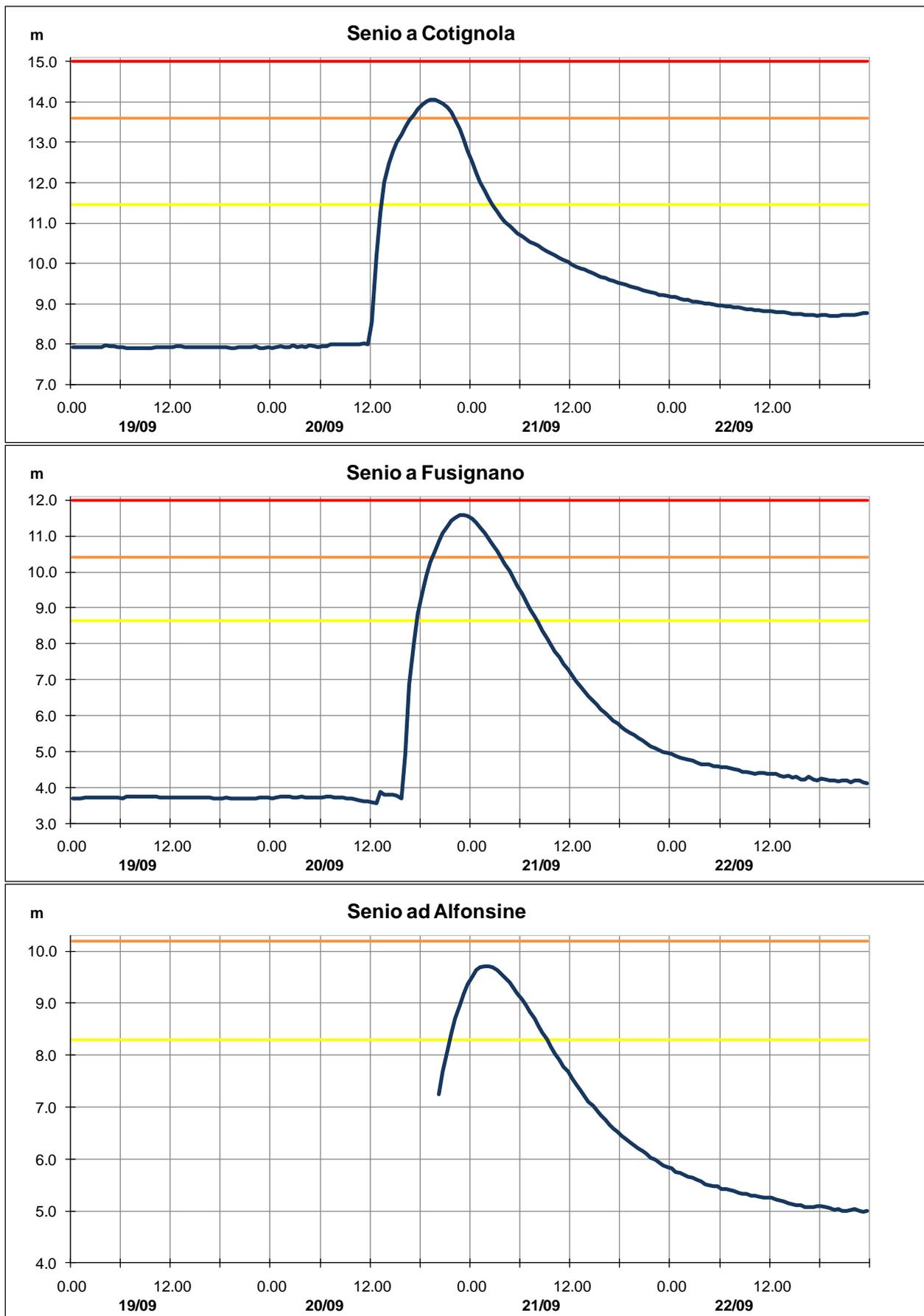


Figura 17: Propagazione della piena lungo le sezioni vallive del fiume Senio

FIUMI LAMONE E MONTONE

La piena del fiume Lamone e del fiume Montone ha fatto registrare su tutti gli idrometri di monte i livelli idrometrici massimi conosciuti dall'inizio della serie in telemisura ed oltre. In alcuni casi, come nella sezione di Lamone a Sarna il livello raggiunto è da considerarsi ancora provvisorio in quanto il colmo di piena ha intercettato il sensore stesso interrompendone il corretto funzionamento (vedi grafico di Figura 18) dove è stata mantenuta l'anomalia della registrazione idrometrica). Nel torrente Marzeno, affluente in destra del fiume Lamone alla sezione di chiusura di Rivalta è stato raggiunto un livello massimo di 5,49 m con un andamento dell'idrogramma al colmo piuttosto appiattito, causa le esondazioni che si sono avute a monte della sezione e che hanno limitato di fatto il raggiungimento di altezze idrometriche maggiori.

Si segnalano in particolare i valori di precipitazioni registrate a Tredozio che anche in questo caso per le durate di 6 e 12 ore hanno raggiunto i massimi storici rispettivamente con 133,6 mm e 141,6 mm, con tempi di ritorno superiori ai 200 anni. Nella sezione più a monte del torrente Marzeno a Modigliana si sono avute esondazioni, già nei primi tratti fluviali con un picco registrato alla stazione idrometrica di 3,12 m che rappresenta il massimo della serie e comunque da verificare, visto l'andamento anomalo dell'idrogramma causa il trasporto solido e l'irruenza della piena che ha danneggiato la zona di misura.

In pianura nel tratto arginato la piena del Lamone si è ridotta in volume per effetto delle esondazioni a monte, ma ha comunque raggiunto livelli ragguardevoli facendo registrare anche dei massimi come alla sezione di Reda con 8,37 m alle 17:00.

La piena del fiume Montone ha avuto analogo comportamento con precipitazioni a monte alle stazioni di Pratacci e Modigliana particolarmente intense. A Castrocaro il colmo di piena ha raggiunto il livello massimo della serie conosciuta con 3,73 m alle ore 11:00 con numerose esondazioni nello stesso tratto fluviale. Alla sezione di Forlì dopo la confluenza del Rabbi il fiume Montone ha raggiunto il livello idrometrico di 6,94 m alle 15:00 di poco superiore a livello di allarme e prossimo al massimo registrato nella serie di dati disponibile.

CONSIDERAZIONI SULLE PORTATE AL COLMO

Il transito dei colmi di piena che hanno interessato i fiumi in questione, hanno modificato durante il loro passaggio la configurazione stessa della sezione, oltre che produrre in vari tratti esondazioni che di fatto hanno ridotto progressivamente il volume delle onde di piena.

Di conseguenza le scale di portate andranno verificate in ogni sezione e ricalcolate alla luce di questo evento, anche per assegnare i valori stessi delle portate al colmo nei vari tratti.

Al momento si possono solo fare delle stime sull'entità del tempo di ritorno dell'evento limitatamente al tratto montano ascrivibile al tempo dei 200 anni, tenuto conto della distribuzione ed intensità della precipitazione nonché delle linee di esondazione osservate rispetto alle aree inondabili conosciute.

Tabella 6: Scheda di archiviazione della piena dei fiumi Lamone e Montone

Servizio Idro - Meteo - Clima										P03a14
CENTRO FUNZIONALE EMILIA ROMAGNA										
BACINI ROMAGNOLI										
TABELLA delle PUNTE MASSIME										
PIENA dei gg. 20-21 settembre 2014										
Fiume LAMONE										
Denominazione del SENSORE	Distanze		Guardia H idr.ca	Punta max registrata			Tempi		Note	
	parziali	progres.		H idr.ca	gior.	ora	parziali	progres.		
origine	0.0	0.0								
MARRADI	15.1	15.1	0.80	2.56	20	6.00	-	0.00	max livello serie in telemisura	
STRADA CASALE	18.8	33.8	1.00	2.86	20	7.30	1.30	1.30	max livello serie in telemisura	
SARNA	20.1	54.5	2.00	(4,51)	20	10.30	3.00	4.30	max livello serie in telemisura	
confluenza Marzeno	12.7	67.2								
FAENZA	1.6	68.8	3.50	6.59	20	15.00	4.30	9.00	max livello serie in telemisura	
REDA	7.7	76.5	5.00	8.37	20	17.00	2.00	11.00	max livello serie in telemisura	
PIEVE CESATO	4.2	80.7	4.50	7.38	20	19.00	2.00	13.00	pari al max livello	
P.ALBERGONE	11.3	92.0	5.50				-	-	fuori uso	
MEZZANO	9.5	101.5	4.50	6.47	21	2.00	7.00	20.00		
sbocco in mare	18.7	120.2								
Torrente MARZENO										
Denominazione del SENSORE	Distanze		Guardia H idr.ca	Punta max registrata			Tempi		Note	
	parziali	progres.		H idr.ca	gior.	ora	parziali	progres.		
origine	0.0	0.0								
MODIGLIANA	21.1	21.1	0.40	3.12	20	7.00	-	0.00	max livello serie in telemisura	
RIVALTA	24.9	46.0	2.50	(5,49)	20	9.30	2.30	2.30	max livello serie in telemisura	
sbocco in Lamone	7.6	53.5								
Fiume MONTONE - Fiumi UNITI										
Denominazione del SENSORE	Distanze		Guardia H idr.ca	Punta max registrata			Tempi		Note	
	parziali	progres.		H idr.ca	gior.	ora	parziali	progres.		
origine	0.0	0.0								
ROCCA.S.CASCIANO	28.7	28.7	0.50	1.74	20	7.30	-	0.00	max livello serie in telemisura	
CASTROCARO	22.7	51.4	1.30	3.73	20	11.00	3.30	3.30	max livello serie in telemisura	
confluenza Rabbi	12.4	63.7								
FORLI'	1.9	65.6	3.50	6.94	20	15.00	4.00	7.30	prossimo al max	
P.BRALDO	6.1	71.7	4.50	7.36	20	16.30	1.30	9.00		
P.VICO	9.7	81.4	4.50	6.85	20	19.30	3.00	12.00		
S.MARCO	13.9	95.4	*2.30	3.36	20	23.00	3.30	15.30		
confluenza Ronco	2.7	98.1								
RASPONI	5.9	104.0	*3.00	3.64	20	19.30				
sbocco in mare	3.8	107.8								
Fiume RABBI										
Denominazione del SENSORE	Distanze		Guardia H idr.ca	Punta max registrata			Tempi		Note	
	parziali	progres.		H idr.ca	gior.	ora	parziali	progres.		
origine	0.0	0.0								
PREDAPPIO	35.5	35.5	0.70	1.68	20	10.00	-	0.00		
P.CALANCA	12.2	47.6	0.90	1.40	20	11.30	1.30	1.30		
sbocco in Montone	10.3	57.9								
Fiume RONCO										
Denominazione del SENSORE	Distanze		Guardia H idr.ca	Punta max registrata			Tempi		Note	
	parziali	progres.		H idr.ca	gior.	ora	parziali	progres.		
origine	0.0	0.0								
S.SOFIA	23.0	23.0	0.90	0.74	20	7.00	-	0.00		
confluenza Voltre	30.4	53.5								
MELDOLA	2.3	55.7	0.60	1.02	20	9.00	2.00	2.00		
RONCO	17.3	73.1	4.00	3.83	20	12.30	3.30	5.30		
COCCOLIA	11.5	84.5	4.00	3.89	20	15.00	2.30	8.00		
S.BARTOLO	9.6	94.2	*4.50	4.70	20	14.30				
sbocco in Montone - F.Uniti	4.1	98.3								
Note:										
Si sono avuti notevoli allagamenti diffusi oltre le zone di espansione fluviale fino alla chiusura dei bacini montani e questo ha favorito l'ingresso in pianura di una piena già laminata ma ancora in grado di far registrare livelli ragguardevoli, che progressivamente nei tratti terminali allo sbocco si sono attenuati rapidamente. I livelli al colmo indicati tra parentesi a Sama e Rivalta sono provvisori, da confermare.										

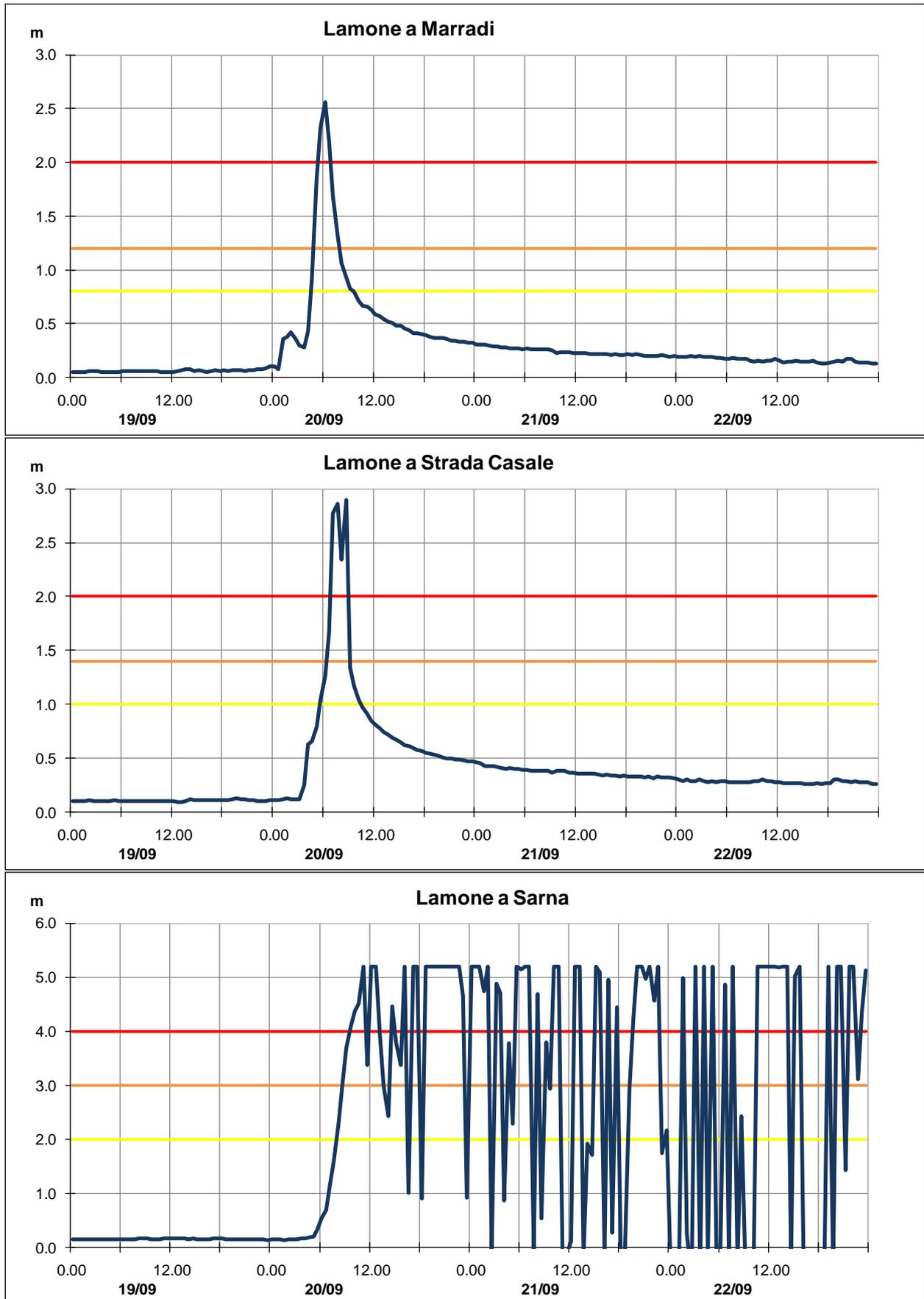


Figura 18: Propagazione della piena lungo le sezioni montane del fiume Lamone

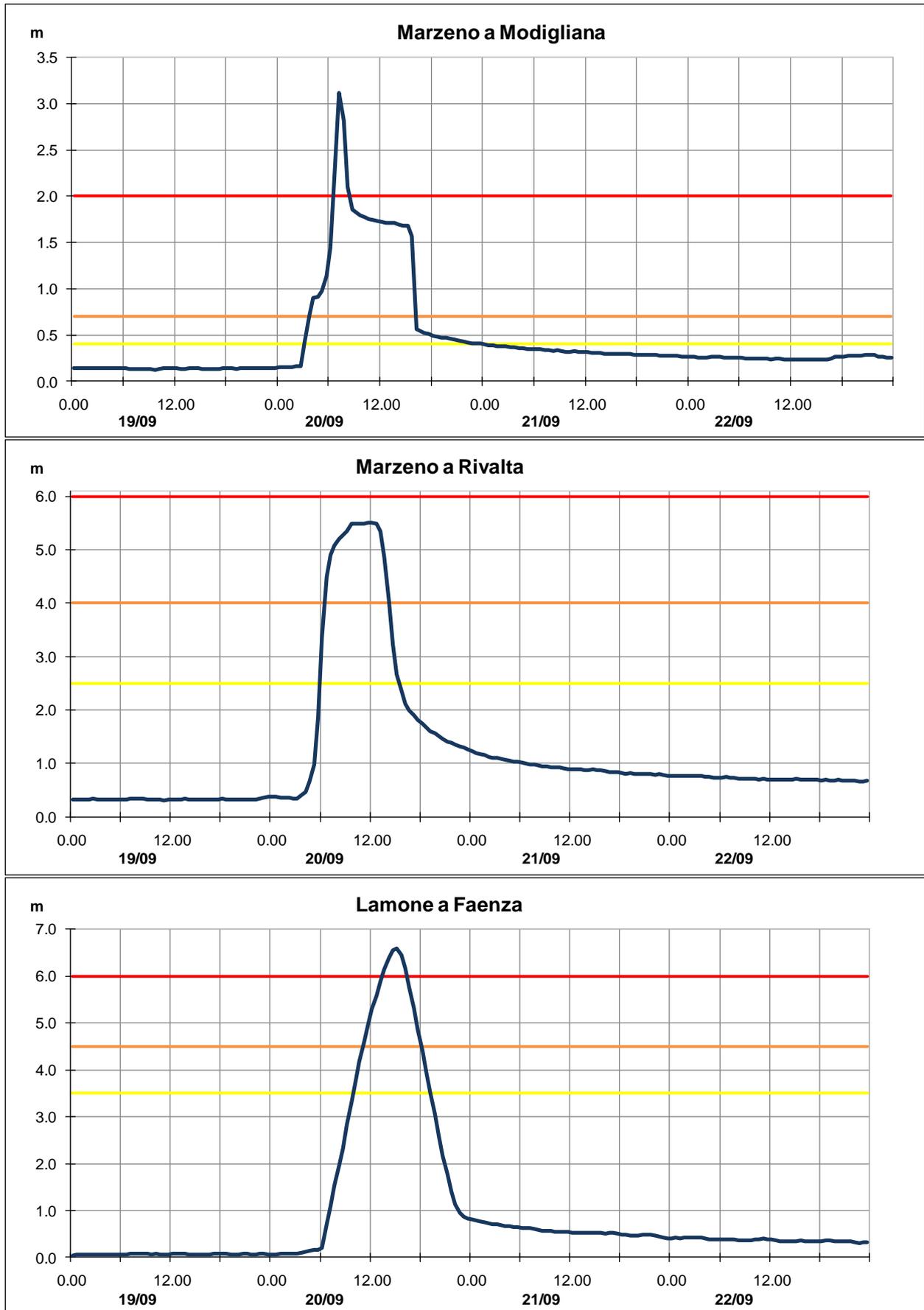


Figura 19: Propagazione della piena lungo le sezioni montane del Marzeno e alla confluenza con il Lamone

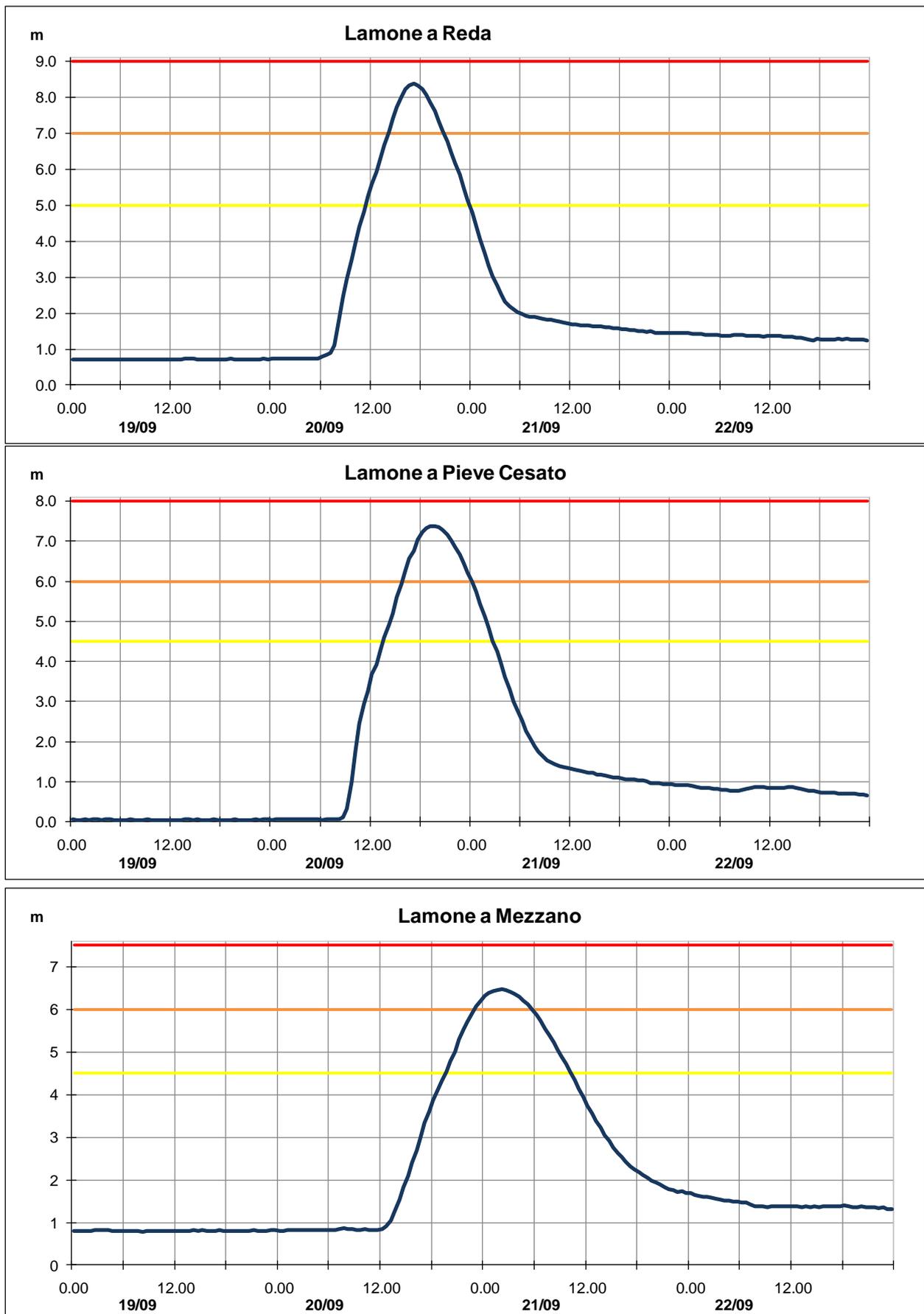


Figura 20: Propagazione della piena lungo le sezioni vallive del fiume Lamone

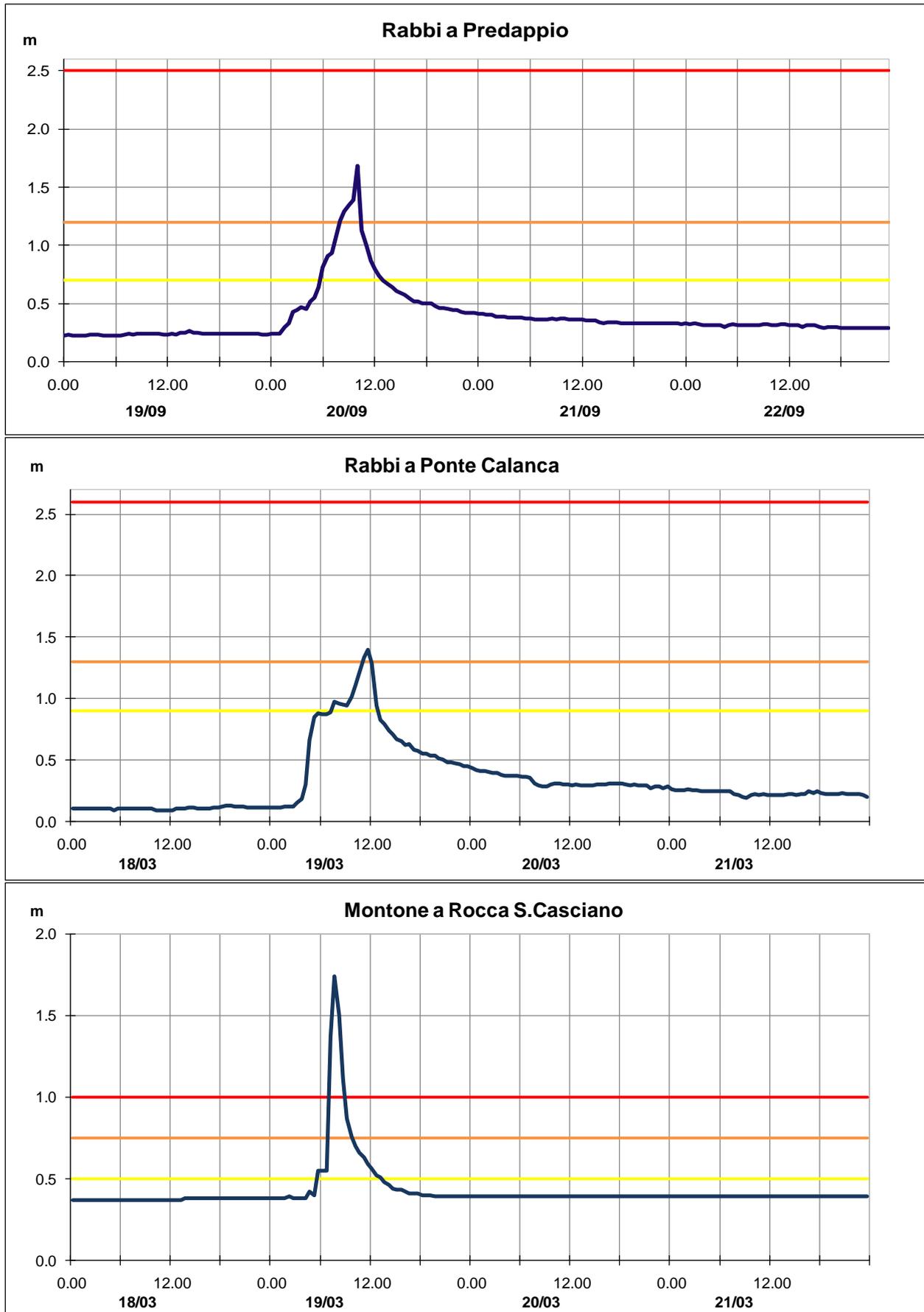


Figura 21: Propagazione della piena lungo le sezioni montane del Rabbie del Montone

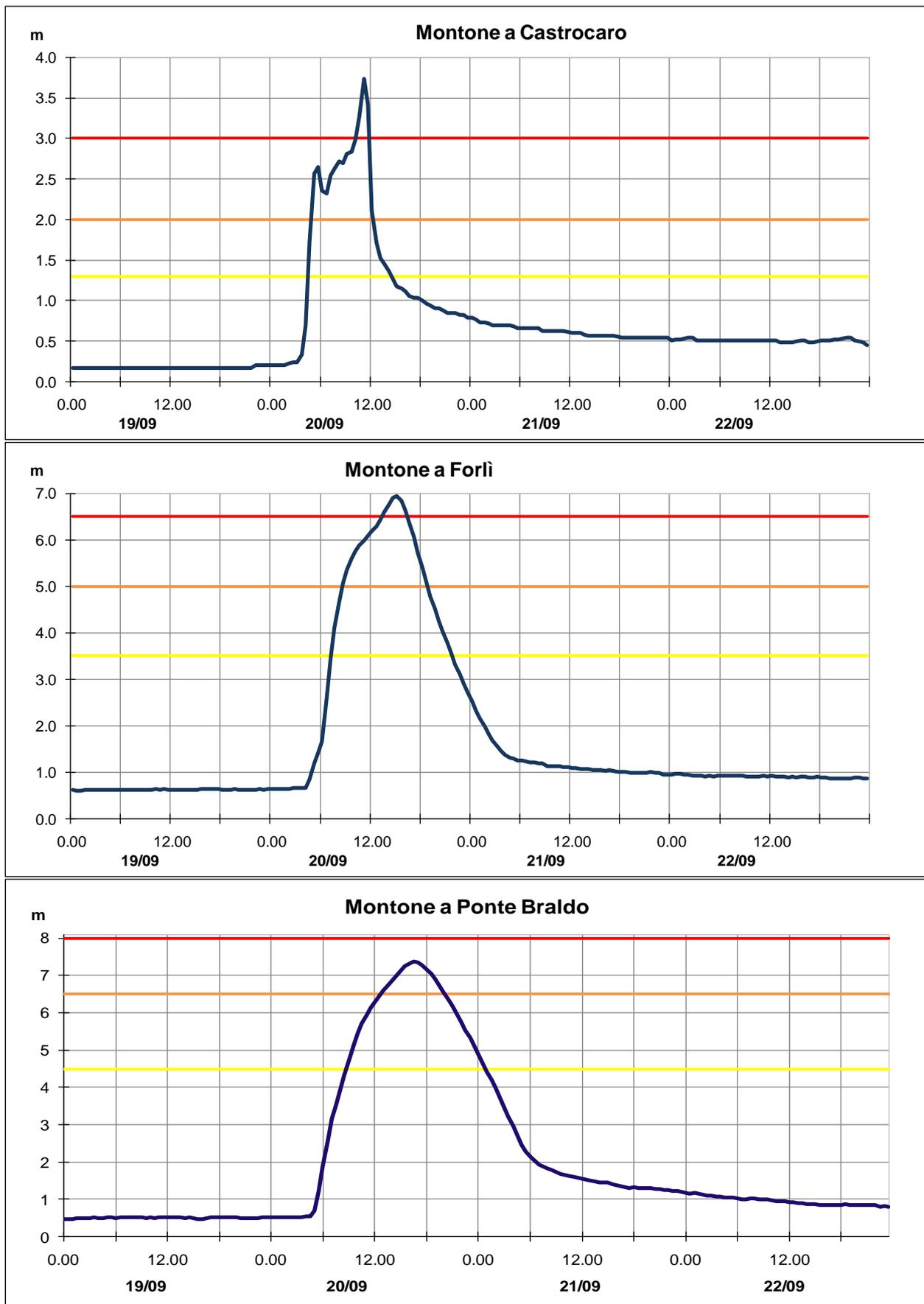


Figura 22: Propagazione della piena lungo le sezioni vallive del fiume Montone

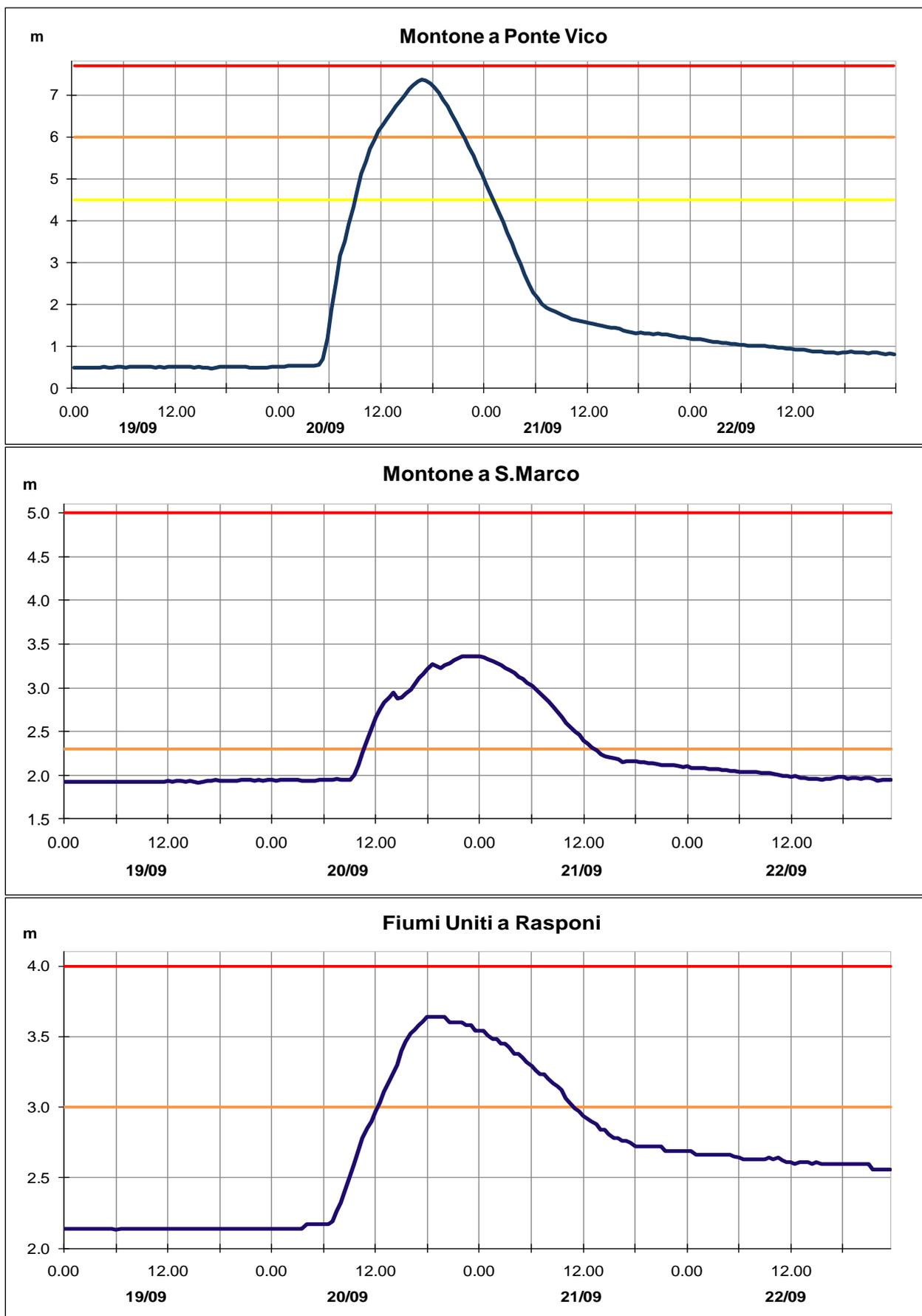


Figura 23: Propagazione della piena lungo le sezioni vallive del fiume Montone e alla confluenza Fiumi Uniti

5. LE ATTIVITÀ DI PREVISIONE E MONITORAGGIO DEL CENTRO FUNZIONALE

Come descritto nei primi paragrafi, la modellistica meteorologica di cui al momento si dispone, a tutte le risoluzioni, non è stata in grado di prevedere il fenomeno meteorologico in esame con un anticipo temporale sufficiente ad emettere un Avviso Meteo e un Avviso di Criticità idrogeologica e idraulica il giorno precedente l'evento.

L'evento meteorologico e le conseguenti piene fluviali sono state seguite e monitorate in tempo reale, nella loro rapidissima evoluzione, con l'emissione di 5 Bollettini di monitoraggio, dalle ore 9:00 di sabato 20 settembre, alle ore 9:00 di domenica 21.

6. CONCLUSIONI E RAFFRONTO CON GLI EVENTI DEL PASSATO

Questo evento è stato quindi originato dalla formazione di un sistema convettivo complesso e organizzato sottovento alla catena appenninica, che ha scaricato rilevanti quantità di precipitazioni su aree vaste (a scala di bacino) in brevissimo tempo (6 ore). Altra caratteristica è che è accaduto di notte. E' molto interessante notare come da una analisi, basata sugli annali del Servizio Idrografico e da altre fonti storiche, i precedenti maggiori eventi di piena del bacino del Reno siano accaduti di notte con una tipologia simile a quella del 20 settembre. Riportiamo qui di seguito un breve estratto dei tre principali eventi di piena sul bacino montano del Reno.

La piena storica del Reno del 1 Ottobre del 1893, che determinò un livello alla Chiusa di Casalecchio pari a 4,5 m (finora imbattuto), con il cedimento della Chiusa stessa, fu originata da fortissimi temporali in appennino come descritto in questo documento: *“Nessuno, a Casalecchio, infatti sapeva che quel temporale per cui erano rimasti svegli parte della notte, era stato ben peggiore su tutto il crinale appenninico, anzi era stato un vero nubifragio di inaudita violenza, con frane, smottamenti, tracimazione di tutti i corsi d'acqua. Tanto diavolerio era il centro di una ampia area ciclonica che aveva investito, con effetti disastrosi, mezza Europa e particolarmente il centro e nord Italia [...] i ponti ferroviari di Riola e Pioppe di Salvaro erano crollati, interrompendo le comunicazioni con Roma. Vittime c'erano state alla Lama di Marzabotto, Casteldebole, Bertalia, mentre molte persone vennero salvate da improvvisati soccorritori, dai Carabinieri e dal Genio Militare. Alle due del pomeriggio il Ponte della Ferrovia Milano-Bologna, a valle del Pontelungo “...saltò, come si trattasse di un fuscello di paglia...” (cronaca dal “Resto del Carlino”) ”¹.*

Altro evento simile è quello che ha colpito il bacino del Reno e del Santerno il 27 settembre 1932, per il quale l'annale idrologico riporta: *“...detti bacini furono interessati da una propaggine di un eccezionale nubifragio verificatosi nella notte fra il 26 e il 27 settembre sul contiguo versante della Toscana. Il massimo valore di pioggia è stato registrato ad Acquerino con 236,4 mm”*. A seguito di questo nubifragio, che sul Santerno fece cadere quantità d'acqua paragonabili o leggermente inferiori all'evento in esame (130mm/6h a Firenzuola), sul corso d'acqua vennero registrati i massimi incrementi di livello dell'anno.

E ancora, la notte fra il 5 e il 6 Ottobre del 1937 un nubifragio di eccezionale violenza colpì la parte alte dei bacini di Reno e i suoi affluenti di destra scaricando circa 200 mm in poche ore

¹ La “Grande Piena” del 1893, tratto Casalecchio Notizie (<http://www.comune.casalecchio.bo.it/servizi/Menu/dinamica.aspx?idSezione=58750&idArea=56885&idCat=56901&ID=58819&TipoElemento=Categoria>)

durante l'intero evento. Piena storica sul Reno a Porretta e sul Santerno a Borgo Tossignano dove vennero registrati $936 \text{ m}^3/\text{s}$ ed il livello massimo mai registrato di 4,80 m.

Queste testimonianze del passato, alla luce di quanto recentemente accaduto e delle conoscenze nel frattempo acquisite sulla fenomenologia convettiva a mesoscala, che quindi contempla, come abbiamo visto, anche fenomeni molto più intensi della media, acquistano ora una importanza diversa. Esse infatti fanno supporre che seppur rari questi fenomeni possano essere stati all'origine di grandi alluvioni del passato, in particolare di quelle registrate nei mesi non ancora propriamente autunnali/invernali. Se questo fosse vero dovremmo rivedere la percezione comune che le grandi piene fluviali sulla nostra regione siano associate esclusivamente a episodi di prolungate piogge autunno/invernali, ad evoluzione più lenta e ben prevedibili dalla modellistica numerica, sulle quali è stato basato il sistema di allertamento. Questi nubifragi, capaci di mandare in piena un intero bacino fluviale nel giro di poche ore, pongono infatti nuove sfide al sistema di allertamento regionale che dovrà mettere in grado una strategia per misurarsi con eventi ancora poco prevedibili, anche a brevi scadenze temporali (ore invece che giorni) e che per la loro rapidità e intensità offrono margini d'allertamento molto ridotti.

**Arpa Emilia-Romagna
Via Po 5, Bologna**

051 6223811

www.arpa.emr.it

**Servizio IdroMeteoClima
Viale Silvani 6, Bologna**

+39 051 6497511

www.arpa.emr.it/sim