



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

Rapporto sulla piena del novembre 2002 in Lombardia

FIUMI LAMBRO E ADDA SOTTOLACUALE

2^a VERSIONE

Parma, aprile 2003

Indice

1. Premessa	4
2. Inquadramento meteorologico	4
3. Precipitazioni.....	5
4. Deflussi	14
4.1. Bacino del fiume Adda sottolacuale	15
4.1.1. Fiume Brembo	15
4.1.2. Fiume Adda sottolacuale	16
4.1.3. Fiume Serio	19
4.1.4. Ricostruzione dell'evoluzione dell'onda di piena attraverso un modello numerico di propagazione	20
4.2. Fiume Lambro	26
5. Delimitazione dei campi di allagamento attraverso l'interpretazione delle fotografie aeree	29
5.1. Premessa	29
5.2. Delimitazione dei campi di allagamento	32
5.3. Cartografia.....	33
5.4. Effetti dell'evento alluvionale	34
Allegato 1	Massime intensità di pioggia nelle stazioni di misura per durate da 1 a 24 ore e da 1 a 5 giorni
Allegato 2	Distribuzione planimetrica delle piogge intense per durata da 1 a 24 ore e da 1 a 5 giorni
Allegato 3	Delimitazione dei campi di allagamento

RINGRAZIAMENTI

Le elaborazioni idrologiche contenute nel seguente rapporto sono state possibili sulla base dei dati pluviometrici e idrometrici che sono stati forniti all'Autorità di bacino dai seguenti Enti:

- Regione Lombardia – ERSAF - ERSAL
- Regione Lombardia – ARPA – Ufficio Idrografico di Milano
- Regione Emilia-Romagna – ARPA – Ufficio Idrografico Parma
- AIPO – Ufficio studi progettazioni e ricerche - Coordinamento Servizio di piena
- Consorzio dell'Adda
- Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca

Si ringraziano tutti i funzionari degli uffici citati per la grande disponibilità manifestata, il lavoro svolto per l'estrazione delle informazioni di interesse dai dati prodotti dalle rispettive reti di monitoraggio e la tempestività con cui sono state fornite le informazioni.

1. Premessa

Viene presentata una descrizione, prevalentemente sotto l'aspetto idrologico, dell'evento alluvionale di piena che ha interessato i bacini dei fiumi Brembo e Adda sottolacuale in Lombardia, nella seconda metà del novembre 2002.

Lo scopo è di fornire le prime elaborazioni degli elementi conoscitivi disponibili, in forma utile alla caratterizzazione della gravosità dell'evento e alla prosecuzione delle attività in corso da parte degli studi che interessano i corsi d'acqua principali del bacino idrografico dell'Adda.

Le valutazioni che seguono sono relative alle precipitazioni intense che hanno interessato i bacini idrografici dei corsi d'acqua principali (Lambro, Adda, Brembo e Serio) e alle onde di piena sugli stessi corsi d'acqua. Sono inoltre riportate, per una parte dell'asta dell'Adda, le delimitazioni delle aree allagate, confrontate con valutazioni circa l'assetto morfologico dell'alveo e la consistenza delle opere idrauliche presenti.

2. Inquadramento meteorologico

L'evento alluvionale, che ha interessato i bacini del Lambro e dell'Adda nei giorni 23 – 27 novembre 2002, si inquadra in una situazione meteorologica che ha inizio il 12 novembre con una depressione atlantica in avvicinamento verso l'Italia e interessa gran parte della regione Lombardia.

Il giorno 12 il fenomeno meteorologico provoca deboli precipitazioni che si protraggono anche per tutta la giornata successiva.

Il graduale spostamento verso est del centro depressionario favorisce la rotazione delle correnti da sud-ovest a partire dal giorno 13, che apportano un notevole flusso di umidità a tutte le quote.

Nei giorni successivi, 14, 15 e 16, la circolazione depressionaria continua a richiamare aria calda dal Mediterraneo che, associata all'avvenzione di aria molto fredda in quota, determina condizioni di elevata instabilità. La situazione dà luogo a precipitazioni diffuse su tutta la Lombardia, localmente anche intense, con precipitazioni nevose al di sopra dei 2000 m s.m. (intense in val Chiavenna e Valtellina).

Il giorno 16 le correnti in quota si dispongono da sud, provocando un effetto di sbarramento lungo la catena alpina e prealpina, che induce ancora precipitazioni intense sui rilievi, mentre in pianura le intensità di pioggia sono modeste.

Nei giorni successivi, fino 22 novembre, si ha un progressivo indebolimento delle precipitazioni diffuse su tutta la regione, correlate al progressivo esaurirsi della depressione originaria e al formarsi, sull'Atlantico di una nuova formazione depressionaria.

Il 23 novembre si ha una breve interruzione della situazione depressionaria, seguita, il 24, dal sopraggiungere della nuova depressione atlantica che abbraccia gran parte dell'Europa occidentale e che richiama aria calda e umida dal Mediterraneo che alimenta le precipitazioni.

Il passaggio della depressione è rallentato dall'anticiclone presente sia a terra che in quota sull'Europa orientale ed è destinato a caratterizzare la situazione meteorologica fino al 27 novembre, giornata in cui progressivamente si esaurisce la sua attività.

Il persistente afflusso di aria calda e umida dal nord Africa, associato all'avvenzione di aria fredda e umida che scende dall'Atlantico porta a diffuse manifestazioni temporalesche sulla pianura centro-orientale della regione e comunque a precipitazioni di elevata intensità su gran parte della regione.

3. Precipitazioni

L'analisi delle precipitazioni intense è riferita al periodo 23 – 27 novembre, in cui si sono manifestate le onde di piena lungo i corsi del Lambro, dell'Adda e del Brembo; nella comprensione dei fenomeni di deflusso che hanno caratterizzato i corsi d'acqua non deve per altro essere trascurato il periodo precedente, dal 12 al 22, nel corso del quale le consistenti precipitazioni, sia in termini di valori complessivi che di numero di giorni piovosi, hanno contribuito alla saturazione del suolo nei bacini idrografici e a provocare in tutti i corsi d'acqua principali condizioni di deflusso elevate.

Le precipitazioni dell'ultimo periodo hanno infatti trovato, per il bacino dell'Adda, condizioni idrologiche molto favorevoli alla formazione delle piene, essendo esaurita o molto ridotta la capacità di infiltrazione e di invaso dei bacini idrografici. Per il bacino del Lambro gli afflussi hanno interessato prima la zona meridionale del bacino e successivamente la parte settentrionale e ciò non ha determinato il sovrapporsi delle onde di piena naturali ed urbane.

Nelle valutazioni che seguono vengono considerate le stazioni pluviometriche ubicate all'interno dei bacini idrografici dell'Olona, del Lambro e dell'Adda sottolacuale e in parte dell'Adda sopralacuale, in modo da poter rappresentare con migliore attendibilità la distribuzione delle piogge sugli interi bacini idrografici.

Tab. 1 Altezze di pioggia registrata nei giorni 23 – 27 novembre 2002 nelle stazioni pluviometriche dei bacini idrografici di Olona, Lambro e Adda

Stazione	Sottobacino	Altezza di pioggia giornaliera (mm)					Totale evento (mm)
		23/11	24/11	25/11	26/11	27/11	
Branzi	Brembo	4.2	53.4	84.6	68	3.4	213.6
Carona	Brembo	1.4	3.4	136.2	248.0	42.2	431.2
Mezzoldo	Brembo	4.3	63.3	66.9	77.4	7.6	219.5
Piazza Brembana	Brembo	7.0	78.2	73.8	119.8	10.4	289.2
Valtorta	Brembo	2.4	62.0	104.4	124.6	10.8	304.2
Olda	Brembo	6.6	61.8	71.4	109.3	13.9	263.0
Oltre il Colle	Brembo	6.0	90.8	87.4	132.4	9.5	326.1
Rotafuori	Brembo	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
Brembate	Brembo	2.4	46.0	56.6	136.4	16.8	258.2
Treviolo	Brembo	3.2	29.0	25.6	71.2	5.6	134.6
Como	Lago di Como	2.8	59.6	68.8	108.4	29.4	269.0
Bellano	Lago di Como	2.0	41.8	76.6	80.0	19.2	219.6
Olginate	Adda Sottolacuale	4.4	93.8	77.2	95.0	9.4	279.8
Medolago	Adda Sottolacuale	4.0	45.0	47.6	100.8	12.0	209.4
Bodengo	Mera	0.8	48.6	69.0	63.0	15.6	197.0
San Fedele	Mera	2.8	59.4	81.4	105.0	34.2	282.8
Albino	Serio	3.8	45.0	23.8	45.2	8.2	126.0
Caravaggio	Serio	2.4	29.2	12.2	67.0	10.0	120.8
Bergamo	Serio	3.8	48.2	28.0	74.4	10.8	165.2
Forno Gavazzo	Serio	3.3	52.6	120.6	91.7	2.7	270.9
Gerola Alta	Adda Sopralacuale	2.6	70.2	149.2	155.8	18.0	395.8
Fuentes	Adda Sopralacuale	0.4	32.4	51.0	59.8	15.0	158.6
Caslino d'Erba	Lambro	4.2	58.4	84.0	113.2	21.8	281.6
Molteno	Lambro	3.3	21.6	0.0	0.0	0.0	24.9
Milano	Lambro	2.8	46.2	55.4	41.8	21.0	167.2
Castronno	Olona - Ticino	3.6	60.3	7.8	0.0	0.0	71.7
Cavaria Con Premezzo	Olona	2.9	27.6	0.0	0.0	0.6	31.1
Olgiate Comasco	Olona	2.6	40.9	0.0	0.0	0.0	43.5
Arcisate	Olona	3.2	67.4	54.0	109.6	26.4	260.6
Cuveglia	Olona	4.2	75.0	66.6	88.8	29.2	263.8
Ponte Vedano	Olona	3.6	64.8	48.6	96.4	23.2	236.6

I valori delle piogge giornaliere, riferite all'intero periodo di durata della perturbazione, permettono di osservare che le maggiori precipitazioni si sono concentrate nei giorni 25 e 26 di novembre, con valori già generalmente elevati nel giorno 24.

Le piogge più elevate dell'evento, sia giornaliere che totali, sono localizzate sulla parte alta del bacino del Brembo, in cui il massimo di precipitazione giornaliera misurata è stato pari a 248 mm e il valore cumulato complessivo dell'evento ha raggiunto 431 mm.

Valori elevati sono stati registrati anche dalle stazioni di Gerola, nel bacino dell'Adda sopralacuale, e in quella di Bellano, nel bacino del lago di Como, a conferma del fatto che in corrispondenza dello spartiacque tra Brembo e Adda, sul lato a nord, si sono manifestati i valori le precipitazioni maggiori.

Per quanto attiene per il bacino del Lambro gli afflussi raggiungono valori elevati nel periodo tra il 24-26 novembre, non eccezionali in termini di brevi durate 1,3,6 ore con tempo di ritorno inferiore a 2 anni ma più intensi sulle 24 e 48 ore con tempi di ritorno compresi tra i 5 e 20 anni.






In Tab. 2 sono raccolti i dati di sintesi delle misure pluviometriche per le durate caratteristiche inferiori alle 24 ore, a cui è associato il risultato dell'analisi statistica, che ha permesso di associare a ciascun valore di assegnata durata la stima del tempo di ritorno corrispondente.

I valori di confronto per l'assegnazione del tempo di ritorno attribuibile alla precipitazione fanno riferimento alle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica contenute nella Direttiva "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" allegata al PAI.

Tab. 2 Massima altezza di pioggia registrata nei giorni 23 – 27 novembre 2002 nelle stazioni pluviometriche dei bacini idrografici di Olona, Lambro e Adda per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore

Stazione	Sottobacino	Massima altezza di pioggia(mm) per assegnata durata				
		1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Branzi	Brembo	17.8	31.0	49.0	74.0	126.6
Carona	Brembo	37.2	38.0	103.4	168.8	290.4
Mezzoldo	Brembo	16.2	26.0	39.2	61.8	100.4
Piazza Brembana	Brembo	22.4	38.0	64.2	100.0	149.2
Valtorta	Brembo	20.4	33.0	52.2	93.2	150.4
Olda	Brembo	19.8	35.0	54.6	89.5	130.7
Oltre il Colle	Brembo	22	38.3	61.4	108.4	186.1
Rotafuori	Brembo	3.1	4.3	4.3	4.3	4.3
Brembate	Brembo	33.2	57.6	83.2	125.2	172
Treviolo	Brembo	18.0	28.6	45.2	66.6	87.2
Como	Lago di Como	25.8	34.8	47.8	70.4	135.6
Bellano	Lago di Como	13.4	20.0	31.6	50.6	91.2
Olginate	Adda Sottolacuale	32.4	45.6	64.2	90.0	127.6

Stazione	Sottobacino	Massima altezza di pioggia(mm) per assegnata durata				
		1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Medolago	Adda Sottolacuale	24.4	37.8	58.8	90.6	123.8
Bodengo	Mera	16.6	23.0	34.6	58.4	94.6
San Fedele	Mera	20.2	30.2	44.4	79.2	130.8
Albino	Serio	18.8	23.4	30.2	40.0	62.6
Caravaggio	Serio	23.0	33.0	46.8	64.4	76.2
Bergamo	Serio	18.4	28.4	40.8	62.4	91.2
Forno Gavazzo	Serio	19.3	32.4	51.9	84.7	139.4
Gerola Alta	Adda Sopralacuale	19.0	34.8	59	105.8	193.2
Fuentes	Adda Sopralacuale	10.2	18.4	27.2	43.2	68.4
Casolino d'Erba	Lambro	22.6	34.2	45.6	78.0	124.8
Molteno	Lambro	7.4	11.9	16.9	21.3	24.9
Milano	Lambro	14.4	28.6	36.6	46.6	76.4
Castronno	Olona - Ticino	10.0	16.3	27.0	35.3	61.8
Cavaria Con Premezzo	Olona	5.9	11.3	18.1	27.4	30.5
Olgiate Comasco	Olona	8.6	13.1	21.5	29.4	43.1
Arcisate	Olona	20.0	33.6	48.0	77.6	128.0
Cuveglia	Olona	24.2	44.2	70.8	95.6	121.0
Ponte Vedano	Olona	16.8	29.8	48.2	73.0	116.2

-  Tempo di ritorno > 200 anni
-  Tempo di ritorno compreso tra 100 e 200 anni
-  Tempo di ritorno compreso tra 20 e 100 anni
-  Tempo di ritorno compreso tra 5 e 20 anni
-  Tempo di ritorno < 5 anni

Si può osservare che i valori di maggiore gravosità si verificano per le durate più elevate, tra 12 e 24 ore, che sono critiche per i corsi d'acqua principali che hanno tempi di corrivazione paragonabili.

Rispetto alla distribuzione geografica, le precipitazioni più gravose, per durate superiori alle 6 ore, si collocano sulla parte montana del bacino del Brembo, in corrispondenza e oltre lo spartiacque con l'Adda sopralacuale, e nella porzione valliva prossima alla confluenza con l'Adda.

Precipitazioni più deboli hanno interessato il bacino del Serio e la porzione montana del bacino dell'Adda sottolacuale.

Di minore entità sono risultate le precipitazioni sul bacino del Lambro, quasi totalmente artificializzato, ma proprio per questo motivo tali da rendere comunque critiche le condizioni di deflusso.

Sostanzialmente la stessa situazione si riscontra per le precipitazioni massime con durate superiori al giorno (Tab. 3), anche per questi valori si è eseguito un confronto per l'assegnazione del tempo di ritorno attribuibile alla precipitazione fanno riferimento alle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per durate superiori alle 24 ore.

Il ragguaglio dei valori di precipitazione di diversa durata alla superficie dei sottobacini interessati conferma e precisa la distribuzione già desumibile dai valori puntuali:

- il bacino del Brembo è quello in assoluto più sollecitato e le sollecitazioni diventano particolarmente gravose per le durate superiori alle 12 ore;
- sempre per le durate elevate, la porzione alta del bacino del Brembo presenta valori che si collocano su tempi di ritorno superiori ai 100 anni e addirittura superiori ai 200 anni per porzioni significative;
- la parte intermedia del bacino è interessata da precipitazioni il cui tempo di ritorno si colloca tra 20 e 100 anni, mentre la porzione bassa, fino alla confluenza ha avuto piogge decisamente meno intense, con tempo di ritorno tra 5 e 20 anni;
- valori di precipitazione compresi tra 5 e 20 anni hanno interessato sia il bacino del Serio che quello dell'Adda sottolacuale;
- valori di precipitazione compresi tra 5 e 20 anni hanno interessato anche il bacino del Lambro.

Tale distribuzione risulta sostanzialmente confermata anche per le durate superiori al giorno, con una certa tendenza all'aumento della gravosità con il crescere della durata.

Complessivamente, si tratta quindi di un evento di piena caratterizzato da una gravosità molto elevata soprattutto per le lunghe durate; quindi tale da sollecitare in modo gravoso solo i corsi d'acqua che sottendono bacini idrografici di grandi dimensioni e non i corsi d'acqua minori.

In allegato 2 sono rappresentati su una base cartografica i dati pluviometrici, sia puntuali che ragguagliati ai rispettivi sottobacini, per le principali durate.

Tab. 3 Massima altezza di pioggia registrata nei giorni 23 – 27 novembre 2002 nelle stazioni pluviometriche dei bacini idrografici di Olona, Lambro e Adda per durate di 1, 2, 3, 4, 5 giorni consecutivi

Stazione	Sottobacino	Massima altezza di pioggia(mm) per assegnata durata				
		1 g.	2 gg.	3 gg.	4 gg.	5 gg.
Branzi	Brembo	126.6	187.2	209.4	212.8	237.2
Carona	Brembo	290.4	232.4	276.8	287.4	320.2
Mezzoldo	Brembo	100.4	176.7	210.9	217.5	251.8
Piazza Brembana	Brembo	149.2	232.4	276.8	287.4	320.2
Valtorta	Brembo	150.4	266.4	299.8	306.8	343.2
Olda	Brembo	130.7	209.0	248.0	260.9	297.3
Oltre il Colle	Brembo	186.1	269.6	315.7	323.1	385.7
Rotafuori	Brembo	4.3	4.3	5.2	5.6	5.6
Brembate	Brembo	172.0	222.8	242.6	256.4	279.4
Treviolo	Brembo	87.2	114.0	128.2	132.4	150.6
Como	Lago di Como	135.6	191.4	250.0	268.6	288.0
Bellano	Lago di Como	91.2	169.0	209.4	219.6	265.0
Olginate	Adda Sottolacuale	127.6	215.4	267.2	276.0	344.2
Medolago	Adda Sottolacuale	123.8	177.2	196.2	205.6	231.4
Bodengo	Mera	94.6	156.0	189.4	196.8	223.0
San Fedele	Mera	130.8	207.2	269.8	282.2	296.4
Albino	Serio	62.6	97.2	116.8	124.8	144.2
Caravaggio	Serio	76.2	99.8	110.8	122.2	151.2
Bergamo	Serio	91.2	131.4	152.0	162.8	191.2
Forno Gavazzo	Serio	139.4	246.3	266.1	270.9	296.0
Gerola Alta	Adda Sopralacuale	193.2	332.8	384.0	395.6	419.0
Fuentes	Adda Sopralacuale	68.4	124.2	154.2	158.6	183.8
Casolino d'Erba	Lambro	124.8	209.0	259.0	279.0	318.0
Molteno	Lambro	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9
Milano	Lambro	76.4	126.2	149.6	165.8	174.8
Castronno	Olona - Ticino	61.8	71.7	71.7	71.7	71.7
Cavaria Con Premezzo	Olona	30.5	30.5	30.5	31.1	31.1
Olgiate Comasco	Olona	43.1	43.5	43.5	43.5	43.5
Arcisate	Olona	128.0	180.6	234.6	259.4	290.6
Cuveglia	Olona	121.0	182.6	234.0	262.8	289.6
Ponte Vedano	Olona	116.2	158.4	211.2	236.0	244.8

 Tempo di ritorno > 200 anni

 Tempo di ritorno compreso tra 100 e 200 anni

 Tempo di ritorno compreso tra 20 e 100 anni

☞ Tempo di ritorno compreso tra 5 e 20 anni

☞ Tempo di ritorno < 5 anni

Come accennato in precedenza, è utile, per una migliore comprensione del fenomeno, considerare anche gli apporti meteorici del periodo immediatamente precedente, dal 12 al 22 novembre, a quello in cui si sono manifestati i colmi di piena maggiori sul Brembo e sull'Adda sottolacuale.

In analogia a quanto esposto in precedenza, in Tab. 4 sono raccolti i dati di sintesi delle misure pluviometriche per le durate caratteristiche inferiori alle 24 ore, a cui è associato il risultato dell'analisi statistica che associa a ciascun valore di assegnata durata la stima del tempo di ritorno.

Si può osservare complessivamente un evento di pioggia meno intenso del successivo, che mantiene le stesse caratteristiche di distribuzione temporale, contraddistinte dal manifestarsi dei valori più gravosi per le durate alte, superiori alle 24 ore. Anche la distribuzione territoriale rispecchia quella dell'evento successivo, con le maggiori piogge concentrate nel bacino del Brembo.

Per le durate elevate, si può stimare una distribuzione delle precipitazioni che ha gravosità molto elevata (tempo di ritorno superiore ai 100 anni) solamente su una ridotta porzione dell'alto Brembo, in prossimità dello spartiacque, mentre sulla restante parte del bacino il tempo di ritorno è prevalentemente inferiore ai 5 anni, con modeste porzioni di territorio in cui si colloca tra i 5 e i 20 anni.

Complessivamente si tratta quindi di un evento non in grado di generare deflussi di particolare gravosità, il cui ruolo principale, importante, è stato quello di contribuire in modo significativo alla saturazione dei bacini idrografici creando le condizioni favorevoli alla successiva formazione delle onde di piena.

Tab. 4 Massima altezza di pioggia registrata nei giorni 12– 22 novembre 2002 nelle stazioni pluviometriche dei bacini idrografici di Olona, Lambro e Adda per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore

Stazione	Sottobacino	Massima altezza di pioggia(mm) per assegnata durata				
		1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Branzi	Brembo	32.0	53.2	72.0	81.2	130.0
Carona	Brembo	36.2	66.0	87.0	124.0	217.2
Mezzoldo	Brembo	26.4	47.8	75.9	117.4	200.1
Piazza Brembana	Brembo	34.2	45.0	63.4	89.0	143.2
Valtorta	Brembo	25.4	47.2	76.4	124.2	200.4
Olda	Brembo	29.0	44.0	72.2	97.8	143.4
Oltre il Colle	Brembo	34.6	50.7	59.9	72.3	111.2

Stazione	Sottobacino	Massima altezza di pioggia(mm) per assegnata durata				
		1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Rotafuori	Brembo	0.9	1.2	1.3	1.3	1.3
Brembate	Brembo	18.4	22.0	33.0	37.8	40.0
Treviolo	Brembo	10.6	13.6	18.0	22.2	24.8
Como	Lago di Como	12.8	20.4	31.8	43.2	70.2
Bellano	Lago di Como	13.2	24.0	38.4	59.6	85
Olginate	Adda Sottolacuale	31.6	50.6	66.8	78.0	88.8
Medolago	Adda Sottolacuale	15.4	17.8	29.4	34.6	38.8
Bodengo	Mera	14.0	26.2	44.6	75.4	123.0
San Fedele	Mera	22.2	37.4	55.8	71.4	121.4
Albino	Serio	15.6	18.6	25.2	28.8	38.4
Caravaggio	Serio	9.4	13.6	14.0	15.6	17.6
Bergamo	Serio	22.6	25.6	32.4	36.2	43.8
Forno Gavazzo	Serio	8.7	15.7	23.1	35.5	40.6
Gerola Alta	Adda Sopralacuale	31.2	54.6	83.8	136.4	229.4
Fuentes	Adda Sopralacuale	20.4	34.0	43.4	75.0	125.0
Caslino d'Erba	Lambro	17.0	31.4	48.8	59.2	89.2
Molteno	Lambro	15.5	28.5	39.9	45.6	62.4
Milano	Lambro	13.2	18.8	23.4	31.8	35.4
Castronno	Olona - Ticino	20.2	29.9	39.5	51.4	76.7
Cavaria Con Premezzo	Olona	11.9	15.4	21.7	34.6	41.2
Olgiate Comasco	Olona	14.9	24.0	35.0	47.8	70.3
Arcisate	Olona	30.6	41.6	53.8	67.2	110.0
Cuveglia	Olona	46.4	66.0	85.4	101.4	153.2
Ponte Vedano	Olona	21.0	30.2	38.8	52.0	83.4

☒ Tempo di ritorno > 200 anni

☒ Tempo di ritorno compreso tra 100 e 200 anni

☒ Tempo di ritorno compreso tra 20 e 100 anni

☒ Tempo di ritorno compreso tra 5 e 20 anni

☒ Tempo di ritorno < 5 anni

Tali considerazioni sono confermate dall'analisi dei valori di pioggia per durate superiori al giorno, in cui risulta che l'evento ha avuto ordini di grandezza, soprattutto sul bacino del Brembo, paragonabili a quelli del periodo successivo.

Tab. 5 Massima altezza di pioggia registrata nei giorni 12– 22 novembre 2002 nelle stazioni pluviometriche dei bacini idrografici di Olona, Lambro e Adda per durate di 1, 2, 3, 4, 5 giorni consecutivi

Stazione	Sottobacino	Massima altezza di pioggia(mm) per assegnata durata				
		1 g.	2 gg.	3 gg.	4 gg.	5 gg.
Branzi	Brembo	130.0	231.6	280.8	297.8	325.2
Carona	Brembo	217.2	418.2	475.4	484.6	524.8
Mezzoldo	Brembo	200.1	265.8	326.6	348.9	372.3
Piazza Brembana	Brembo	143.2	214.4	265.6	291.6	327.2
Valtorta	Brembo	200.4	286.8	363.0	380.8	402.0
Olda	Brembo	143.4	207.8	252.7	274.4	316.4
Oltre il Colle	Brembo	111.2	174.4	230.2	247.3	296.0
Rotafuori	Brembo	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Brembate	Brembo	40.0	40.0	40.8	65.4	66.8
Treviolo	Brembo	24.8	33.8	40.2	48.4	62.2
Como	Lago di Como	70.2	121.6	140.4	147.2	171.8
Bellano	Lago di Como	85	140	166.8	174.6	203
Olginate	Adda Sottolacuale	88.8	127.6	153.0	166.6	204.8
Medolago	Adda Sottolacuale	38.8	51.0	63.2	74.4	91.8
Bodengo	Mera	123.0	185.0	230.4	240.8	265.6
San Fedele	Mera	121.4	219.6	262.6	273.0	287.8
Albino	Serio	38.4	61.6	72.6	85.6	110.4
Caravaggio	Serio	17.6	21.0	33.8	34.0	43.8
Bergamo	Serio	43.8	59.6	74.4	90.8	114.0
Forno Gavazzo	Serio	40.6	49.9	58.9	68.7	77.9
Gerola Alta	Adda Sopralacuale	229.4	386.8	487.6	501.6	543.2
Fuentes	Adda Sopralacuale	125.0	204.0	246.2	254.6	288.6
Casolino d'Erba	Lambro	89.2	129.6	154.0	164.4	186.4
Molteno	Lambro	62.4	95.7	116.1	125.4	125.7
Milano	Lambro	35.4	43.4	58.6	63.8	76.0
Castronno	Olona - Ticino	76.7	125.7	154.0	162.4	186.4
Cavaria Con Premezzo	Olona	41.2	47.6	48.3	48.3	49.0
Olgiate Comasco	Olona	70.3	132.6	158.2	164.6	167.0
Arcisate	Olona	110.0	172.0	203.6	214.2	244.0
Cuveglia	Olona	153.2	261.4	308.0	329.6	359.0
Ponte Vedano	Olona	83.4	133.6	162.4	170.4	197.6

☐ Tempo di ritorno > 200 anni

☐ Tempo di ritorno compreso tra 100 e 200 anni

☐ Tempo di ritorno compreso tra 20 e 100 anni

← Tempo di ritorno compreso tra 5 e 20 anni

↔ Tempo di ritorno < 5 anni

4. Deflussi

L'andamento del fenomeno di piena lungo i corsi d'acqua principali del bacino dell'Adda sottolacuale è documentato dagli idrogrammi registrati nelle stazioni idrometriche; nelle stazioni in cui è disponibile una scala di deflusso aggiornata, è stata effettuata la trasformazione altezze-portate, che permette di valutare in forma più compiuta la gravosità del colmo di piena.

Le stazioni in cui è stato possibile ricavare le onde di piena in portata sono le seguenti:

- Adda a Lavello,
- Adda a Lodi,
- Brembo a San Pellegrino,
- Brembo a Ponte Briolo,
- Serio a Ponte Cene.

Al fine di rappresentare in modo completo il fenomeno di propagazione idrodinamica delle onde di piena lungo le aste fluviali dell'Adda del Brembo e del Serio e supplire alla mancanza di dati di monitoraggio relativi ad alcuni tratti del corso dell'Adda è stato costruito un modello idraulico di simulazione in moto non stazionario sulla base dei rilievi del 1992 eseguiti dal Magistrato per il Po.

Lungo l'asta del Lambro la piena è descritta unicamente dagli idrogrammi in livello registrati nelle stazioni idrometriche; non essendo disponibili scale di deflusso ufficiali è stata effettuata, nelle attività dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona", la stima del valore al colmo di portata tramite l'impiego di un modello idrodinamico.

Le stazioni in cui si è stimato il valore di piena al colmo sono le seguenti:

- Lambro a Pusiano (uscita dal lago) di bacino idrografico pari a 96 km²;
- Lambro a Lambrugo di bacino idrografico pari a 170 km²;
- Lambro a Peregallo di bacino idrografico pari a 220 km²,
- Lambro a Villasanta (ponte San Giorgio) di bacino idrografico pari a 265 km²,
- Lambro a Milano (Via Feltre) di bacino idrografico pari a 530 km².

4.1. Bacino del fiume Adda sottolacuale

4.1.1. Fiume Brembo

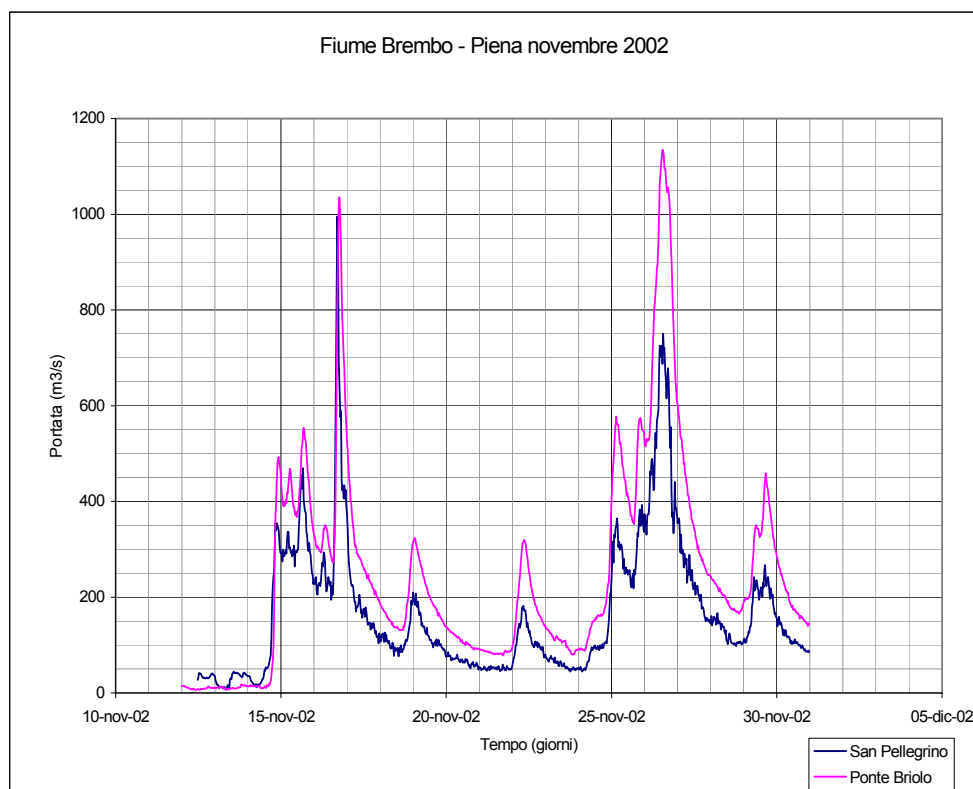
Le stazioni di San Pellegrino e Ponte Briolo permettono di osservare il deflusso dell'onda di piena lungo l'asta del Brembo.

Le caratteristiche idrologiche delle due stazioni sono riassunte dai dati riportati in Tab. 6.

Tab. 6 Caratteristiche idrologiche delle stazioni di San Pellegrino e Ponte Briolo sul fiume Brembo

	Brembo a San Pellegrino	Brembo a ponte Briolo
Superficie del bacino idrografico sotteso km ²	523	765
Altitudine media m s.m.	-	1.140
Altitudine alla sezione di chiusura m s.m.	352	211
Progressiva km	33.585	51.683

Fig. 1 Onde di piena nelle stazioni di San pellegrino e Ponte Briolo sul fiume Brembo



Si può osservare come il colmo di piena massima a Ponte Briolo, verificatosi il giorno 26/11, abbia raggiunto una portata pari a $1.130 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre a San Pellegrino la stessa onda si è fermata a $750 \text{ m}^3/\text{s}$. L'incremento di $380 \text{ m}^3/\text{s}$, piuttosto sensibile, è quindi dovuto al contributo della porzione di bacino intermedia tra le due stazioni di misura.

E' inoltre interessante notare come la perturbazione del periodo precedente (tra il 12 e il 20 novembre) abbia provocato a San Pellegrino un colmo di circa $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$, che a Ponte Briolo è risultato di poco superiore, pari a $1.035 \text{ m}^3/\text{s}$, con un incremento molto modesto che testimonia in quel caso la quasi assenza di contributo del bacino intermedio tra le due stazioni.

L'asta del fiume Brembo, in conclusione, è stata interessata dal deflusso di due successive onde di piena, ad un intervallo di circa 10 giorni, di cui la prima è risultata più gravosa nel tratto a monte di San Pellegrino, mentre la seconda ha assunto dimensioni significativamente più rilevanti nel tratto in corrispondenza della stazione di Ponte Briolo e a valle della stessa.

Sotto l'aspetto delle valutazioni statistiche, una prima stima della gravosità dell'evento in termini di portata al colmo può essere effettuata attraverso il confronto con le quantificazioni delle portate al colmo per assegnato tempo di ritorno riportate nel PAI.

Va sottolineato che l'argomento è oggetto di un consistente lavoro di aggiornamento e approfondimento da parte dell'Autorità di bacino nell'ambito dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dell'Adda, Brembo e Serio", i cui risultati definitivi non sono ancora disponibili.

In via preliminare è comunque possibile una prima indicazione di ordini di grandezza, che porta alle seguenti stime:

- massimo colmo a Ponte Briolo ($1.130 \text{ m}^3/\text{s}$), tempo di ritorno tra 50 e 100 anni;
- massimo colmo a San Pellegrino ($1.000 \text{ m}^3/\text{s}$), tempo di ritorno tra 100 e 200 anni.

4.1.2. Fiume Adda sottolacuale

Le stazioni presenti lungo l'asta (Lavello, Lodi, Boccaserio e Pizzighettone) non consentono un monitoraggio completo del deflusso dell'onda di piena lungo l'asta; la mancanza di scale di deflusso per le due stazioni di valle (Boccaserio e Pizzighettone) costituisce una ulteriore carenza che limita le possibilità di stima della gravosità dell'evento.

Le caratteristiche idrologiche delle stazioni sono riassunte dai dati riportati in Tab. 7.

Tab. 7 Caratteristiche idrologiche delle stazioni Lavello, Lodi, Boccaserio e Pizzighettone sul fiume Adda

	Adda a Lavello	Adda a Lodi	Adda a Boccaserio	Adda a Pizzig.
Superficie del bacino idrografico sotteso km ²	4.572	6.300	7514	7.775
Altitudine media m s.m.	1.569	-	-	1.157
Altitudine alla sezione di chiusura m s.m.	195	65	-	40.52
Progressiva km	170.5	232.478	258.448	280.447

Nella stazione di Lavello, all'uscita del lago di Como, l'idrogramma di piena ha una prima ripida rampa di crescita a partire dal 15 novembre, che fa raggiungere alla portata un primo massimo, di poco superiore ai 600 m³/s; in relazione all'effetto di laminazione del lago a monte, la portata defluita oscilla attorno a tale valore per i sette giorni successivi.

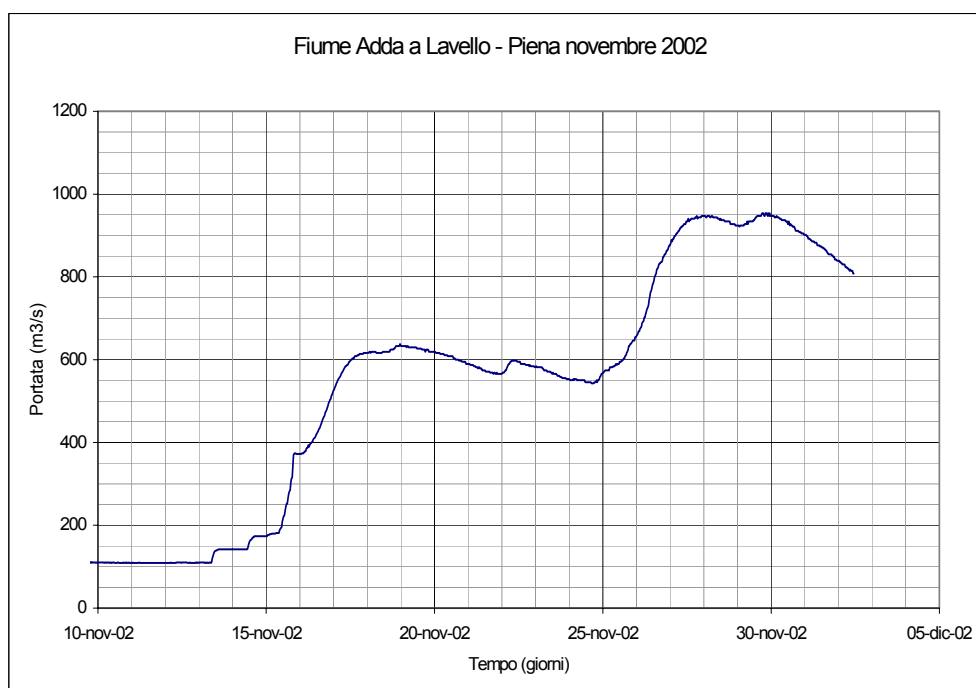
La seconda perturbazione provoca un nuovo rapido incremento che porta al massimo valore di colmo (950 m³/s), raggiunto il giorno 28/11.

In relazione all'effetto del lago, l'onda di piena si presenta comunque con un colmo molto piatto, con durata di circa 2 giorni attorno al valore massimo e di circa 4 giorni con portate superiori o uguali a 900 m³/s.

Trattandosi di un deflusso regolato dalle opere di regimazione del lago, la valutazione statistica del colmo verificatosi non appare molto significativa, in quanto il valore defluito risente in maniera consistente sia delle manovre di regolazione sia della capacità di deflusso del manufatto regolatore che tende ad avere un massimo superiore; in ogni caso, sempre in riferimento agli approfondimenti di analisi idrologica sopra citati, è possibile assegnare un ordine di grandezza orientativo:

massimo colmo dell'Adda a Lavello (950 m³/s), tempo di ritorno tra 20 e 50 anni.

Si può pertanto considerare che anche il tratto di corso d'acqua a valle della stazione, fino alla confluenza del Brembo, sia stato sollecitato da una piena di uguale gravosità, essendo in tale tratto, della lunghezza di circa 30 km, trascurabili sia gli effetti di laminazione lungo l'alveo sia gli apporti idrici laterali.

Fig. 2 Onda di piena nella stazione dell'Adda a Lavello

Nel tratto di Adda a valle della confluenza del Brembo, l'assenza di stazioni idrometriche non agevola la valutazione delle caratteristiche dell'onda di piena. La prima stazione è infatti quella di Lodi, posta circa 30 km a valle della confluenza.

L'idrogramma di piena in tale punto è presentato in Fig. 3 e permette di osservare un colmo di 1550 m³/s, verificatosi nelle prime ore del 27/11.

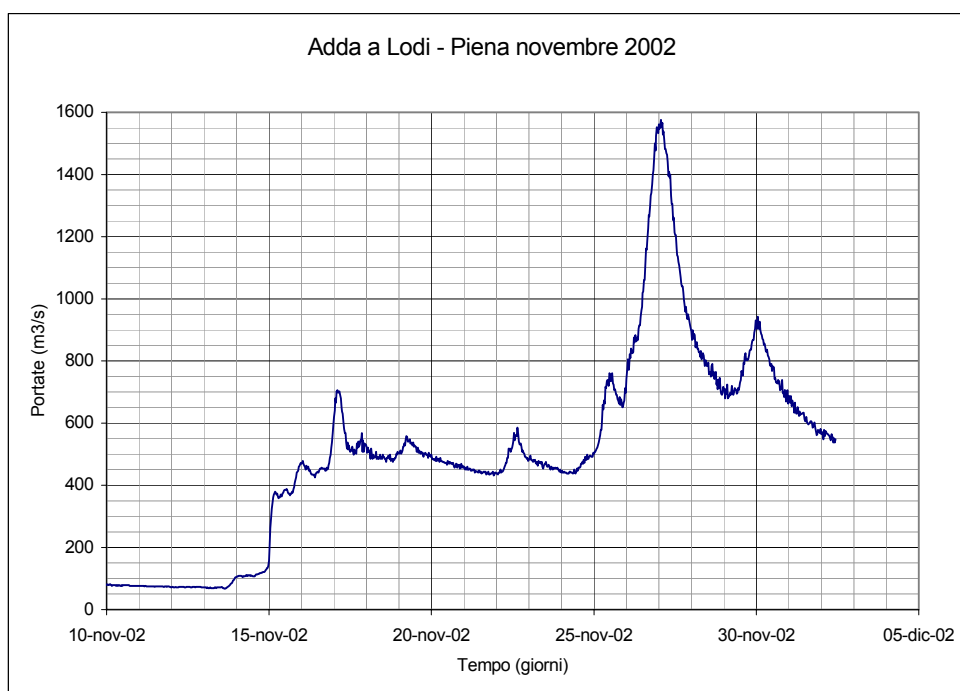
L'assenza di serie storiche di portata non permette valutazioni statistiche appoggiate direttamente alla stazione di misura e costringe a stimare la gravosità dell'evento in termini di tempo di ritorno solamente sulla base di metodi di valutazione indiretta appoggiati a procedure di regionalizzazione.

In questo caso la confluenza con il Brembo, che rappresenta il solo contributo significativo, e le relative difficoltà di stima della probabilità statistica della concomitanza tra le due onde di piena in arrivo ha evidenziato la necessità di un approfondimento di tipo deterministico mediante l'ausilio di un modello idraulico in moto non stazionario, al fine di stimare la dinamica di propagazione delle onde di piena lungo le aste fluviali, ricostruire l'idrogramma a valle della confluenza del Brembo, la sua traslazione lungo l'asta dell'Adda fino a Pizzighettone dopo aver ricevuto a Boccaserio anche l'apporto del Serio.

In ogni caso una prima stima della gravosità dell'evento a Lodi indice alla seguente valutazione:

massimo colmo dell'Adda a Lodi ($1575 \text{ m}^3/\text{s}$), tempo di ritorno tra 20 e 50 anni.

Fig. 3 Onda di piena nella stazione dell'Adda a Lodi



4.1.3. Fiume Serio

La stazione di Ponte Cene, sul fiume Serio, ha le seguenti caratteristiche idrologiche:

Tab. 8 Caratteristiche idrologiche della stazione di Ponte Cene sul fiume Serio

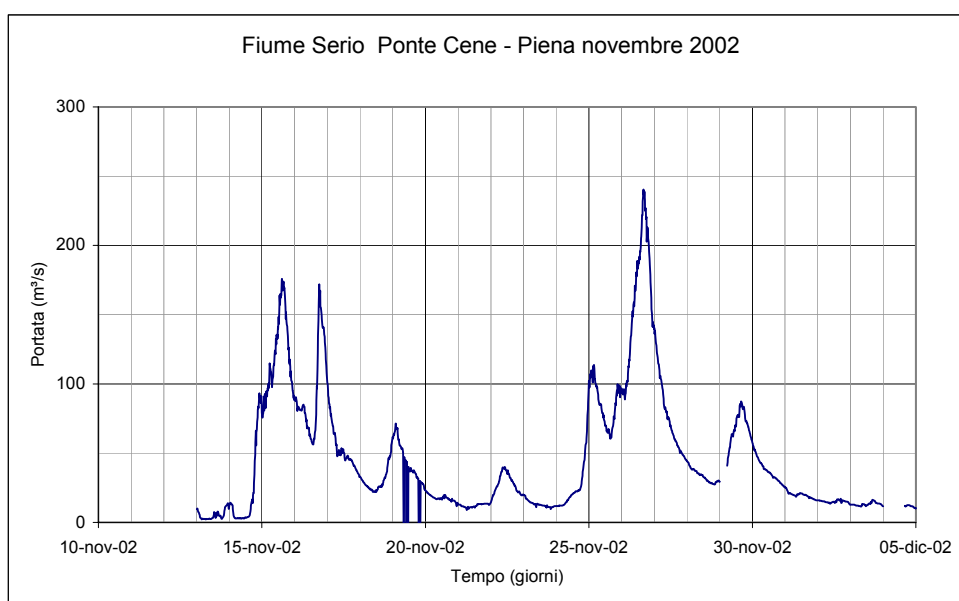
	Serio a Ponte Cene
Superficie del bacino idrografico sotteso km^2	455
Altitudine max m s.m.	--
Altitudine media m s.m.	1.335
Altitudine alla sezione di chiusura m s.m.	353
Progressiva km	--

La Fig. 4 rappresenta l'andamento dell'onda di piena. Si può osservare come l'idrogramma presenti anche in questo caso due situazioni con deflussi elevati,

rispettivamente nei giorni 15 e 16 novembre – in cui si realizzano due piccoli colmi in rapida successione – e il 26 novembre in cui si ha il massimo valore di colmo, pari a circa 230 m³/s.

Si tratta in questo caso di portate di piena modeste, correlabili con un tempo di ritorno dell'ordine di grandezza di 5 anni.

Fig. 4 Onda di piena nella stazione del Serio a Ponte Cene



4.1.4. Ricostruzione dell'evoluzione dell'onda di piena attraverso un modello numerico di propagazione

Per meglio interpretare la dinamica dell'evento di piena lungo le aste dell'Adda del Brembo e del Serio si è utilizzato un modello numerico, tramite l'impiego del codice di calcolo MIKE11 del DHI Water & Environment.

La geometria delle sezioni trasversali è stata desunta dal rilievo del Magistrato per il Po, risalente all'anno 1992, utilizzato dall'Autorità di bacino per la delimitazione delle fasce fluviali; se pur non aggiornata tale geometria rappresenta in modo sufficientemente attendibile l'intera regione fluviale interessabile da esondazione.

Il modello è costituito da tre rami relativi alle aste dei seguenti corsi d'acqua:

Brembo, esteso da Ponte Briolo alla confluenza in Adda, di sviluppo pari a circa km 20,

Serio, da Ponte Cene alla confluenza in Adda, di sviluppo pari a circa km 65,

Adda, da Brivio a Pizzighettone, di sviluppo pari a circa km 110.

Il modello idraulico è implementato secondo uno schema quasi-bidimensionale solo in corrispondenza dell'abitato di Lodi, in cui si sono verificate esondazioni; in tale tratto sono state introdotte lateralmente all'alveo attivo aree di invaso, definite sulla base delle informazioni disponibili provenienti dalla delimitazione delle aree allagate. I restanti tratti del reticolo idrografico sono rappresentati secondo uno schema monodimensionale.

Va segnalato inoltre che lo studio di fattibilità dell'Autorità di bacino relativo al bacino dell'Adda sottolacuale, ha in corso di avanzamento l'aggiornamento delle informazioni geometriche, tramite l'esecuzione di rilievi topografici e piani quotati estesi oltre i limiti della fascia B. Nell'ambito dello stesso studio sono inoltre stati rilevati in alcune sezioni significative i livelli massimi raggiunti dal colmo di piena.

Le condizioni al contorno del modello idraulico, inserite nelle sezioni di monte dei rami di Adda, Brembo e Serio, sono rappresentate dagli idrogrammi misurati rispettivamente nelle stazioni di Lavello, Ponte Briolo e Ponte Cene; la condizione al contorno di valle è costituita dall'idrogramma di livello misurato nella stazione di Pizzighettone. Gli idrogrammi di input sono riportati nelle seguenti Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8.

Fig. 5 Idrogramma di portata nella stazione di Lavello sul fiume Adda

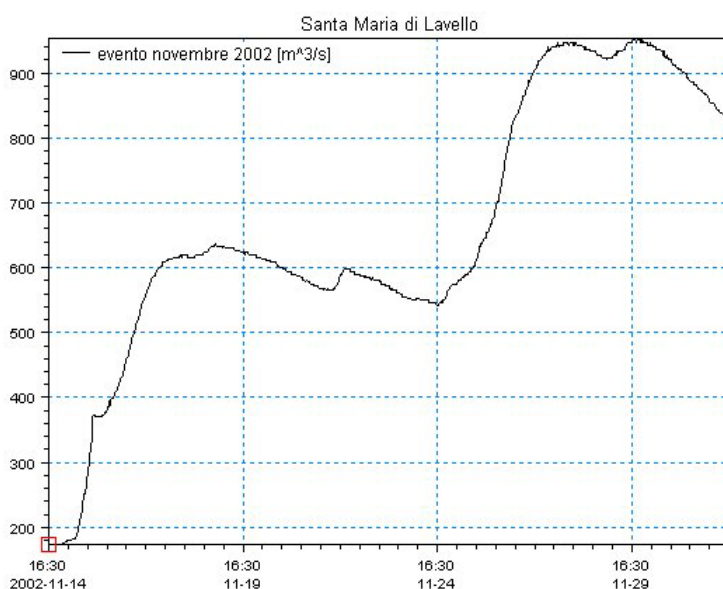


Fig. 6 Idrogramma di portata nella stazione di Ponte Briolo sul fiume Brembo

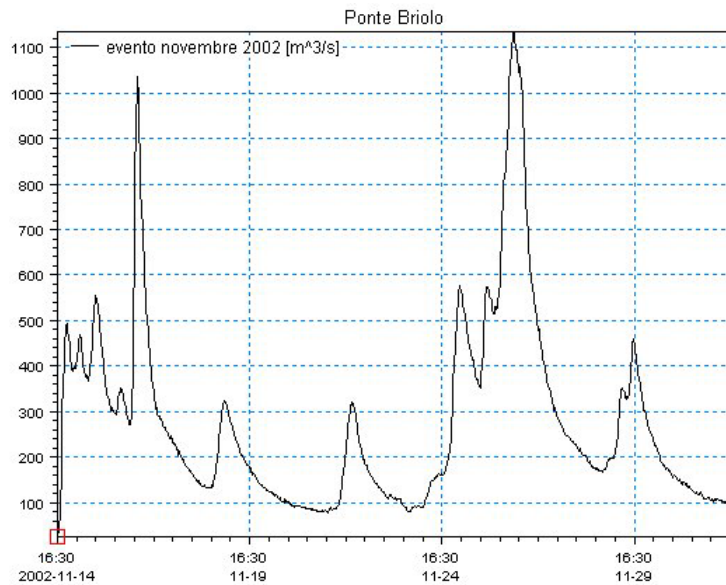


Fig. 7 Idrogramma di portata nella stazione di Ponte Cene sul fiume Serio

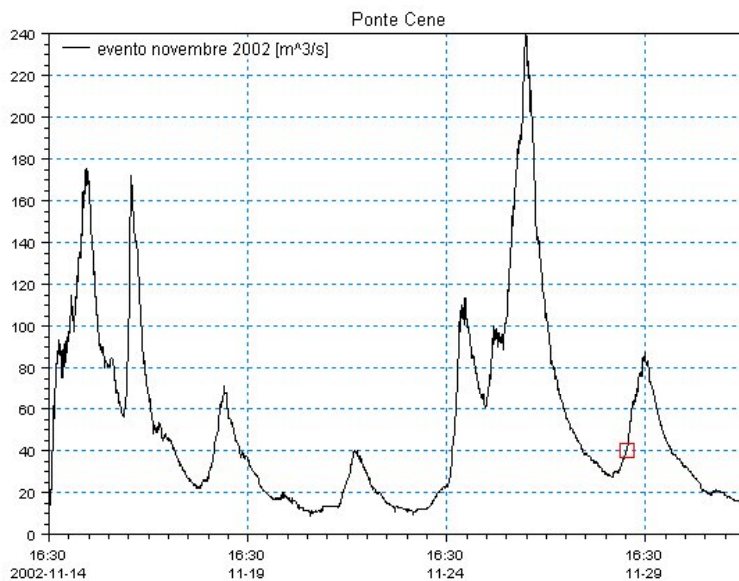
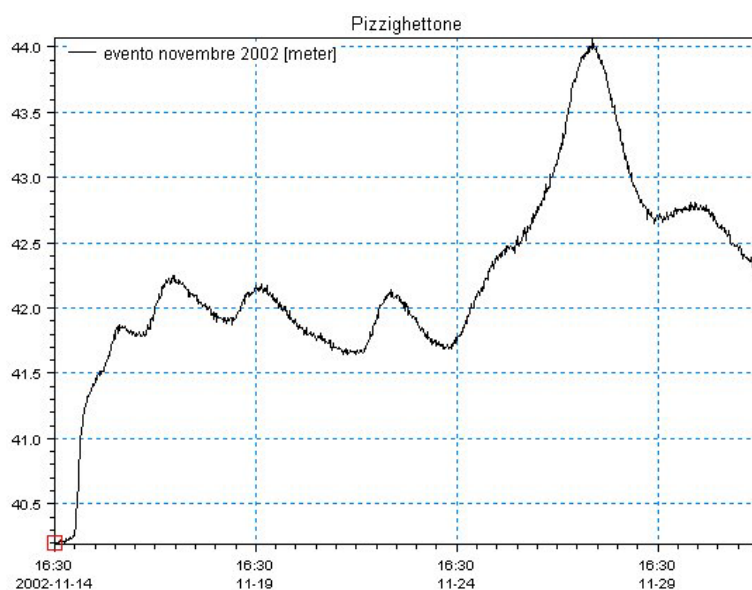


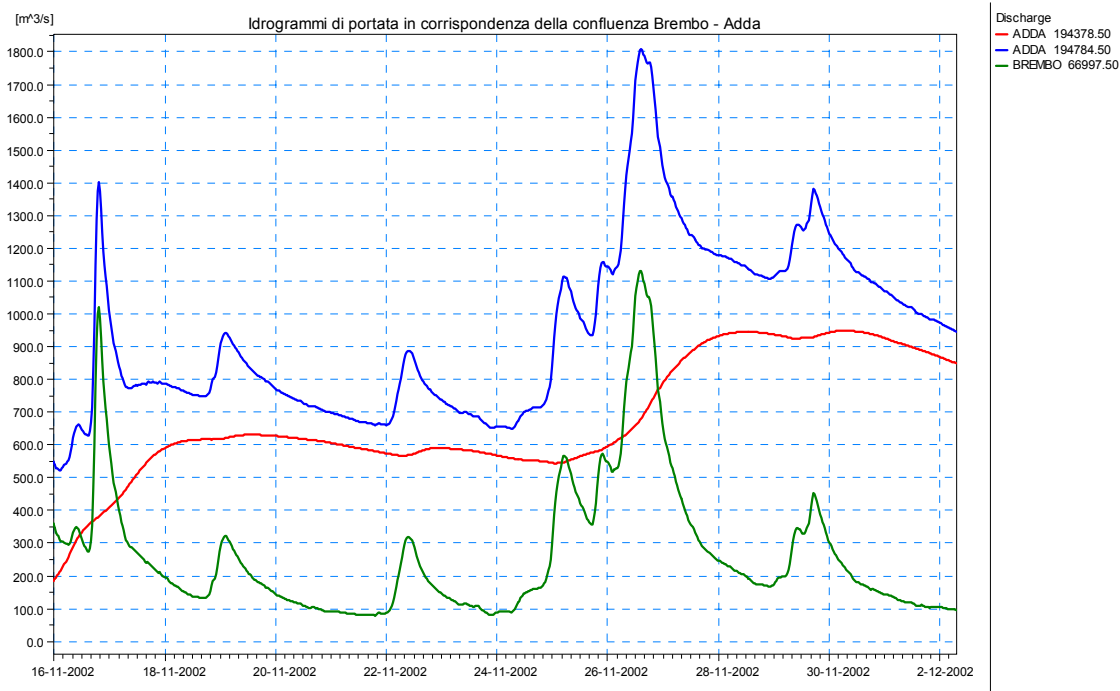
Fig. 8 Idrogramma di livello nella stazione di Pizzighettone sul fiume Adda

I coefficienti di resistenza al moto distribuita, assunti nel modello di simulazione, sono stati ricavati sulla base delle informazioni relative alla granulometria e morfologia e per l'alveo inciso e relative all'uso del suolo per le aree golenali.

Il modello idraulico è stato utilizzato principalmente per determinare la combinazione degli idrogrammi di piena dell'Adda e del Brembo a valle della loro confluenza, simulando la loro traslazione a partire rispettivamente dal lago di Como e da Ponte Briolo.

Dalle simulazioni eseguite risulta che il tempo di traslazione delle onde di piena da Ponte Briolo alla confluenza in Adda è di circa 3 ore, da Lavello alla confluenza del Brembo è di circa 6 ore; il tempo di sfasamento tra Lavello e Ponte Briolo è pari a 3 ore. Il valore di piena al colmo dell'Adda registrato a Lavello ($950 \text{ m}^3/\text{s}$) non viene praticamente laminato fino alla confluenza del Brembo dove assume un valore di circa $940 \text{ m}^3/\text{s}$, così come i valori dei 2 colmi di Ponte Briolo (1.035 e $1.130 \text{ m}^3/\text{s}$) che alla confluenza in Adda rimangono inalterati. Il primo colmo di piena del giorno 16/11 a Ponte Briolo, sommato con il contributo dell'Adda, assume il valore di circa $1.400 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre il secondo colmo del 26/11 risulta pari a circa $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$. In Fig. 9 si riportano gli idrogrammi propagati alla confluenza Adda – Brembo.

Fig. 9 Idrogrammi di portata simulati dal modello a monte ed a valle della confluenza Adda - Brembo



Il tempo di traslazione del colmo tra confluenza del Brembo e Lodi, ove il 27/11 le esondazioni raggiungono la massima ampiezza storica, risulta circa pari a 10 ore. In tale stazione di misura, i risultati del modello mostrano una discreta corrispondenza tra i livelli calcolati e misurati, mentre l'idrogramma in portata calcolato presenta una rispondenza migliore con quello misurato se si incrementano di circa il 20% i valori di portata della scala di deflusso. Il problema può dipendere da numerosi fattori, quali l'attendibilità della scala di deflusso per i valori più elevati di portata, la geometria locale dell'alveo inciso e dell'alveo di piena, gli effetti delle opere in alveo presenti. L'approfondimento di tali aspetti non rientra tra gli obiettivi della presente analisi, essendo preferibile disporre di ulteriori e più approfonditi elementi conoscitivi, tra cui principalmente la geometria aggiornata dell'alveo nel tratto.

In Fig. 10 e Fig. 11 si riportano gli idrogramma di livello e portata calcolati a confronto con quelli registrati dall'idrometro.

Fig. 10 Idrogrammi di livello calcolato e misurato nella stazione di Lodi

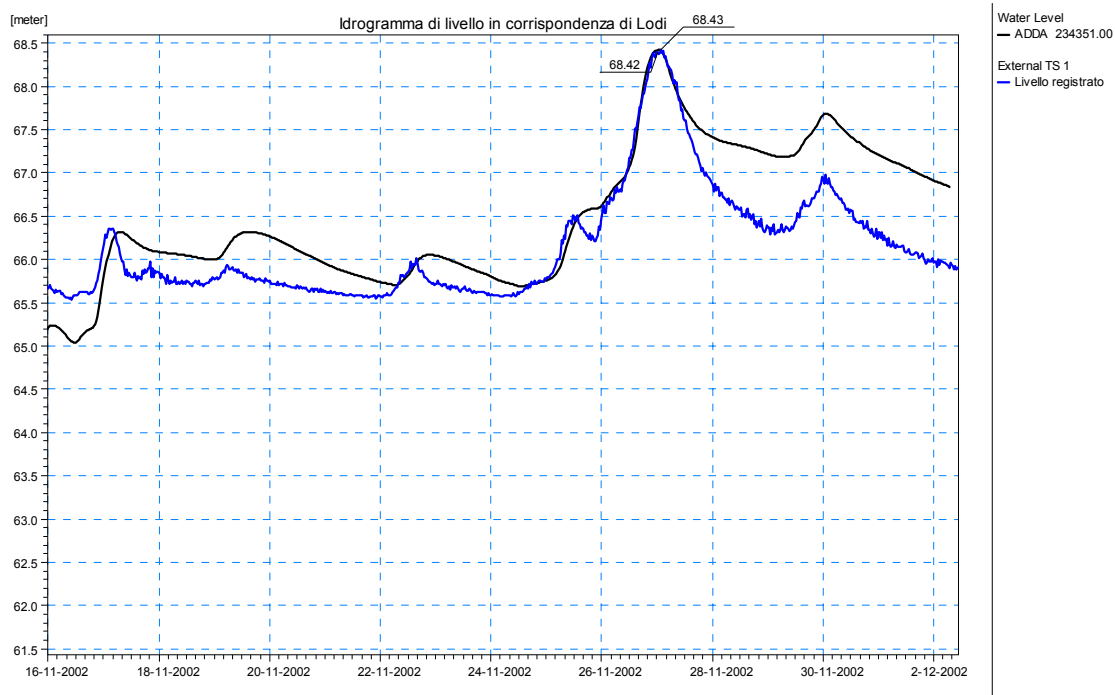
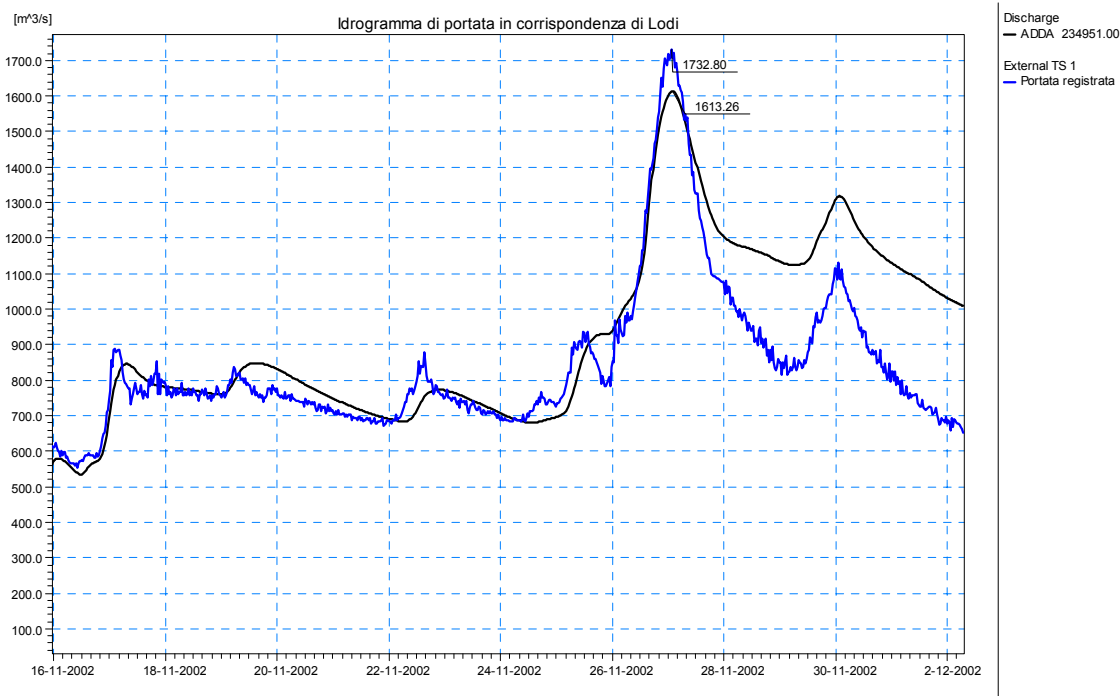


Fig. 11 Idrogrammi di portata calcolato e incrementato di circa 20% rispetto a quello registrato nella stazione di Lodi



Da valle di Lodi fino a valle di Boccasero, dopo aver ricevuto l'apporto del Serio, la portata si mantiene quasi inalterata intorno a valori di 1.700 m³/s; da Boccasero a Pizzighettone l'idrogramma di portata subisce una modesta laminazione; in tale ultima stazione il valore al colmo risulta pari a 1.570 m³/s..

4.2. Fiume Lambro

Sulla base dei dati pluviometrici ed idrometrici disponibili si sono ricostruiti mediante modello di simulazione, tenendo in conto delle aree allagate, i valori di portata al colmo nelle sezioni di seguito descritte.

Uscita del Lambro dal lago di Pusiano: il massimo deflusso naturale del lago con livello inferiore alla piazza del Comune omonimo è pari a 10-15 m³/s; nel periodo dell'evento per effetto dello riempimento del lago si sono registrate le seguenti portate in uscita:

circa 25 m³/s dalle ore 17.00 del 25 novembre, con livello di circa 10- 20 cm superiore alla piazza di Pusiano;

circa 35 m³/s dalle ore 5.00 del 26 novembre con livello di circa 60 cm superiore alla piazza di Pusiano;

circa 50 m³/s dalle ore 17.00 del 26 al 30 novembre con livello massimo stimato in circa 150 cm sulla piazza di Pusiano.

Torrente Bevera di Molteno : le osservazioni sull'opera di sbarramento alla confluenza in Lambro a Merone portano alla ricostruzione del seguente schema di portate:

circa 20 m³/s alle ore 17.00 del 25 novembre con bocca di fondo in pressione;

circa 25 m³/s alle ore 5.00 del 26 novembre con cassa a quota di massimo invaso;

circa 50 m³/s alle ore 20.00 del 26 novembre con sfioratore di superficie in azione;

circa 25 m³/s alle ore 7.00 del 27 novembre al termine dello sfioro della cassa;

circa 5-10 m³/s alle 21.00 del 27 novembre in fase di esaurimento delle precipitazioni.

Lambro a Lambrugo: sulla base delle letture idrometriche in assenza di scala di deflusso è possibile ricostruire il seguente schema di portate:

circa 50-55 m³/s alle 17.00 del 25 novembre con contributo di 25 m³/s dal lago, 20 m³/s dalla Bevera di Molteno e 5-10 m³/s dal bacino residuo;

circa 65-70 m³/s alle 5.00 del 26 novembre con contributo di 35 m³/s dal lago, 25 m³/s dalla Bevera di Molteno e 5-10 m³/s dal bacino residuo;

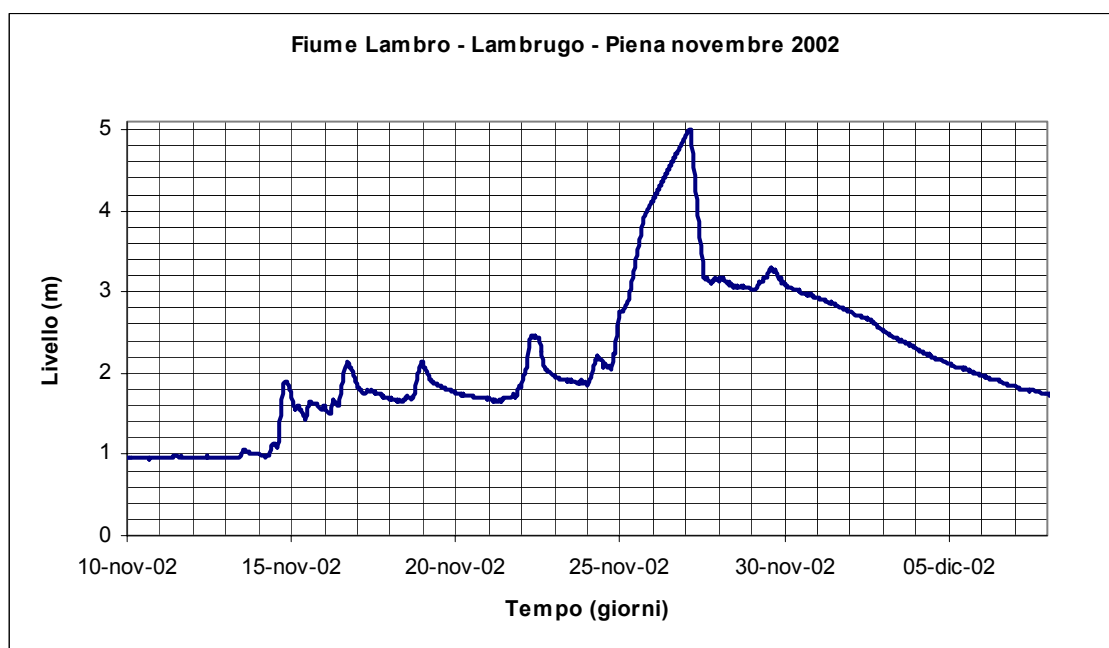
circa 100-110 m³/s alle ore 20.00 del 26 novembre con contributo di 50 m³/s dal lago, 50 m³/s dalla Bevera di Molteno e 10 m³/s dal bacino residuo;;

circa 80 m³/s alle 7.00 del 27 novembre con contributo di 50 m³/s dal lago, 25 m³/s dalla Bevera di Molteno e 5 m³/s dal bacino residuo;

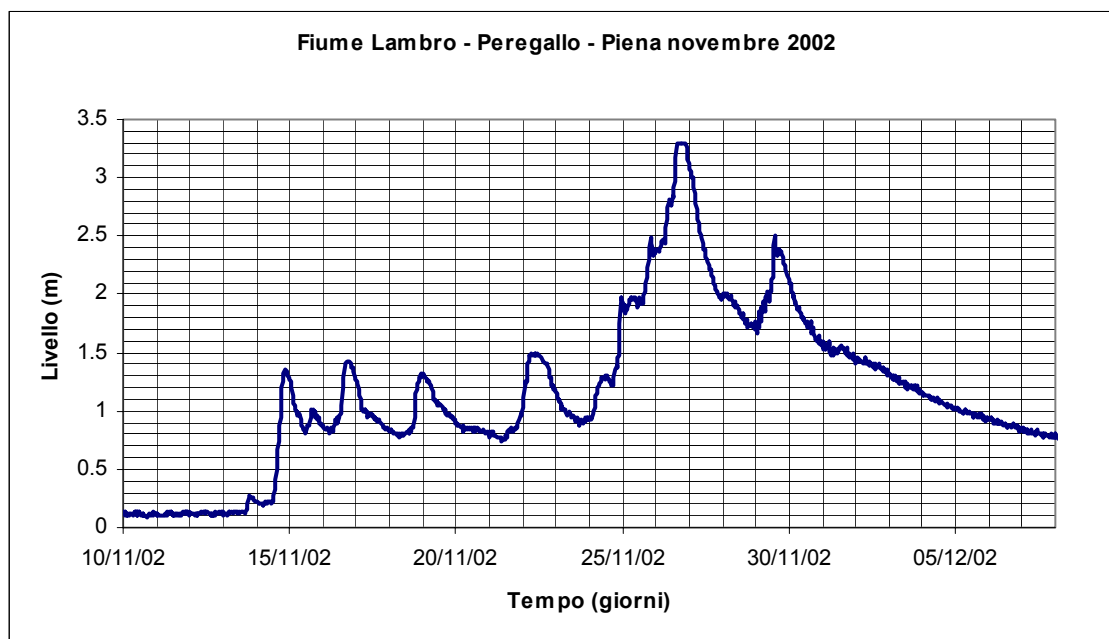
circa 60-65 m³/s alle 21.00 del 27 novembre con contributo di 50 m³/s dal lago, 5-10 m³/s dalla Bevera di Molteno e 2-5 m³/s dal bacino residuo.

Il tempo di ritorno associabile al valore di portata al colmo è superiore a 200 anni.

Fig. 12 Onda di piena nella stazione del Lambro a Lambrugo

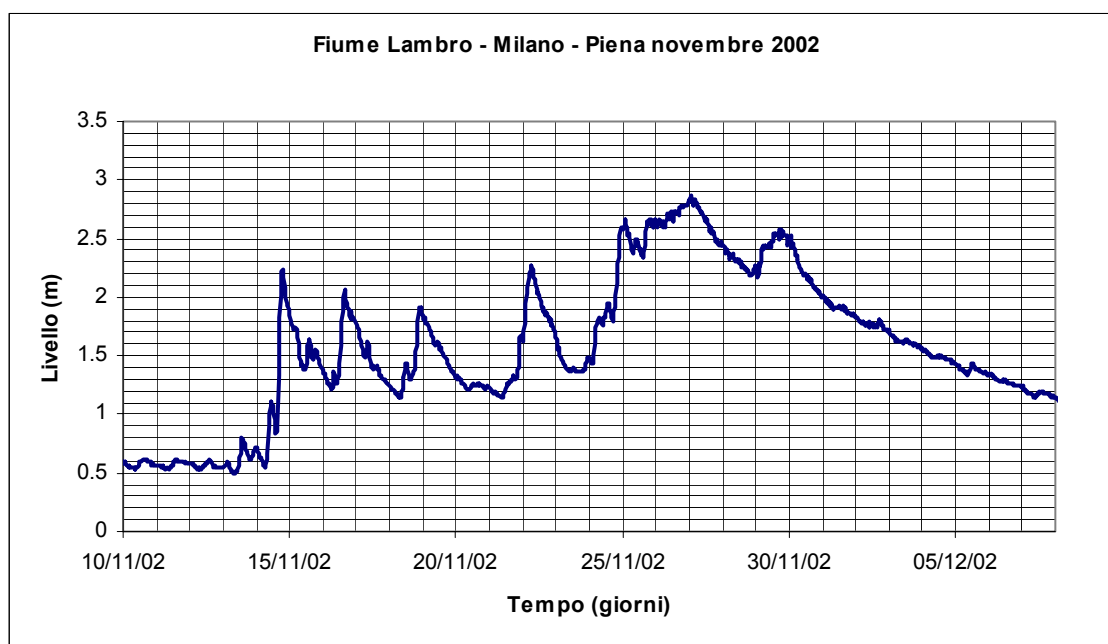


Lambro a Peregallo: la portata al colmo è risultata pari a circa 120-130 m³/s dalle 15.30 alle 21.30 del 26 novembre, associabile ad un tempo di ritorno compreso tra i 100 e i 200 anni. Il modesto incremento di portata da Lambrugo a Peregallo è dovuto sia al modesto incremento del bacino contribuente, sia alle laminazioni per esondazione intervenute sul tratto.

Fig. 13 Onda di piena nella stazione del Lambro a Peregallo

Lambro a Villasanta (ponte San Giorgio): la sezione non è dotata di asta idrometrica a lettura automatizzata ma a lettura manuale. La portata defluita durante l'evento è stata stimata sulla base dei livelli a tergo del ponte confrontati con i risultati della modellizzazione idrodinamica. Il valore al colmo è stato stimato in circa 150 m³/s associabile ad un tempo di ritorno di circa 50 anni. Tale valore risulta superiore alla capacità di deflusso nel centro di Monza che in effetti ha subito esondazioni significative.

Lambro a Milano (via Feltre): il valore al colmo stimato risulta pari a 150 m³/s, che è risultato compatibile con i livelli idrometrici misurati e con la capacità di deflusso dei ponti di valle che hanno funzionato a bocca piena. Il tempo di ritorno associabile all'evento è di circa 20 anni.

Fig. 14 Onda di piena nella stazione del Lambro a Milano (via Feltre)

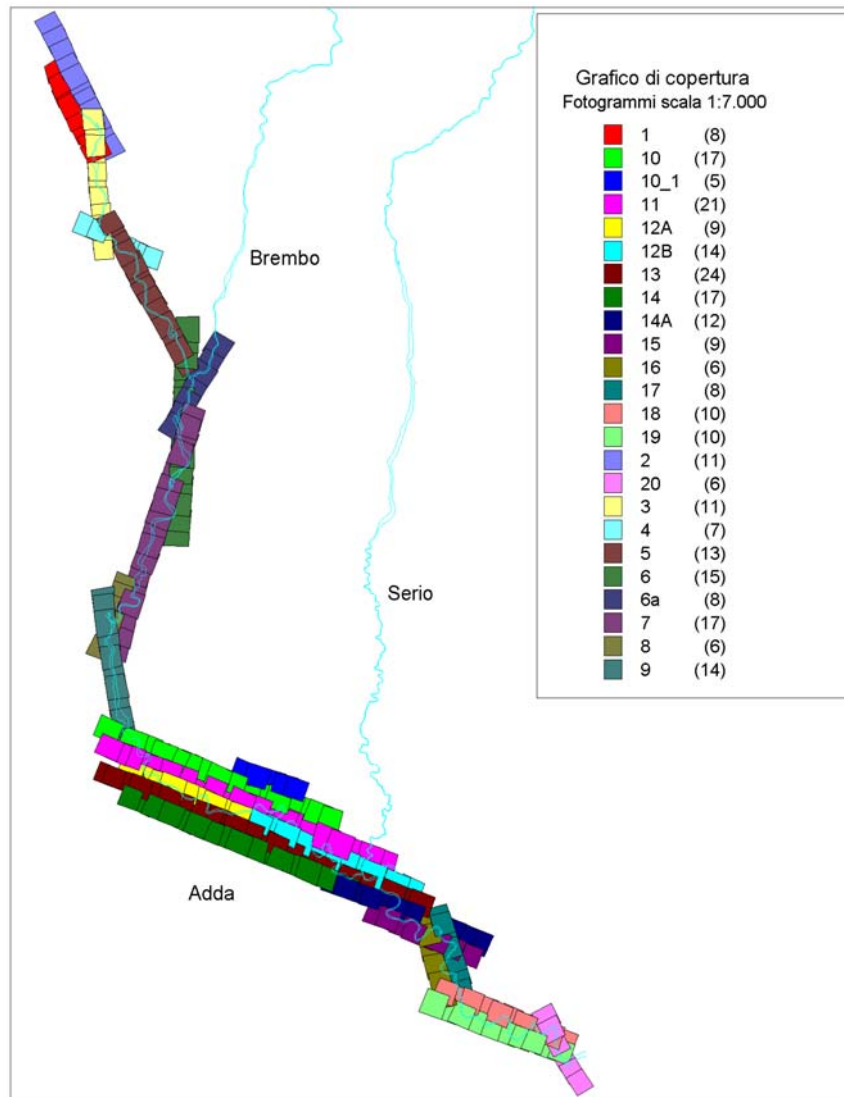
5. Delimitazione dei campi di allagamento attraverso l'interpretazione delle fotografie aeree

5.1. Premessa

Su incarico dell'Autorità di Bacino del Po, la Compagnia Generale Riprese Aeree di Parma ha realizzato una ripresa a bassa quota delle aste dei Fiumi Adda, Brembo e Serio nei giorni immediatamente successivi all'evento alluvionale del novembre 2002.

I voli necessari per la realizzazione delle coperture sono stati effettuati in 3 giorni complessivi nel periodo compreso tra il 30 novembre ed il 14 dicembre 2002, in corrispondenza delle uniche "finestre" meteorologiche disponibili.

In totale sono stati realizzati 906 fotogrammi organizzati in 47 strisciate che rappresentano una superficie complessiva di 572 chilometri quadrati corrispondente alla regione fluviale dei tre corsi d'acqua ed alle aree immediatamente circostanti.



La seguente tabella descrive nel dettaglio la consistenza della ripresa aerea ed indica la data in cui sono state realizzate le differenti strisciate.

FIUME	STRISCIATA	DAL FOT.	AL FOT.	N° FOT.	DATA RIPRESA
Adda	1	4662	4649	14	14/12/02
	2	4624	4644	21	14/12/02
	3	3023	3003	21	10/12/02
	4	3024	3035	12	10/12/02
	5	2175	2151	25	10/12/02
	6	3003	3031	29	30/11/02
	6A	3032	3045	14	30/11/02
	7	1246	1278	33	30/11/02

FIUME	STRISCIATA	DAL FOT.	AL FOT.	N° FOT.	DATA RIPRESA
	8	1244	1235	10	30/11/02
	9	1234	1209	26	30/11/02
	10	3046	3078	33	30/11/02
	10/1	3099	3107	9	30/11/02
	11	1175	1136	40	30/11/02
	12A	1058	1074	17	30/11/02
	12B	1105	1131	27	30/11/02
	13	1057	1012	46	30/11/02
	14	1176	1207	32	30/11/02
	14A	2123	2145	23	10/12/02
	15	2120	2105	16	10/12/02
	16	2086	2076	11	10/12/02
	17	2087	2100	14	10/12/02
	18	2048	2066	19	10/12/02
	19	2047	2029	19	10/12/02
	20	2015	2025	11	10/12/02
Brembo	1	4519	4543	25	14/12/02
	2	4548	4568	21	14/12/02
	3	4569	4580	12	14/12/02
	4	4581	4597	17	14/12/02
	5	4664	4691	28	14/12/02
	6	4692	4710	19	14/12/02
	7	4716	4730	15	14/12/02
Serio	1	4507	4518	12	14/12/02
	2	4506	4484	23	14/12/02
	3	4466	4480	15	14/12/02
	4	4462	4450	13	14/12/02
	5	4430	4449	20	14/12/02
	6	4414	4429	16	14/12/02
	7	4413	4389	25	14/12/02
	8	4388	4368	21	14/12/02
	9	4361	4345	17	14/12/02
	14	3131	3119	13	10/12/02
	15	3117	3102	16	10/12/02
	16	3101	3095	7	10/12/02
	21	3064	3050	15	10/12/02
	22	3036	3049	14	10/12/02
	23	3080	3069	12	10/12/02

FIUME	STRISCIATA	DAL FOT.	AL FOT.	N° FOT.	DATA RIPRESA
	24	3094	3087	8	10/12/02

5.2. Delimitazione dei campi di allagamento

L'individuazione delle aree soggette a esondazione è stata condotta attraverso l'analisi stereoscopica dei fotogrammi.

Il procedimento seguito ha riguardato l'individuazione sia delle aree allagate al momento della ripresa aerea, sia delle tracce del passaggio delle acque di piena sui terreni agricoli, sulle infrastrutture viarie e nei centri abitati.

Nei casi più complessi la perimetrazione dei campi di allagamento è stata completata, sulla base dell'interpretazione della dinamica di allagamento, correlando tra loro aree che, per ragioni topografiche o geomorfologiche, hanno costituito vie di deflusso o zone di invaso delle acque di piena.

In alcuni contesti sono state inoltre identificate e delimitate le zone in cui gli allagamenti sono stati prodotti dalla rete idrografica minore artificiale di scolo e di irrigazione attraverso uno specifico segno grafico. Questa rappresentazione è stata inoltre completata attraverso l'individuazione della traccia planimetrica del corso d'acqua responsabile dell'esondazione.

L'analisi stereoscopica dei fotogrammi ha inoltre consentito di individuare le forme geomorfologiche prodotte dalla piena ed in particolare dei seguenti elementi.

Rotture di argine o di rilevato: sono stati indicati tutti i punti in cui sono avvenute rotture di arginature o di rilevati in seguito al carico idraulico o al flusso generato dalla piena; in corrispondenza delle rotture sono state inoltre identificate qualora presenti le forme di erosione conseguenti al transito dell'acqua attraverso la breccia.

Solchi di erosione: con segno grafico simbolico orientato sono state indicate le forme di erosione generate dalla piena con la direzione del flusso che le ha generate;

Erosioni spondali: sono stati identificati e segnalati i tratti di sponda in corrispondenza dei quali l'evento di piena ha prodotto per erosione un arretramento apprezzabile della stessa;

Paleoforme riattivate: sono rappresentate dai canali situati sul primo terrazzo alluvionale che si sono riattivati nel corso della piena.

5.3. Cartografia














Gli elementi rilevati sulla base dell'analisi e della interpretazione delle fotografie aeree sono stati trasferiti in prima battuta sulla cartografia tecnica regionale alla scala 1:10.000 della Regione Lombardia in quanto tale supporto garantisce i riferimenti necessari per una corretta georeferenziazione delle informazioni.

Gli stessi elementi sono stati in un secondo momento digitalizzati a video sulla base sia della cartografia tecnica che dell'ortofoto digitale prodotta per la realizzazione dello studio di fattibilità della sistemazione idraulica dell'Adda e dei suoi affluenti.

La legenda utilizzata per la rappresentazione degli elementi rilevati comprende una serie di informazioni accessorie necessarie per la corretta descrizione del contesto geografico ed è funzionale alla rappresentazione dei temi sulla base dell'ortofoto digitale a colori.

Legenda

Campi di allagamento

	alveo inciso
	aree inondate dall'Adda
	aree inondate dalle reti idrografiche minori e dai canali irrigui
	form a deposizionale
	Rottura di argine o di rilevato
	Erosione spondale
	Solchi di erosione
	Paleoform e riattivate
	Rete idrografica minore
	Limite (*) tra la Fascia A e la Fascia B
	Limite (*) tra la Fascia B e la Fascia C
	Limite (*) e sterno della Fascia C
	Limite (*) di progetto tra la fascia B e la Fascia C

La scala prescelta per la rappresentazione della cartografia è quella 1:25.000, mentre il taglio cartografico prescelto è l'UNI A3.

Il prodotto cartografico comprende un totale di 15 tavole e rappresenta il corso del Fiume Adda da Olginate alla confluenza in Po.

5.4. Effetti dell'evento alluvionale

Il quadro conoscitivo delineato ha evidenziato che lungo l'Adda l'evento alluvionale ha prodotto situazioni notevolmente diversificate.

Nel tratto di monte compreso tra Olginate e Canonica d'Adda (confluenza Brembo) l'evento alluvionale è stato interamente contenuto nell'alveo ordinario producendo come effetti solo l'aggravamento dell'erosione sul fondo alveo e sulle sponde già in atto.

A valle di Canonica d'Adda la corrente di piena ha iniziato ad interessare le aree golenali producendo effetti erosivi ed in particolare solchi di erosione in corrispondenza dei punti di sormonto delle scarpate dei terrazzi golenali. Sono inoltre visibili consistenti effetti di erosione sulle sponde dell'alveo inciso in corrispondenza delle anse e dei tratti a maggiore incisione. In corrispondenza del centro abitato di Rivolta d'Adda, il cedimento di un rilevato arginale in sinistra ha causato l'allagamento della parte bassa dell'abitato, transitando in corrispondenza di alcuni canali di irrigazione ormai ricompresi nel tessuto urbanizzato.

A valle di Rivolta d'Adda la piena ha interessato gran parte della fascia di migrazione dei meandri riattivando numerose paleoforme.

In corrispondenza di Lodi particolare evidenza hanno avuto gli effetti dell'esondazione della rete artificiale di scolo che in molti tratti (ed in particolare delle zone urbanizzate) non è stata in grado di contenere le portate in transito.

A valle di Lodi la fascia di migrazione dei meandri è risultata quasi completamente allagata e questa tendenza si è manifestata fino all'imbocco del tratto arginato a Pizzighettone.



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

Rapporto sulla piena del novembre 2002 in Lombardia

FIUME ADDA SOTTOLACUALE

Allegato 1

**Massime intensità di pioggia nelle stazioni di misura
per durate da 1 a 24 ore e da 1 a 5 giorni**

2^a VERSIONE

Parma, aprile 2003



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

Rapporto sulla piena del novembre 2002 in Lombardia

FIUME ADDA SOTTOLACUALE

Allegato 2

**Distribuzione planimetrica delle piogge intense per
durata da 1 a 24 ore e da 1 a 5 giorni**

2^a VERSIONE

Parma, aprile 2003



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO
PARMA

Rapporto sulla piena del novembre 2002 in Lombardia

FIUME ADDA SOTTOLACUALE

Allegato 3 Delimitazione dei campi di allagamento

2^a VERSIONE

Parma, aprile 2003