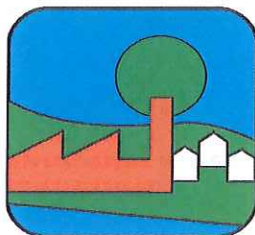


PARCO REGIONALE VALLE DEL LAMBRO



PROGETTO ESECUTIVO

OPERE DI RISTRUTTURAZIONE DEL CAVO DIOTTI IN COMUNE DI MERONE (CO)

DICEMBRE 2011

UN DIRETTORE TECNICO
Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI
FIRMA DEL PROGETTISTA
Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI
CALCOLI IDRAULICI
Dott. Ing. NOEMI MARIA COLOMBO

	NOME	FIRMA	DATA
REDAZIONE	N.M. Colombo		
VERIFICA	G.B. Peduzzi		
APPROVAZIONE	G.B. Peduzzi		



20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264
fax (02) 26681553 - E-Mail: etatec@etatec.it

TITOLO

RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA

Revisioni	N°	Descrizione	Data	
	1			
	2			
	3			
Numero elaborato	TIPOLOGIA	COMMESSA	DOCUMENTO	NUMERO
	PE	365/02	ED	A.02.01

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. IL MODELLO IDROLOGICO DEL BACINO DEL FIUME LAMBRO.....	3
2.1 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA	3
2.2 IETOGRAMMI CHICAGO ED EVENTI DI PROGETTO	4
2.3 RAGGUAGLIO DELLA PRECIPITAZIONE SULL'AREA	6
2.4 DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI.....	7
3. BACINO DEL FIUME LAMBRO.....	9
3.1 GEOMETRIA DELL'EMISSARIO DEL LAGO DI PUASIANO	14
4. MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI	19
4.1 IL MODULO NAM PER I BACINI PIANEGGIANTI CON RIDOTTA PERCENTUALE DI AREE URBANE.....	19
4.2 IL MODULO NAM-URBANO PER I BACINI PIANEGGIANTI CON ELEVATA PERCENTUALE DI AREE URBANE.....	21
4.3 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI	23
4.4 RISULTATI OTTENUTI	24
5. LE PORTATE DI VERIFICA E DIMENSIONAMENTO.....	38
6. INTERVENTO DI PROGETTO.....	39
6.1 NECESSITÀ DI REGOLAZIONE DEL LAGO DI PUSIANO	39
6.2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO SUL CAVO DIOTTI	43
6.3 I LIMITI DI GESTIONE	43
6.4 LA REGOLA DI GESTIONE	45
6.4.1 Le portate defluenti.....	47
7. IL REGIME DEL TRATTO TOMBATO.....	49
8. VERIFICHE IDRAULICHE SULLO SBARRAMENTO	52
8.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E ASSUNZIONI.....	52
8.2 VERIFICA DELL'ONDA DI PIENA MILLENARIA	54
8.3 VERIFICA DELLE MANOVRE "RAPIDE".....	55
8.4 VERIFICA DEL COLLASSO DELLA DIGA	58
9. IL CAVO DIOTTI: COMPATIBILITÀ P.A.I.	59
9.1 CONTENUTI E CRITERI	59
9.1.1 E1: modifiche del profilo	59
9.1.2 E2: riduzione della capacità di invaso	61
9.1.3 E3: interazioni con opere esistenti	61
9.1.4 E4: interazioni con opere in progetto.....	61
9.1.5 E5: modifiche dell'assetto morfologico, piano – altimetrico	61
9.1.6 E6: modifiche sulle caratteristiche naturali – paesaggistiche	62

9.1.7 E7: condizioni di sicurezza	62
10. CONCLUSIONI	64

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

1. PREMESSA

Nell'ambito della progettazione delle opere di ristrutturazione del Cavo Diotti, è necessario definire esattamente l'idrometria, la geometria e gli aspetti idraulici del sistema in studio.

Gli scriventi studiano da oltre 30 anni il sistema fiume Lambro e quindi possono produrre in allegato tutti i risultati via via maturati e approvati da Regione Lombardia e Autorità del Bacino del Fiume Po.

In tale percorso si è consolidata la convinzione, verificata nel novembre 2002, di come l'evento critico non possa essere definito da ietogrammi caratterizzati solo da importanti portate al colmo in funzione del tempo di ritorno, ma anche da durate estese degli stessi. La durata, nella quale perdurano elevati valori di portate, risulta un fattore di massimo rilievo per la verifica degli effetti di laminazione esercitati naturalmente dal lago di Pusiano e che si vogliono ottimizzare attraverso le opere in progetto.

Tale caratteristica è da leggere quindi abbinata alla geometria del sistema oggetto d'intervento e delle sue condizioni al contorno. Questo implica la conoscenza sia delle caratteristiche dei bacini che contribuiscono al valore delle portate per definire i parametri di modellazione della trasformazione afflussi-deflussi, sia dell'andamento vero e proprio del tratto di alveo interessato dal progetto. Il tratto in questione non si individua nel percorso del sistema emissario del lago di Pusiano fino alla confluenza del Cavo Diotti in loc. Stallo, ma dal bacino definito dalla sezione di chiusura in via Dante, in comune di Lambrugo, al fine di considerare le condizioni al contorno del sistema. Lo studio del bacino descritto è affrontato attraverso l'adozione di un modello in MIKE 11, cioè di uno stralcio del modello esistente, implementato dagli scriventi, che considera il bacino del fiume Lambro con sezione di chiusura a Milano, confluenza a Redefossi. Il suddetto modello è stato tarato su eventi reali e approvato dall'Autorità di Bacino del fiume Po (AdBPo). Attualmente risulta essere lo strumento principe, continuamente aggiornato e validato, adottato dalla Protezione Civile della Regione Lombardia, per la previsione e gestione di eventi di piena nel fiume Lambro.

È da sottolineare che allo stato attuale il Cavo Diotti è registrato come grande diga, presso il Registro Italiano Dighe, nonostante le forti anomalie che risultano dal confronto tra il

manufatto esistente ed il classico schema di diga.

Mentre nel 2009 si era proceduto alla redazione del progetto definitivo considerando il sistema Cavo Diotti una derivazione, in virtù di un avviato procedimento di declassamento dell'opera, oggi il sistema Cavo Diotti si conferma grande diga.

La presente relazione idrologica – idraulica è quindi integrata e approfondita al fine di fornire tutte le informazioni relative alle verifiche e alle prove necessarie da normativa, in particolare:

- alle prescrizioni formulate dall'Ufficio Tecnico per le Dighe di Milano che richiedono gli studi sulle onde di piena (circolari 1125/86 e 352/87);
- alle integrazioni richieste da AIPO relative alle verifiche del sistema di valle (DPR 1363/59 e s.m.i., alle verifiche P.A.I. all'art. 38 (punti E1-E2-E3-E4-E5-E6-E7).

2. IL MODELLO IDROLOGICO DEL BACINO DEL FIUME LAMBRO

2.1 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

Lo studio delle curve di possibilità pluviometrica¹ è stato effettuato per l'intero territorio di indagine dell'ambito idrografico Lambro – Olona, in studi precedenti. Da tali curve si sono determinate per l'intero territorio le isolinee per i parametri n ed $a(T)$; ad ogni sottobacino è stato poi attribuito il valore medio dei parametri $a(T)$ ed n .

Nella Tabella 1 sono riportati per ogni sottobacino i valori dei suddetti parametri per diversi tempi di ritorno.

Tabella 1 – Parametri a ed n delle CPP²

Nome bacino	n	a ($T=200$)	a ($T=500$)	a ($T=1000$)
LAM1A	0.34	75	80	86
REZ	0.34	75	80	86
FOC	0.34	75	80	86
BIS	0.34	75	80	86
RAV	0.34	75	80	86
BOV	0.34	75	80	86
LAM1B	0.34	75	80	86
LAM1C	0.34	75	80	86
LAM2	0.32	95	110	119
LAM3A	0.32	90	105	113
LAM3B	0.32	90	105	113
LAM4	0.32	95	110	119
LAM5	0.31	100	120	129
BEV1AB	0.29	105	125	135
GAN	0.29	105	125	135
PAS	0.29	105	125	135
BEV1C	0.29	105	125	135

Per quanto riguarda i bacini afferenti ai laghi di Pusiano e di Alserio si è scelto, con riferimento al tempo di ritorno di 200 e 500 anni di non utilizzare le curve di possibilità pluviometrica, ma la precipitazione reale verificatasi durante l'evento di fine novembre 2002. Tale evento ha un elevato valore del tempo di ritorno ($T \sim 200$ anni) per le lunghe durate (15 giorni), ma un modesto valore ($T < 2$ anni) per brevi durate (< 1 giorno). Pertanto per i bacini affluenti ai laghi di Pusiano e di Alserio, non sono riportati i parametri a ed n , ma il nome della stazione pluviometrica di riferimento di Caslino d'Erba.

¹ Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona", 2004

² I nomi dei bacini sono per comodità i medesimi già esposti e adottati nel modello in uso presso la Protezione Civile della Regione Lombardia.

Come detto, tale scelta deriva dalla constatazione che gli invasi di Alserio e Pusiano entrano in crisi non per piogge brevi ed intense, ma per precipitazioni prolungate nel tempo. La presenza dei due laghi caratterizza il bacino del Lambro rispetto ai restanti corsi d'acqua dell'ambito idrografico nord milanese.

I valori dei parametri idrologici per l'evento critico di progetto sono quindi riportati in Tabella 2.

Tabella 2 – Parametri a ed n adottati per l'evento di progetto dell'intervento descritto

Nome bacino	N	a ($T=10$)	a ($T=200$)	a ($T=500$)
LAM1A	0.34	50	Caslino	Caslino
REZ	0.34	50	Caslino	Caslino
FOC	0.34	50	Caslino	Caslino
BIS	0.34	50	Caslino	Caslino
RAV	0.34	50	Caslino	Caslino
BOV	0.34	50	Caslino	Caslino
LAM1B	0.34	50	Caslino	Caslino
LAM1C	0.34	50	Caslino	Caslino
LAM2	0.32	55	Caslino	Caslino
LAM3A	0.32	55	Caslino	Caslino
LAM3B	0.32	55	Caslino	Caslino
LAM4	0.32	55	95	110
LAM5	0.31	56	100	120
BEV1AB	0.29	58	105	125
GAN	0.29	58	105	125
PAS	0.29	58	105	125
BEV1C	0.29	58	105	125

2.2 IETOGRAMMI CHICAGO ED EVENTI DI PROGETTO

Tra le diverse possibilità adottabili per descrivere le piogge sintetiche utilizzate nella progettazione di opere idrauliche, si è applicato lo ietogramma Chicago. L'assunzione dello ietogramma Chicago è stata determinata da favorevoli caratteristiche, le principali sono: andamento temporale non costante dell'intensità di precipitazione, caratterizzato in particolare dalla presenza di un picco d'intensità posto all'interno della durata complessiva dell'evento e che separa due rami rispettivamente crescente, prima del picco, e decrescente, dopo il picco, aventi andamento esponenziale; congruità tra le intensità medie dello ietogramma e quelle definite dalla curva di possibilità pluviometrica per qualsiasi durata parziale attorno al picco minore o uguale a quella dello ietogramma complessivo.

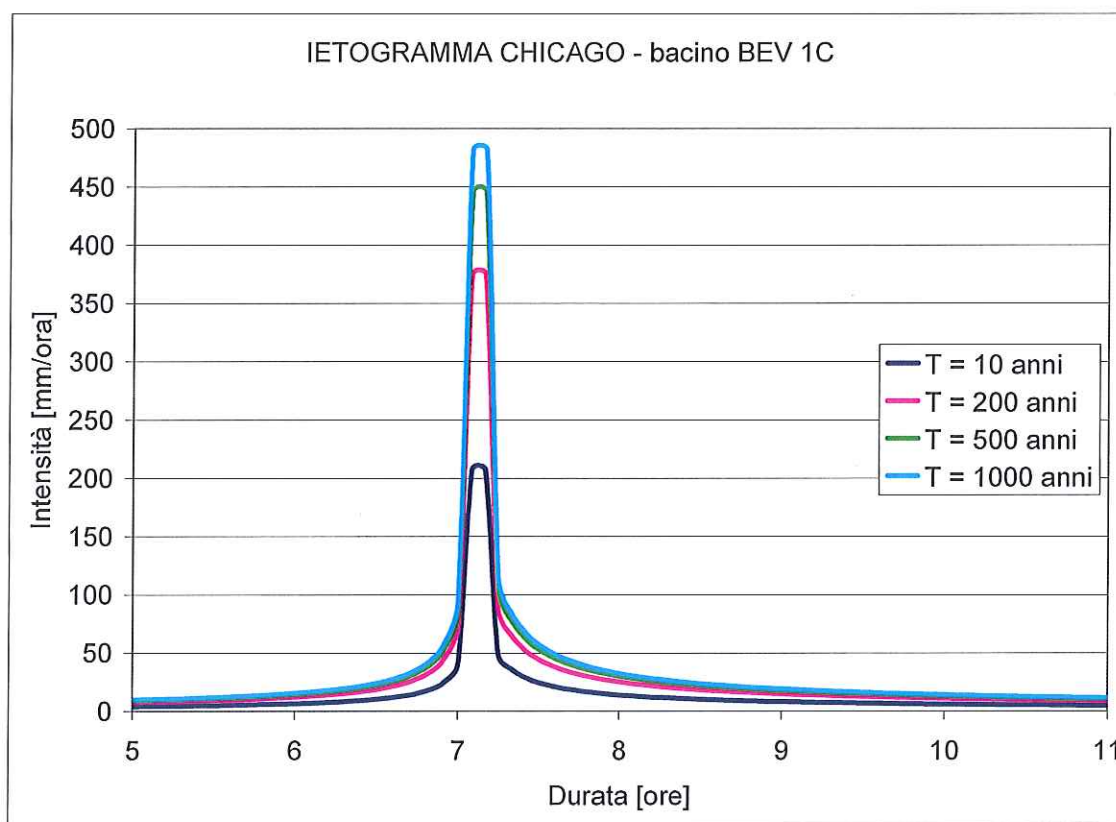
L'utilizzo dello ietogramma Chicago presenta molteplici vantaggi largamente messi in luce dagli studi specializzati di settore.

Anzi tutto è da sottolineare come tale ietogramma conduca a riprodurre onde di piena poco sensibili rispetto alla durata totale dell'evento meteorico, poiché un aumento di essa ha effetto

solo sul prolungamento delle code iniziale e finale dello ietogramma ove l'intensità è minore. Inoltre uno stesso ietogramma Chicago, proprio perché è congruente con la curva di possibilità pluviometrica per ogni durata parziale attorno al picco, risulta contenere le piogge critiche di ogni sottobacino del bacino complessivo, purché la durata totale dello ietogramma sia maggiore del tempo di risposta del bacino complessivo. Esso quindi evita la ricerca dell'evento critico specifico di ogni sottobacino, ricerca che, anche se priva di difficoltà concettuali, diviene pesante quando un bacino, come ad esempio quello del fiume Lambro, sia suddiviso in diversi sottobacini ed occorra ogni volta procedere a molteplici simulazioni riferite a differenti tempi di ritorno e a differenti scenari di intervento.

Si ponga poi attenzione sul fatto che la presenza del picco dello ietogramma Chicago consente di evitare gli errori di sottostima delle portate al colmo conseguenti, soprattutto nei bacini di piccole e medie dimensioni, diversamente dall'adozione dello ietogramma costante, assai diffuso nelle elaborazioni idrologiche anche perché particolarmente semplice e ben maneggiabile nei modelli matematici.

Figura 2.1 – Esempio di ietogramma Chicago, di durata 24 ore, r pari a 0,3 e passo temporale di discretizzazione 5 minuti



Si deve peraltro ricordare che lo ietogramma Chicago, poiché rispetta la curva di possibilità

pluviometrica per ogni durata parziale, è caratterizzato da un tempo di ritorno maggiore di quello nominale, con conseguente sovrastima dell'onda di piena. Nondimeno l'eventuale sovrastima è da considerarsi positivamente nel campo della pianificazione in cui le valutazioni devono essere a carattere prudenziale, tenendo conto delle inevitabili approssimazioni di tutte le elaborazioni idrologiche.

Per il calcolo dello ietogramma Chicago si è utilizzato il software URBIS³ che richiede come dati in ingresso: i parametri a e n della prescelta curva di possibilità pluviometrica; la durata della pioggia; il parametro r che definisce la posizione del picco all'interno della durata complessiva.

Per il bacino del Lambro chiuso al ponte di via Dante, a Lambrugo, la durata dello ietogramma è stata assunta pari a 24 ore e il parametro r è stato assunto pari a 0,3. La Figura 2.1 mostra, a titolo di esempio, gli ietogrammi Chicago relativi ad uno dei sottobacini del Lambro, corrispondenti ai tempi di ritorno sopra citati.

2.3 RAGGUAGLIO DELLA PRECIPITAZIONE SULL'AREA

Poiché il modello afflussi – deflussi più oltre descritto è stato utilizzato per la simulazione distribuita di ogni sottobacino posto all'interno dell'intero bacino del Lambro in studio (168 km²) chiuso al ponte di via Dante, nel comune di Lambrugo, è stato necessario individuare i coefficienti correttivi di ragguaglio delle precipitazioni a tale valore dell'area.

Precisamente ogni ietogramma Chicago, individuato come sopra detto per ogni sottobacino, deve essere moltiplicato per il coefficiente di ragguaglio riferito al bacino complessivo, allo scopo di tener conto sia pure in modo sintetico della disuniformità della distribuzione spaziale delle piogge legata al movimento delle celle temporalesche.

In proposito è opportuno sottolineare come tale disuniformità sia sempre molto pronunciata negli eventi reali, tanto che è usuale l'osservazione di parti di bacino fortemente investite da forti meteore mentre altre parti del bacino non lo sono, o lo sono state in tempi diversi.

La letteratura è ricca di studi in proposito, anche se in ogni caso i detti coefficienti correttivi mantengono inevitabilmente una notevole dose di empirismo e quindi di incertezza.

Giova ricordare però che i coefficienti correttivi devono in linea logica essere due.

Il primo è il classico coefficiente di riduzione del volume di pioggia all'area; esso tiene conto che il volume complessivo di pioggia considerato nello ietogramma di progetto come sopra

³ Mignosa P., Paoletti A.: URBIS: Un programma di idrologia urbana, Istituto di Idraulica, Politecnico di Milano, 1986

calcolato, da intendersi riferito al centro di scroscio, deve essere ridotto all'aumentare dell'area del bacino per tener conto del fatto che statisticamente altri punti del bacino sono investiti da piogge minori. Il detto coefficiente è quindi minore dell'unità. In proposito, tenuto conto dell'intento pianificatorio dello studio e della necessità di procedere con assunzioni di tipo cautelativo legate alla protezione idraulica del territorio per eventi a carattere straordinario, si è assunto un unico valore del coefficiente di ragguaglio, costante per tutti i sottobacini, pari a 0,9; tale valore è stato ottenuto, in media, applicando per i sottobacini in esame le formule di letteratura (Columbo, Procedura Wallingford, Moisello).

Il secondo è meno diffuso nella pratica idrologica, anche se è decisamente importante come dimostrano alcuni studi (ad esempio, Shilling; Niemczynowicz; Mignosa e Paoletti). Si tratta infatti di un coefficiente correttivo, questa volta maggiore dell'unità, che tiene conto del fatto che l'onda di piena che consegue ad un determinato ietogramma presenta volumi e portate al colmo maggiori qualora la precipitazione avvenga con distribuzione disuniforme nello spazio, rispetto al caso in cui uno ietogramma di pari forma e volume avvenga uniformemente nello spazio. In altri termini, se lo ietogramma che si immette nel modello è lo stesso per tutti i sottobacini, è da attendersi che l'idrogramma che ne consegue sia sottostimato rispetto a quello che si otterrebbe se lo stesso volume complessivo di precipitazione fosse immesso nel modello con distribuzione spaziale disuniforme. Tale comportamento dipende dal carattere non lineare delle perdite idrologiche, che sottraggono volumi di precipitazione non proporzionali agli afflussi lordi.

Pertanto, adottando, come prima detto, per tutti i sottobacini del Lambro uno ietogramma Chicago corretto con il medesimo coefficiente di riduzione all'area pari a 0,9, e dovendosi conseguentemente attendere che le onde di piena siano affette da sottostime dei volumi e delle portate, occorre correggere gli ietogrammi in input con un coefficiente maggiore di 1, allo scopo di compensare tali sottostime.

Anche se gli studi disponibili concordano su tale aspetto, tuttavia le proposte in merito sono ancora poco documentate.

Nel caso di interesse, tenuto conto dei ricordati caratteri dello studio, si è assunto per tale coefficiente il valore 1.1.

2.4 DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI

Nel simulare la risposta del bacino del fiume Lambro non è stata assunta l'ipotesi di contemporaneità dell'evento meteorico sull'intero bacino. È realistico pensare che due

sottosistemi come il “sistema lago” (bacino afferente ai laghi di Pusiano e di Alserio) ed il “sistema naturale” (bacino naturale compreso tra i laghi e la sezione di chiusura in comune di Lambrugo) siano considerabili come due sottosistemi indipendenti dal punto di vista della distribuzione della precipitazione, tenendo in conto anche quanto già affermato nel capitolo 2.3.

Si è di conseguenza inserita la precipitazione del sottosistema naturale, compreso tra Pusiano e Lambrugo, in modo da porre praticamente in fase il colmo dell’onda in uscita dai laghi con i colmi delle onde dei bacini naturali; ovviamente all’interno del sottosistema si è applicata l’ipotesi di contemporaneità delle precipitazioni per tutti i sottobacini naturali.

3. BACINO DEL FIUME LAMBRO

La comprensione dell'importanza del nodo idraulico che si realizza nel comune di Merone, e quindi delle sue potenzialità in termini di mitigazione del rischio idraulico, non può prescindere dalla conoscenza del territorio in cui esso si inserisce: il bacino del fiume Lambro. Nei seguenti capitoli sono quindi riportate le descrizioni del bacino e, di conseguenza, i calcoli per la determinazione delle portate di piena.

La progettazione e verifica di ogni sistema idraulico ha infatti come base imprescindibile la determinazione delle portate di progetto.

Nel seguito si è quindi descritto il bacino del fiume Lambro afferente il lago di Pusiano e il bacino immediatamente a valle.

La descrizione ed i calcoli sono derivati (con gli aggiornamenti tratti dall'analisi degli eventi successivi) dallo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona – Autorità di Bacino del Fiume Po-2004", a cui gli scriventi hanno collaborato e che costituisce il riferimento più aggiornato in materia idrologica nella zona.

Il fiume Lambro ha origine nel Triangolo Lariano, nelle Prealpi racchiuse tra i due rami del lago di Como, in Comune di Magreglio a quota 1300 m s.m. circa. Il corso d'acqua prelacuale si sviluppa in direzione nord-sud per un primo tratto sino a Canzo, in direzione est-ovest sino a Ponte Lambro e quindi nuovamente in direzione nord-sud sino al lago di Pusiano nel quale si immette, in Comune di Erba, a seguito della rettifica e della bonifica eseguita.

All'uscita dal lago di Pusiano il corso d'acqua riprende andamento con direzione prevalente nord-sud e giunge a Villasanta, prima di attraversare il Parco di Monza, percorrendo un fondovalle prevalentemente incassato.

La zona che si estende dal Parco di Monza a Sesto San Giovanni, fino alle porte di Milano, è caratterizzata da un corso ricco di anse e meandri, incassato nell'alveo ordinario dalla serie quasi continua di insediamenti circostanti. Questo corso ordinario risulta immerso in un alveo di massima piena ampio e coronato da un terrazzamento continuo ed evidente soprattutto in sponda destra. In questa zona le sponde del Lambro sono quasi ininterrottamente cinte da insediamenti abitativi e produttivi, per la maggior parte edificati entro l'alveo di piena e quindi in aree sottratte alla naturale espansione del fiume.

A questa parte ne segue una, ad est di Milano, in cui il fiume scorre con pendenza modesta in campagna, in un alveo ordinario tendenzialmente rettilineo, contenuto in arginature artificiali

che in talune zone ne impediscono l'espansione nelle aree circostanti.

Rispetto ad altri fiumi, il Lambro presenta un'importante particolarità: non riceve per un lungo tratto compreso tra Villasanta e l'immissione del Redefossi (limite sud del "sistema urbano") afflussi naturali: in tale tratto sono presenti solamente affluenti di origine artificiale, costituiti dagli scaricatori di piena e dai terminali dei sistemi fognari comunali e consortili.

A valle il fiume Lambro scorre tra paesi e terreni a destinazione agricola fino alla confluenza con il fiume Po.

A partire da quanto descritto, il bacino del Lambro può essere suddiviso sostanzialmente in quattro sistemi che offrono caratteristiche pressoché omogenee al loro interno:

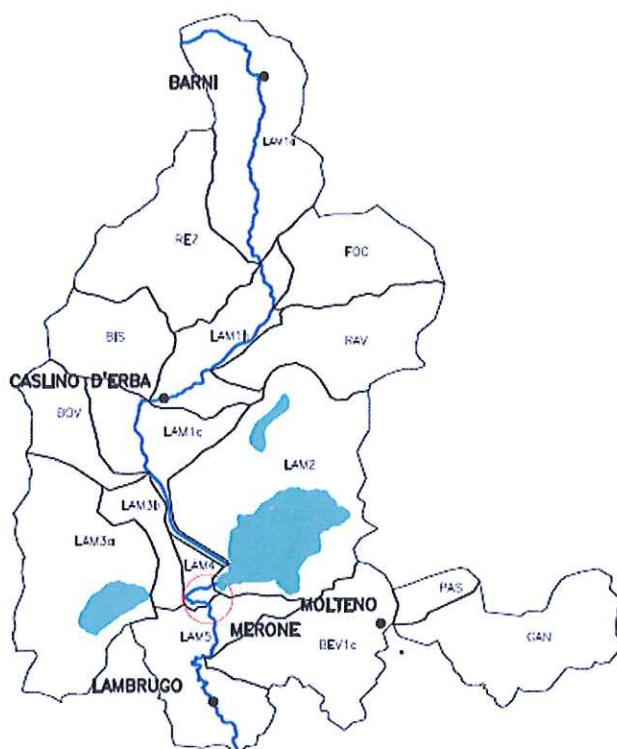
- la prima parte del bacino (*sistema lago*), situata a monte del lago di Pusiano, presenta numerosi piccoli corsi d'acqua a regime torrentizio, con pendenze generalmente elevate (torrenti Lambretto, Valle di Rezzago, Foce, Ravella, Bistonda, Bova). Al termine di questa parte il fiume diminuisce la sua pendenza sino a confluire nel lago di Pusiano dove deposita notevoli quantità di detriti che ne caratterizzano il conoide; in tale porzione di bacino può anche essere incluso il bacino afferente al lago di Alserio che ha un comportamento simile al lago di Pusiano;
- la seconda parte (*sistema naturale*), compresa tra il lago di Pusiano e il comune di Villasanta (a monte del comune di Monza), presenta versanti acclivi o mediamente acclivi ed è caratterizzato da urbanizzazione ridotta; in tale porzione del bacino sono presenti alcuni affluenti, tutti localizzati in sinistra idraulica, di cui i principali sono: Bevera di Molteno, Bevera di Veduggio, Bevera di Renate, Roggia Brovada, Roggia Pegorino e Roggia Molgorana;
- la terza parte (*sistema urbano*), compreso tra il comune di Monza e la periferia sud-est di Milano, fino alla confluenza del Deviatore Redefossi, presenta versanti pressoché pianeggianti ed un'elevata urbanizzazione; il contributo di tale porzione di bacino è interamente derivante dagli scaricatori delle reti fognarie comunali e consortili;
- la quarta parte del bacino (*sistema irriguo*), compreso tra la confluenza con il Deviatore Redefossi e il fiume Po, è costituito da terreni pianeggianti nei quali è presente un vasto reticolo irriguo; all'interno di tale bacino vi è la confluenza tra il Lambro e il Lambro Meridionale.

Il deflusso uscente dal "sistema lago" è ovviamente influenzato dai fenomeni d'invaso e svaso

del lago di Pusiano e del lago di Alserio, pertanto tale porzione di bacino produce un idrogramma in ingresso al Lambro con picchi poco accentuati e durate delle onde di piena molto prolungate.

Nel “sistema naturale” i deflussi in ingresso al Lambro dipendono prevalentemente dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, mentre i deflussi del “sistema urbano” risultano influenzati principalmente dalla capacità di smaltimento delle fognature comunali e consortili. A fronte di quanto descritto, la superficie complessiva analizzata nella presente relazione comprende il sistema lago e parte del sistema naturale: si considera come sezione di chiusura del bacino il ponte di via Dante, nel comune di Lambrugo (sezione AdBPo LA127). La porzione più a valle del bacino non offre condizioni al contorno che si riflettono sul comportamento del nodo idraulico in studio, sebbene a sua volta è fortemente condizionata dalla gestione dello stesso.

Figura 3.1 – Schematizzazione del bacino analizzato al fine di studiare il nodo idraulico, evidenziato in rosso, nel comune di Merone



In Tabella 3 sono riportate le superfici relative ai singoli sottobacini in cui è stato scomposto il bacino idrografico del fiume Lambro considerato. Per ogni sottobacino sono riportati i seguenti dati: nome sottobacino (es. LAM1), superficie complessiva, superficie aree extraurbane (relativo a LAM1N), superficie aree urbanizzate (relativo a LAM1U), sezione o

tratto del corso d'acqua nel quale il sottobacino recapita il proprio contributo ed alcune note (es. nome affluente).

All'interno delle note è inoltre riportato il caso in cui il sottobacino contribuisce agli afflussi solo per la componente urbana attraverso la rete fognaria e non contribuisce per la componente extraurbana, a causa dell'assenza di reticolo superficiale di recapito nel fiume Lambro e di ridotte pendenze del piano campagna. Per i bacini montani e pedemontani, l'esistenza di un reticolo idrografico superficiale e la pendenza del piano campagna fanno sì che la superficie contribuyente sia pari a quella complessiva del sottobacino (area urbana e area extraurbana).

Il modello idrologico adottato, di seguito descritto, tratta pertanto differently i tributari naturali dai tributari artificiali: in primo luogo poiché diversi sono i tempi di risposta dei bacini naturali e dei bacini urbani; in secondo luogo poiché il reticolo artificiale presenta portate massime ammissibili ben definite ed in genere limitate a valori associabili a circa 2-10 anni di tempo di ritorno (valori per i quali le reti fognarie urbane dell'area in oggetto sono insufficienti). Questo limite, in caso di eventi eccezionali, induce in determinate zone, servite da un unico collettore che allaccia il bacino artificiale al corso d'acqua, fenomeni di allagamento diffuso e pertanto una laminazione dei deflussi: in tali casi le immissioni in alveo risultano localizzate in corrispondenza di punti ben precisi (scaricatori di piena).

Tabella 3 – Sottobacini del Fiume Lambro

Nome bacino	Superficie [kmq]	Applicazione bacino			Note
		concentrato [sez.]	distribuito		
			da [sez.]	a [sez.]	
LAM1A	15.36		Lambrone		Bacino prelacuale
LAM1AN	14.59				
LAM1AU	0.77				
REZ	12.13	Lambrone			Affluente Rezzago
REZN	11.45				
REZU	0.68				
FOC	8.15	Lambrone			Affluente Foce
FOCN	7.48				
FOCU	0.67				
BIS	6.85	Lambrone			Affluente Bistonda
BISN	6.67				
BISU	0.18				
RAV	10.09	Lambrone			Affluente Ravella
RAVN	8.64				
RAVU	1.45				
BOV	4.75	Lambrone			Affluente Bova
BOVN	4.58				

BOVU	0.17				
LAM1B	7.14		Lambrone		Bacino prelacuale
LAM1BN	5.59				
LAM1BU	1.55				
LAM1C	6.97		Lambrone		Bacino prelacuale
LAM1CN	5.08				
LAM1CU	1.89				
LAM2	22.86	LA 132.19			Bacino Lago Pusiano
LAM2N	18.92				
LAM2U	3.94				
LAM3A	16.51	LA 132.12			Bacino Lago Alserio
LAM3AN	12.67				
LAM3AU	3.84				
LAM3B	3.2	LA 132.12			Bacino Lago Alserio Erba
LAM3BN	1.03				
LAM3BU	2.17				
LAM4	1.38		LA 132.18	LA 132.8	Merone
LAM4N	0.82				
LAM4U	0.56				
LAM5	10.2		LA 132.7	LA 124.3	Lambrugo
LAM5N	7.63				
LAM5U	2.57				
BEV1A-B	18.28	Bevera			Affluente Bevera Molteno a monte confluenza Gandaloglio
BEV1AN	12.6				
BEV1AU	5.68				
BEV1C	10.73	Bevera			Affluente Bevera Molteno
BEV1CN	7.95				
BEV1CU	2.78				
GAN	11.11	Bevera			T. Gandaloglio (affluente della Bevera di Molteno)
GANN	9.01				
GANU	2.1				
PAS	1.98	Bevera			Fosso del Pascolo (Affluente della Bevera di Molteno)
PASN	1.81				
PASU	0.17				

Come emerge dalla precedente tabella si osserva che dei 18 sottobacini in cui è stato suddiviso il bacino del fiume Lambro, fino al ponte di via Dante, (Lambrugo), ben 11 sono situati nel “sistema lago”, cioè in un ambito montano e fortemente naturale, e solamente 7 del “sistema naturale”. Tali bacini comprendono una superficie complessiva pari a 168 km².

Si sottolinea inoltre che il bacino sotteso dai laghi di Pusiano e di Alserio ha un'estensione di circa 111 km², pari al 66% del bacino esaminato. Il bacino diretto del lago di Pusiano ha un'estensione di 94,3 km².

3.1 GEOMETRIA DELL'EMISSARIO DEL LAGO DI PUSIANO

Ai fini di comprendere la natura del sistema “Cavo Diotti” nel seguito si evidenzia la struttura dell'emissario del lago di Pusiano.

L'incile del lago di Pusiano è posto in corrispondenza dell'estremo ovest dello stesso (alle coordinate E 1519511 N 5070906 – sistema Gauss-Boaga) in comune di Merone. Dall'incile si diparte un unico canale che, dopo un tratto di circa 170 m, si biforca: verso est prosegue l'emissario naturale; verso sud-est si dirama la derivazione costituita dal Cavo Diotti.

La quota di fondo dell'incile è pari a circa 258,70 m s.m.. Tale quota, come descritto nel seguito, non rappresenta tuttavia il classico incile di lago in quanto l'emissario naturale, verso valle, presenta valori di fondo alveo maggiori.

Già in corrispondenza della biforcazione tra emissario naturale e derivazione del cavo Diotti (zona interna al perimetro del lago) le quote risultano pari a:

- emissario naturale: 258,70 m s.m.;
- cavo Diotti: 257,40 m s.m..

L'emissario naturale prosegue quindi aggirando con un ampio meandro l'abitato di Merone, attraversando il quartiere di Ponte Nuovo, con quote di fondo oscillanti con tendenza crescente sino ad un massimo pari a 259,15 m s.m. circa in corrispondenza della confluenza dell'emissario del lago di Alserio. A valle la quota di fondo decresce sino a valori minimi di circa 257,70 m s.m. sino alla traversa posta in località Stallo di Merone (appena a monte dello sbocco del cavo Diotti – tratto tombato – Figura 3.2). Tale traversa presenta coronamento a quota 259,15 m s.m.. Da quanto esposto si evidenzia come l'emissario naturale del lago di Pusiano sia regolato sostanzialmente dalla quota 259,15 m s.m. e come tale livello sia il minimo “naturale” del lago ed il livello definito “normale” nei documenti storici.

A conferma di tale situazione è la storica collocazione e funzione di un manufatto detto “Pietra di S. Giovanni” che si trovava a 550 m dalla biforcazione tra l'emissario naturale e il cavo Diotti. Tale manufatto, demolito nella seconda metà del '900 per la costruzione della strada nuova Valassina, aveva la funzione di impedire, in periodo di secca, il riflusso delle acque della roggia Gallarana e del lago di Alserio verso il lago di Pusiano. La pietra aveva tale funzione di ritenuta con livello del lago al di sotto della quota 259,15 m s.m..

Figura 3.2 – Traversa di Stallo, a monte della confluenza con il Cavo Diotti



Nel corso della secca dell'anno 2005 in cui il lago di Pusiano ha raramente superato il livello 259,00 m s.m., il riflusso delle acque della roggia Gallarana e del lago di Alserio verso il lago di Pusiano si è manifestato in tutta evidenza.

Figura 3.3 – Sbocco della galleria del Cavo Diotti



Il sistema “Cavo Diotti” viceversa presenta, a valle della biforcazione, un andamento con quote di fondo sino a circa 256,80 m s.m. appena a monte delle paratoie di derivazione. La quota di battuta delle stesse è pari a 256,84 m s.m., quota che si innalza a valle fino a

raggiungere i 257,30 m s.m., costante poi sul fondo della vasca a valle della casa (“vasca delle anguille”). Dopo un salto di 50 cm nella buca a valle della casa del custode, si realizza l’ingresso del tombotto che si mantiene pressoché orizzontale, alla quota 256,80 m s.m., fino allo sbocco (256,75 m s.m.) a valle della traversa di Stallo sopraccitata.

Da quanto riportato si deduce come in tempi di magra sia il Cavo Diotti a garantire il deflusso nel fiume Lambro, come del resto nelle intenzioni degli ideatori dell’opera (garantire l’approvvigionamento di risorsa dal Lambro per l’irrigazione del Parco di Villa Reale, Monza). Il cavo Diotti svolge pertanto la sua funzione storica per livelli del lato al di sotto della quota della traversa di Stallo (259,15 m s.m.), garantendo la possibilità di derivazione quindi di alimentazione del fiume Lambro.

La riconversione e adattamento della derivazione alla funzione di laminazione segue la medesima filosofia. Mediante la nuova configurazione della derivazione sarà infatti possibile, nei giorni precedenti gli eventi intensi, derivare dal lago portate dell’ordine di $10 \div 20 \text{ m}^3/\text{s}$ e quindi formare un volume di invaso idoneo contenuto al di sotto della quota della traversa di Stallo e quindi di svaso naturale. Tale operazione è conforme ai dettami della derivazione e del tutto compatibile con il regime ultracentennale del lago.

La dinamica che si instaura in occasione di eventi meteorici intensi risulta infatti la seguente:

- il lago per effetto dei maggiori afflussi, aumenta il proprio livello in funzione dei volumi derivanti dal contributo del bacino di monte;
- al crescere del livello nel lago si registra quindi un incremento delle portate nei rami in uscita, governate dalle leggi di efflusso derivanti dalla diversa natura dei due rami: mentre il ramo naturale ha una configurazione a cielo aperto, con deflussi legato alla scala di portate dell’alveo, il ramo artificiale è costituito da una galleria, cioè una sezione chiusa con legge di deflusso delle opere in pressione. Questa seconda esprime incrementi di portata inferiori rispetto a quelli che si realizzano del ramo naturale, al medesimo aumento del livello del lago di Pusiano. Nelle Figura 3.4 e Figura 3.5 si presentano le scale di portata dei due rami uscenti dal lago di Pusiano.

Figura 3.4 – Sezione e scala delle portate di ramo naturale uscente dal lago di Pusiano

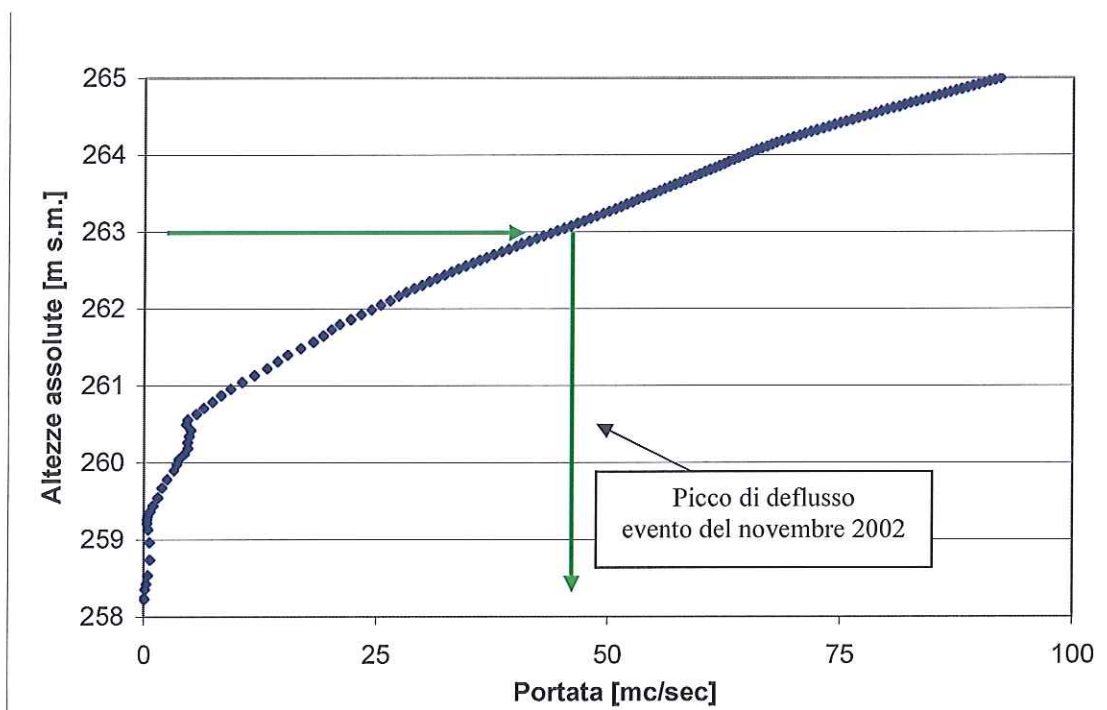
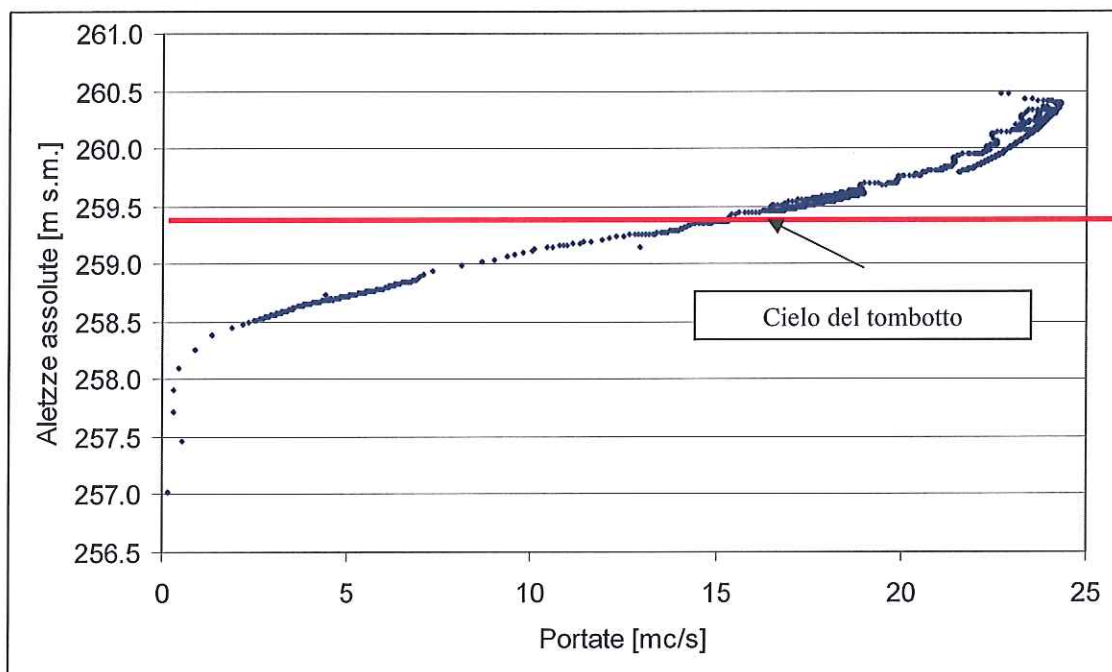


Figura 3.5 – Sezione e scala delle portate del ramo Cavo Diotti uscente dal lago di Pusiano



A quest'ultima osservazione va aggiunto che, in virtù dei maggiori deflussi che si ottengono alla confluenza dei due rami, il contro battente che si forma a valle della galleria del Cavo Diotti, determina fenomeni di rigurgito che riducono/regolano il deflusso lungo il cavo stesso. Si osserva infatti che oltre un battente di monte limite, che assume quota assoluta 261,5 m

s.m., la portata risulta prossima ad un limite asintotico di circa 25 m³/s. I fenomeni di rigurgito risultano essere una limitazione al valore di portata transitabile nel Cavo Diotti.

4. MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI

Nell'ambito del presente progetto è stato adottato (in coerenza con le pianificazioni di Regione Lombardia e Autorità di Bacino) come modello di simulazione idrologica ed idraulica il modello MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute. Tale software è in grado, attraverso diversi moduli, di integrare il modello afflussi – deflussi con la propagazione dell'onda di piena lungo i diversi tratti del reticolo idrografico naturale e artificiale.

Come espresso in premessa, relativamente alla formazione delle piene nei diversi sottobacini del Lambro è necessario distinguere il comportamento dei sottobacini in condizioni prevalentemente “naturali” da quelli pianeggianti e fortemente urbanizzati. Conseguentemente si è deciso di adottare due modelli differenti per le due categorie di sottobacini.

4.1 IL MODULO NAM PER I BACINI PIANEGGIANTI CON RIDOTTA PERCENTUALE DI AREE URBANE

Il modello afflussi-deflussi utilizzato per le valutazioni idrologiche di stima dei contributi di piena dei sottobacini “naturali” afferenti al Fiume Lambro, è il modulo NAM (abbreviazione di un termine danese che significa letteralmente "modello piogge-portate") del programma di calcolo MIKE 11.

Tale modello, costituito sostanzialmente da un set di relazioni matematiche in grado di descrivere quantitativamente la fase terrestre del ciclo dell'acqua, è di tipo deterministico a parametri concentrati con un discreto, ma moderato, set di grandezze richieste in input.

Esso opera simulando in continuo la variazione di contenuto di acqua (in fase liquida o vapore) di quattro serbatoi distinti e reciprocamente collegati, i quali rappresentano gli elementi fisici principali di un qualsiasi bacino idrografico.

Il modulo NAM tratta ciascun sottobacino in cui è stato suddiviso l'intero bacino idrografico come un'unità singola; per questo i parametri e le variabili in gioco sono rappresentati come valori medi per ciascun sottobacino.

Il modello matematico è fisicamente basato e utilizza equazioni matematiche unitamente a relazioni semi-empiriche; pertanto alcuni parametri possono essere stimati dai dati fisici del bacino, mentre altri vengono definiti attraverso processi di calibrazione.

I quattro serbatoi rappresentano i seguenti processi:

- accumulo e scioglimento neve (non utilizzato nel presente studio);
- intercettazione;

- infiltrazione;
- immagazzinamento nella falda.

La quantità d'acqua intercettata dalla vegetazione, quale quella immagazzinata nelle depressioni del terreno e nelle porzioni più superficiali del suolo coltivato, è simulata con un serbatoio superficiale di capacità massima U_{\max} .

La quantità d'acqua nel livello subito sotto il suolo, cioè la zona delle radici ove avviene anche il processo di traspirazione, è simulata con un serbatoio inferiore sottostante, di capacità massima L_{\max} .

La quantità di umidità U nel serbatoio superficiale è continuamente diminuita per evaporazione ed infiltrazione, ma durante la precipitazione viene aumentata in maniera considerevole. Quando viene saturata la capacità massima superficiale U_{\max} , parte dell'eccesso di precipitazione P_n inizia a scorrere sulla superficie verso la rete di drenaggio, mentre parte si suddivide in infiltrazione verso la zona sottostante e verso la falda profonda.

Anche la quantità d'acqua contenuta nel serbatoio inferiore L è diminuita dalla traspirazione, mentre il contenuto reale di umidità controlla il tasso di infiltrazione.

L'acqua che percola, cioè la quantità d'acqua che non viene trattenuta in questo serbatoio, passa attraverso la zona insatura e raggiunge, ricaricandolo, il serbatoio della falda satura.

Quando il serbatoio superficiale sfiora, cioè quando $U \geq U_{\max}$ l'eccesso di pioggia produce:

- scorrimento, QOF , proporzionale a P_n e variabile linearmente con il contenuto di umidità del suolo nel serbatoio inferiore L/L_{\max} ;
- infiltrazione, di cui una parte aumenta il contenuto di umidità del serbatoio L_{\max} , mentre l'altra percola in profondità e ricarica il serbatoio rappresentante la falda.

Il contributo del deflusso ipodermico, QIF , è assunto proporzionale ad U e varia linearmente con il contenuto relativo L/L_{\max} del serbatoio intermedio, secondo una legge simile alle precedenti con altre costanti adimensionali.

Le perdite per evapotraspirazione sono considerate in prima fase proporzionali al tasso potenziale del serbatoio superficiale; se il contenuto di umidità U è inferiore a tale tasso potenziale, la frazione rimanente per raggiungerlo è presa dalla zona delle radici con un tasso reale E_a , che è proporzionale al tasso potenziale.

Il fenomeno della percolazione viene simulato con un serbatoio lineare con una costante di tempo che ritarda la ricarica della falda.

Il flusso capillare dal livello di falda verso la zona aerata dipende dallo spessore del tratto insaturo nel profilo del terreno, e dal contenuto di umidità relativo L/L_{\max} della zona aerata.

Il livello di falda è calcolato con un bilancio fra la porzione di ricarica, la porzione capillare, la perdita verso gli strati più profondi (variabile su scala mensile) e il deflusso di base.

Il deflusso di base è calcolato con un serbatoio lineare con una sua propria costante di tempo, ed avviene quando il livello di falda è superiore al livello massimo.

Il deflusso ipodermico e superficiale sono entrambi simulati attraverso due serbatoi lineari in serie con due costanti di tempo (rispettivamente $CQOF$ e $CK_{1,2}$), le quali nel caso di scorrimento superficiale sono anche variabili nel tempo.

In questo modo si assicura, in pratica, l'assunzione del modello dell'onda cinematica per simulare i processi di deflusso superficiale e ipodermico; il deflusso di base è simulato invece secondo i processi della dinamica sotterranea.

I dati richiesti in ingresso al modello idrologico risultano pertanto essere:

- parametri per il setup delle simulazioni: periodo di simulazione, passo temporale di calcolo;
- parametri del modello: S , L_{max} , U_{max} , $CQOF$, $CK_{1,2}$, $CKIF$, TOF , TIF , TG , $CKBF$;
- condizioni iniziali: contenuto di umidità in tutti i serbatoi, U/U_{max} e L/L_{max} , ed eventuali valori di portata;
- dati meteorologici: precipitazioni reali o di progetto P (ottenute dalle curve di possibilità in funzione della durata della pioggia e del tempo di ritorno T), evapotraspirazione potenziale Ep (nel seguito posta uguale a zero) e temperatura.

Alcuni parametri del modello hanno un chiaro legame con la realtà fisica, altri invece hanno un significato principalmente modellistico.

E' necessario quindi effettuare una buona taratura del modello per ottenere risultati affidabili; essa può essere condotta con una serie storica di dati corrispondenti in input ed in output.

4.2 IL MODULO NAM-URBANO PER I BACINI PIANEGGIANTI CON ELEVATA PERCENTUALE DI AREE URBANE

Per i bacini a contributo prevalentemente urbano (o per simulare la parte urbana di bacino con caratteristiche miste), posti nei settori di pianura (LAM 3 URB), le acque meteoriche raccolte dal sottobacino vengono recapitate nei corsi d'acqua anche attraverso le reti fognarie (scarichi e sfioratori).

In tali aree urbane, infatti, oltre ad un reticolo idrografico naturale, l'adduzione al Lambro

delle acque meteoriche avviene anche attraverso le reti fognarie e quindi con onde di piena fortemente dipendenti dalle modalità di funzionamento di reti idrauliche a sezione chiusa, dimensionate per bassi tempi di ritorno (tipicamente 2 – 10 anni).

Né d'altra parte sarebbe ipotizzabile una situazione futura presentante nuove dimensioni delle reti fognarie atte a recapitare al Lambro portate meteoriche commisurate per eventi di tempo di ritorno di 100 – 200 anni. Ciò non solo per i costi diretti e indiretti assolutamente inaccettabili che avrebbero collettori così dimensionati, ma anche perché tali portate sarebbero non compatibili e non ricevibili nel fiume Lambro. A tale proposito è anche da ricordare che già il P.R.R.A. della Regione Lombardia, riconosciute tali circostanze, ha previsto estesi interventi di laminazione urbana delle portate meteoriche allo scopo di rendere compatibili i deflussi urbani con i corsi d'acqua ricettori. In sostanza le tipiche limitazioni di portata delle reti fognarie devono essere considerate non solo in modo positivo nei riguardi dei corsi d'acqua ricettori, ma anche come non sopprimibili nel futuro e parte fondamentale delle politiche di regimazione idraulica dei territori fortemente urbanizzati.

Per tutto ciò, per rappresentare le onde di piena che dalle aree urbane affluiscono al Lambro, sensibilmente “deformate” dalle limitazioni di portata delle reti fognarie e dai conseguenti fenomeni di invaso negli allagamenti cittadini o nelle vasche volano eventualmente esistenti, non è proponibile l'utilizzazione del modulo puramente idrologico NAM prima esposto, ma è stata qui adottata una particolare applicazione dello stesso modulo, denominata NAM – URBANO.

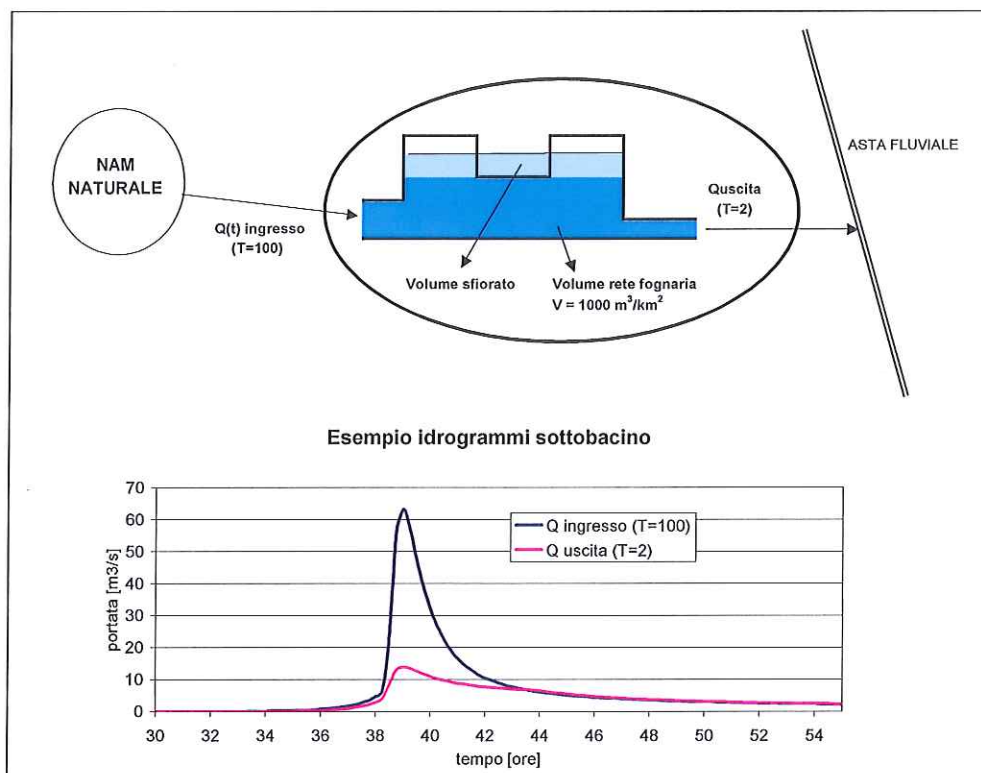
Il modulo NAM-URBANO è configurato accoppiando lo stesso modulo NAM relativo ai sottobacini extraurbani con un serbatoio dotato di un opportuno limitatore di portata in uscita. Per simulare la limitazione della portata al colmo si è in generale imposto in uscita dal suddetto serbatoio uno scarico caratterizzato da una tubazione in grado di convogliare una portata al colmo pari a circa 2 anni di tempo di ritorno, condizione oltre la quale, mediamente, le fognature dell'area milanese risultano essere insufficienti e funzionanti in pressione.

Per quanto riguarda, il volume sotteso dall'idrogramma confluyente nel Lambro, il serbatoio prima citato è stato dimensionato in base al volume della rete fognaria; in mancanza di dati si è assunto un valore pari a circa 1'000 m³ per ogni km² di bacino.

Il volume dell'onda di piena che, in relazione allo ietogramma considerato, si forma nel sottobacino e che eventualmente eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in uscita dal modello e in ingresso all'asta fluviale.

Nella Figura 4.1 viene rappresentato schematicamente il funzionamento del modello NAM-URBANO.

Figura 4.1 – Schema NAM - URBANO



4.3 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI

Per quanto riguarda la scelta dei parametri idrologici del modello NAM e NAM – URBANO per i diversi sottobacini, si è fatto riferimento ai seguenti intervalli di valori:

- $U_{max} = 10 \div 20$ mm;
- $L_{max} = 5 \div 200$ mm (con $L_{max} = 5$ per i bacini urbani);
- $U/U_{max} = 0 \div 0,5$;
- $L/L_{max} = 0 \div 0,5$;
- $CQOF = 0.01 \div 0,8$ (con $CQOF = 0,01$ per i bacini extraurbani non contribuenti);
- $CKIF = 24$ ore;
- $CK_{1,2} = 1 \div 2$ volte il tempo di corrivazione del bacino.
- $TOF = 0 \div 0,25$.

Per i restanti parametri si sono considerati i valori di default definiti all'interno del codice di calcolo.

La completa definizione dei suddetti parametri si è ottenuta solo dopo la validazione del

modello completo, idrologico ed idraulico, attraverso la simulazione, e quindi il compimento di una fase di taratura, dell'evento di fine novembre 2002.

4.4 RISULTATI OTTENUTI

Nel presente paragrafo vengono riportati per ogni bacino del modello adottato le relative portate al colmo simulate in funzione degli eventi di progetto, in corrispondenza di diversi tempi di ritorno.

Tabella 4 – Portate al colmo per i tempi di ritorno di 10, 200 e 500 anni

Bacino	Superficie contrib.	T=10	T=200	T=500
	[km ²]	Q max	Q max	Q max
		[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
LAM1A	15.4	40.9	34.9 *	34.9 *
REZ	12.1	22.8	24.9 *	24.9 *
FOC	8.1	15.3	16.7 *	16.7 *
BIS	6.8	13.9	14.3 *	14.3 *
RAV	10.1	15.6	20.2 *	20.2 *
BOV	4.7	9.6	9.9 *	9.9 *
LAM1B	7.1	19.8	16.7 *	16.7 *
LAM1C	7.0	17.3	15.4 *	15.4 *
LAM2	22.9	54.6	39.2 *	39.2 *
LAM3A	16.5	59.7	34.2 *	34.2 *
LAM3B	3.2	6.4	3.6 *	3.5 *
LAM4	1.4	5.5	18.3	23.7
LAM5	10.2	16.0	65.4	98.7
BEV1AB	18.3	11.9	28.2	53.5
GAN	11.1	8.7	20.5	40.1
PAS	2.0	0.9	2.1	3.8
BEV1C	10.7	14.2	31.3	69.1

**evento reale dal 12 novembre 2002 al 1 dicembre 2002*

Per ogni bacino viene riportata inoltre una breve descrizione inerente alle caratteristiche fisiografiche e al comportamento idrologico, nonché il set dei parametri utilizzati per la simulazione. I valori assunti per i specifici coefficienti sono il risultato di una fase di taratura sull'evento del novembre 2002.

Sottobacino LAM1A

Il bacino LAM1A, rappresenta il bacino di testa dell'asta del Lambrone (immissario del Lago di Pusiano), ha un'estensione di circa 15,4 km² e comprende il territorio dei comuni di Magreglio, Barni, Lasnigo e Sormano. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

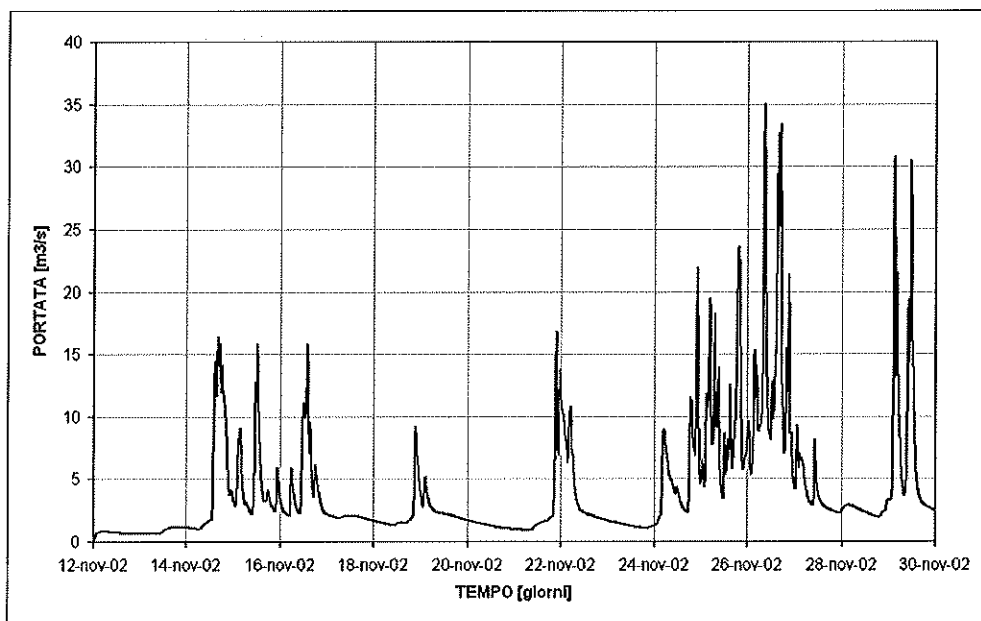
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0,5$;
- $L/L_{max} = 0,5$;
- $CQOF = 0,8$;
- $CK_{1,2} = 0,8 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0,1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono 9,4 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.2 ha una portata al colmo pari a $35 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 6,6 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,7.

Figura 4.2 – Idrogramma sottobacino LAM1A



Sottobacino REZ

Il bacino REZ rappresenta il bacino del torrente Rezzago, affluente del Lambrone, ha un'estensione di circa $12,1 \text{ km}^2$ e comprende il territorio dei comuni di Caglio e Rezzago. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

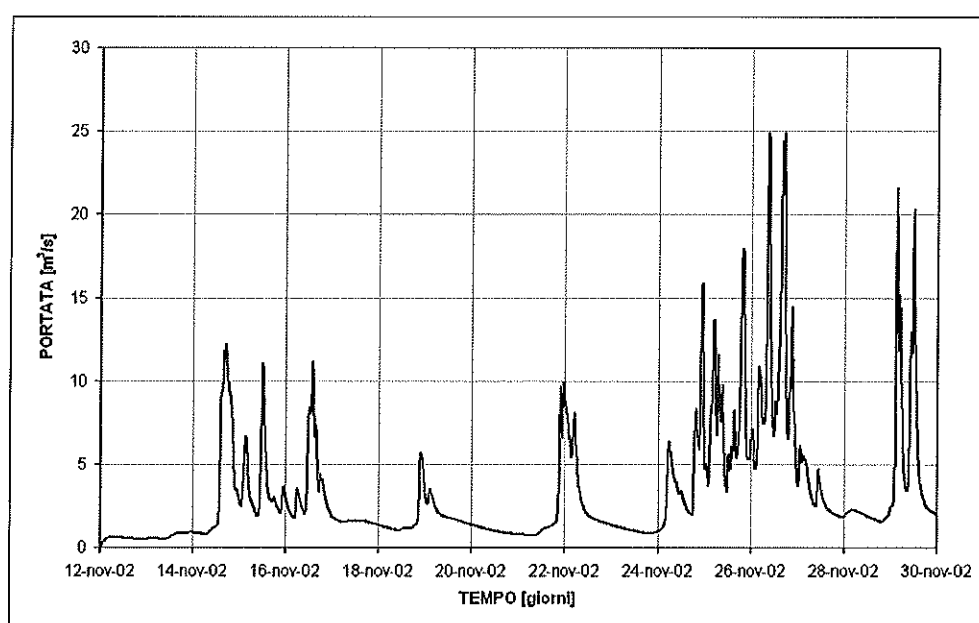
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0,5$;
- $L/L_{max} = 0,5$;
- $CQOF = 0,8$;
- $CK_{1,2} = 1,2 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0,1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono 7,4 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.3, ha una portata al colmo pari a $24,9 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 5,2 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,7.

Figura 4.3 – Idrogramma sottobacino REZ



Sottobacino FOC

Il bacino FOC rappresenta il bacino del torrente Foce, affluente del Lambrone, ha un'estensione di circa $8,1 \text{ km}^2$ e comprende il territorio del comune di Valbrona. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

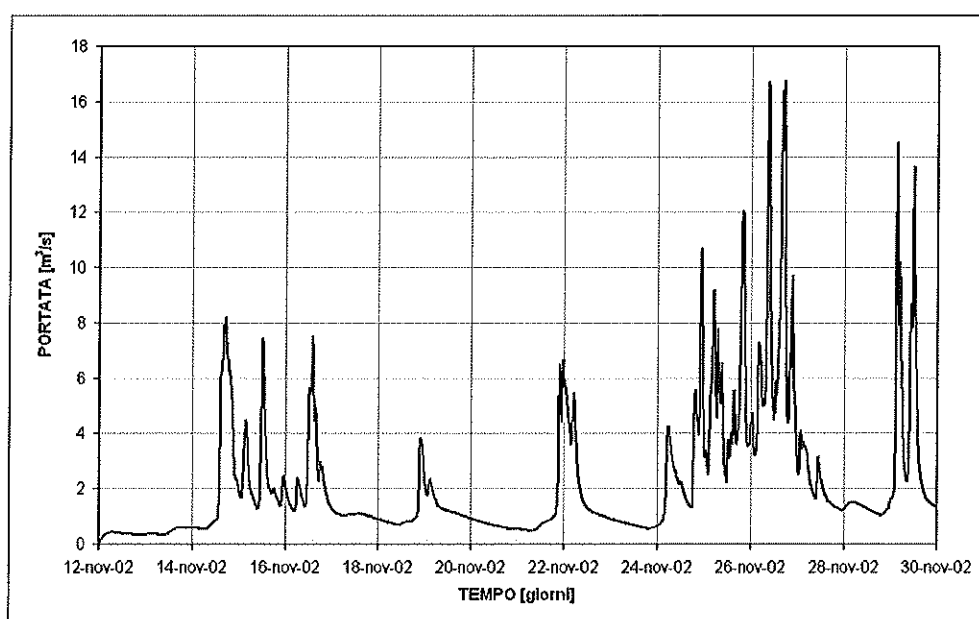
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0,5$;
- $L/L_{max} = 0,5$;
- $CQOF = 0,8$;
- $CK_{1,2} = 1,2 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0,1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono circa 5 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.4, ha una portata al colmo pari a $16,7 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 3,5 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,7.

Figura 4.4 – Idrogramma sottobacino FOC



Sottobacino BIS

Il bacino BIS rappresenta il bacino del torrente Bistonda, affluente del Lambrone, ha un'estensione di circa $6,85 \text{ km}^2$ e comprende parte del territorio del comune di Caslino d'Erba. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

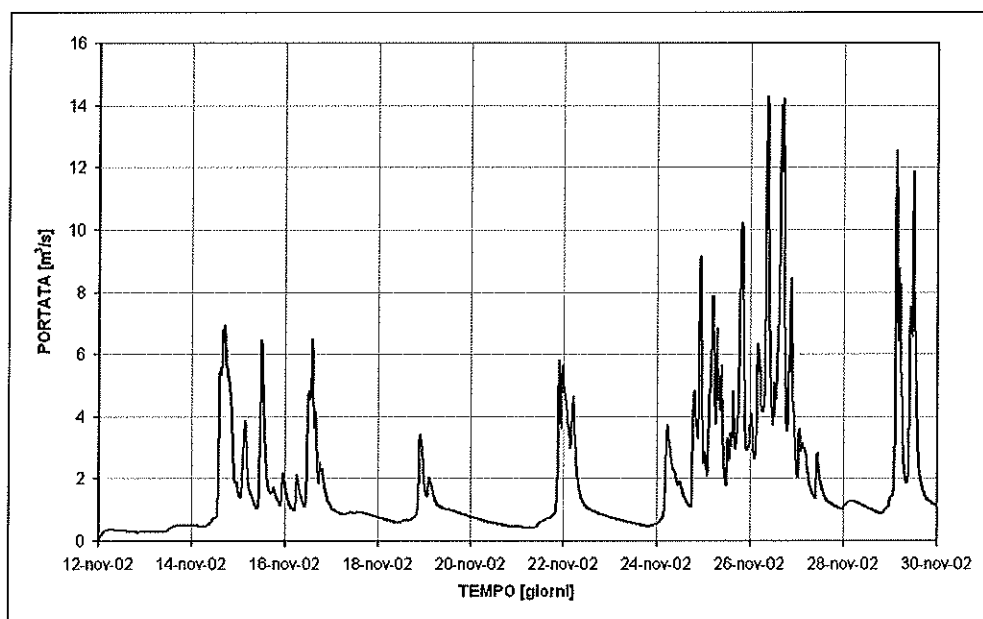
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0,5$;
- $L/L_{max} = 0,5$;
- $CQOF = 0,8$;
- $CK_{1,2} = 1,1 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0,1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono circa 4,2 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.5, ha una portata al colmo pari a $14,3 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 2,9 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,69.

Figura 4.5 – Idrogramma sottobacino BIS



Sottobacino RAV

Il bacino RAV rappresenta il bacino del torrente Ravella, affluente del Lambrone, ha un'estensione di circa $10,09 \text{ km}^2$ e comprende parte del territorio del comune di Asso. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

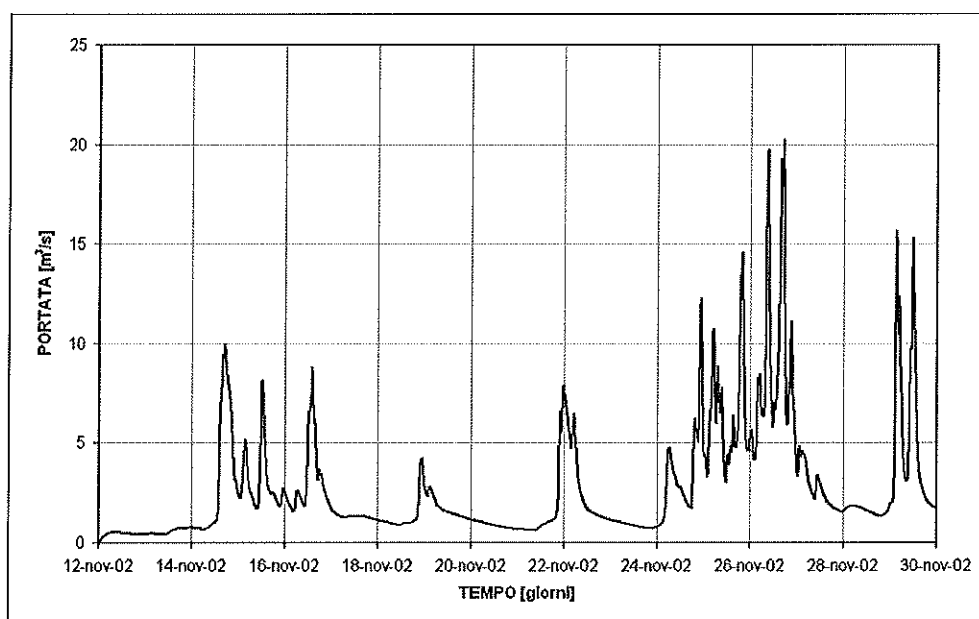
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0,5$;
- $L/L_{max} = 0,5$;
- $CQOF = 0,8$;
- $CK_{1,2} = 1,5 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0,1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono circa 6,2 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.6, ha una portata al colmo pari a $20,2 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 4,3 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,69.

Figura 4.6 – Idrogramma sottobacino RAV



Sottobacino BOV

Il bacino BOV rappresenta il bacino del torrente Bova, affluente del Lambrone, ha un'estensione di circa $4,75 \text{ km}^2$ e comprende parte del territorio del comune di Erba. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

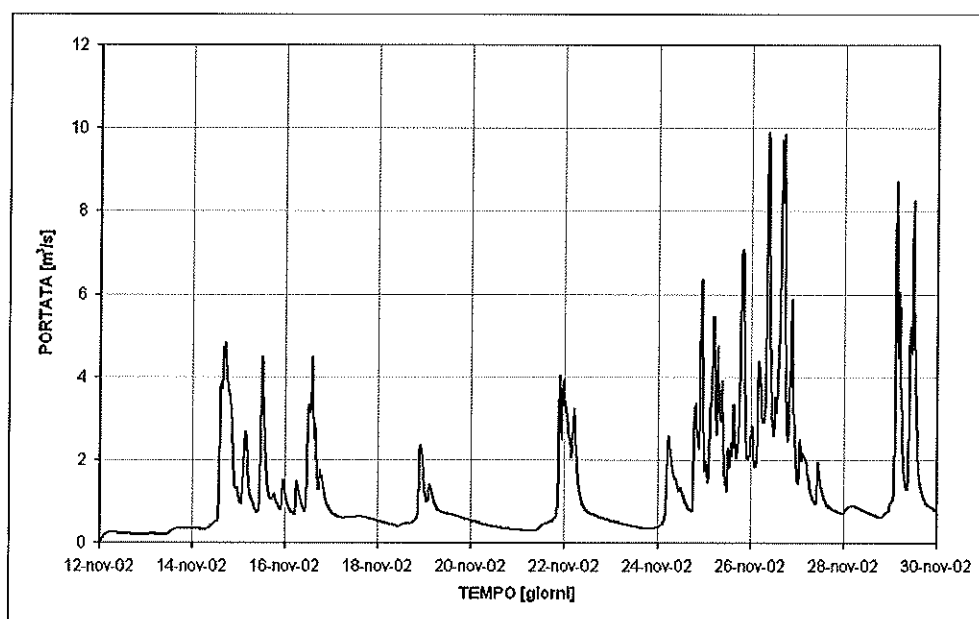
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0,5$;
- $L/L_{max} = 0,5$;
- $CQOF = 0,8$;
- $CK_{1.2} = 1,1 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0,1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono circa 2,9 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.7, ha una portata al colmo pari a $9,9 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 2 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,69.

Figura 4.7 – Idrogramma sottobacino BOV



Sottobacino LAM1B

Il bacino LAM1B, rappresenta parte del bacino diretto del Lambrone (immissario del Lago di Pusiano), ha un'estensione di circa $7,14 \text{ km}^2$ e comprende parte del territorio dei comuni di Asso e Caslino d'Erba. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

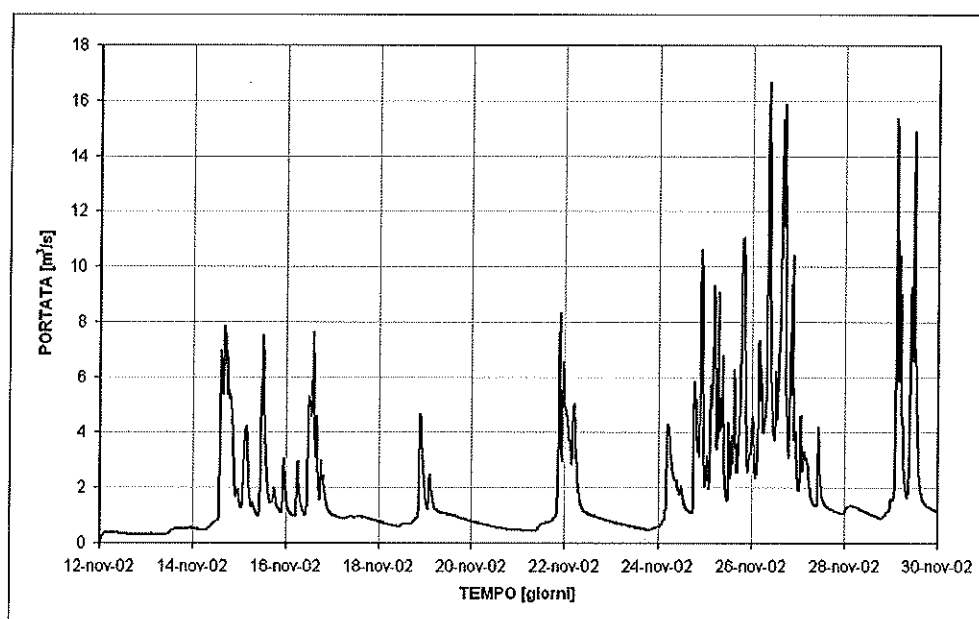
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm};$
- $L_{max} = 200 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0,5;$
- $L/L_{max} = 0,5;$
- $CQOF = 0,8;$
- $CK_{1,2} = 0,7 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0,1.$

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono 4,4 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.8, ha una portata al colmo pari a $16,7 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 3,1 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,7.

Figura 4.8 – Idrogramma sottobacino LAM1B



Sottobacino LAM1C

Il bacino LAM1C, rappresenta parte del bacino diretto del Lambrone (immissario del Lago di Pusiano), ha un'estensione di circa $6,97 \text{ km}^2$ e comprende parte del territorio dei comuni di Ponte Lambro, Erba e Longone al Segrino. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

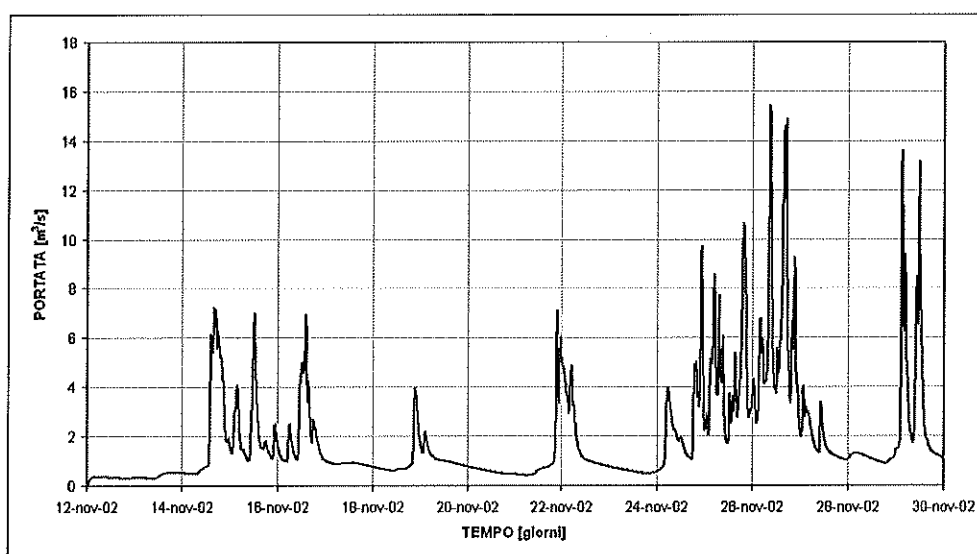
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0,5$;
- $L/L_{max} = 0,5$;
- $CQOF = 0,8$;
- $CK_{1,2} = 0,9 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0,1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono 4.3 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.9, ha una portata al colmo pari a $15,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 3 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,7.

Figura 4.9 – Idrogramma sottobacino LAM1C



Sottobacino LAM2

Il bacino LAM2, rappresenta il bacino diretto del Lago di Pusiano, ha un'estensione di circa $22,86 \text{ km}^2$ e comprende il territorio dei comuni di Pusiano, Longone al Segrino, Cesana di Brianza, Bosisio Parini. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM). All'interno di tale bacino sono compresi due laghi: lago di Pusiano (5.3 km^2) e lago del Segrino (0.4

km²).

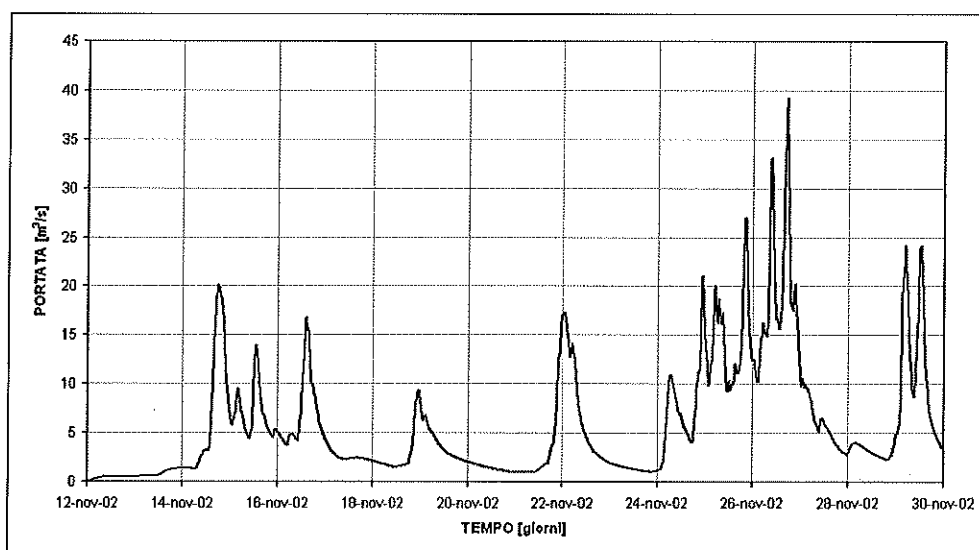
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 50 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0,5;$
- $L/L_{max} = 0,5;$
- $CQOF = 0,6;$
- $CK_{1,2} = 3 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono 14 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.10, ha una portata al colmo pari a 39,2 m³/s e un volume complessivo pari a circa 9,4 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,67.

Figura 4.10 – Idrogramma sottobacino LAM2



Sottobacino LAM3A

Il bacino LAM3A, rappresenta il bacino diretto del Lago di Alserio, ha un'estensione di circa 16,51 km² e comprende il territorio dei comuni di Albavilla, Orsenigo, Alserio e parte di Erba. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM). All'interno di tale bacino è

presente il lago di Alserio (1,3 km²).

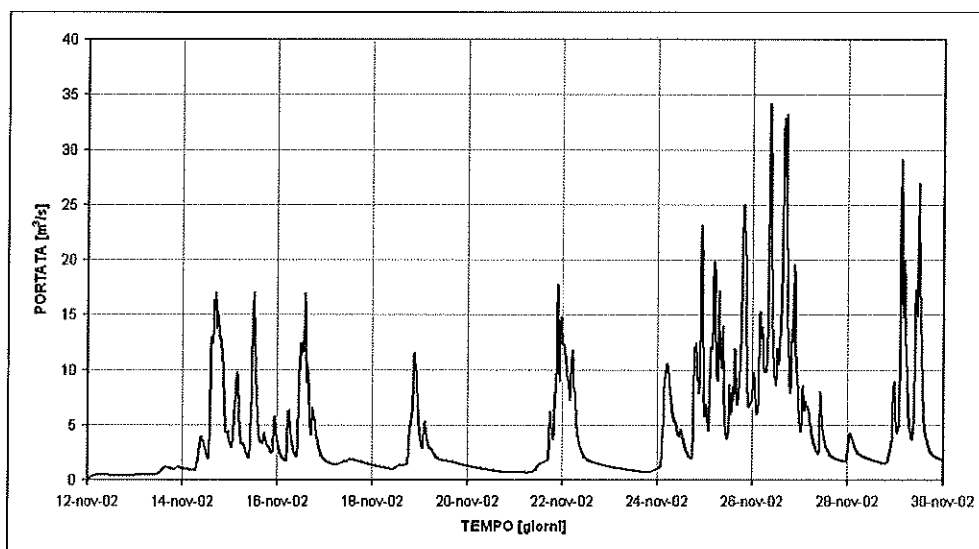
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 50 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0,5;$
- $L/L_{max} = 0,5;$
- $CQOF = 0,6;$
- $CK_{1.2} = 1,1 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono 10 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.11, ha una portata al colmo pari a 34,2 m³/s e un volume complessivo pari a circa 6,8 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,68.

Figura 4.11 – Idrogramma sottobacino LAM3A



Sottobacino LAM3B

Il bacino LAM3B, afferente all'asta dell'emissario di Alserio, ha un'estensione di circa 3,2 km² (di cui 2,17 km² di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio del comune di Erba. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è sia di tipo urbano (modello NAM-URBANO) che di tipo

naturale.

Per quanto riguarda il bacino naturale i principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 200 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0,5;$
- $L/L_{max} = 0,5;$
- $CQOF = 0,3;$
- $CK_{1,2} = 0,5 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono 0,63 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita ha una portata al colmo pari a $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0,26 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,41.

Per quanto riguarda il bacino urbano del comune di Erba, i principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0,5;$
- $L/L_{max} = 0,5;$
- $CQOF = 0,3;$
- $CK_{1,2} = 1 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

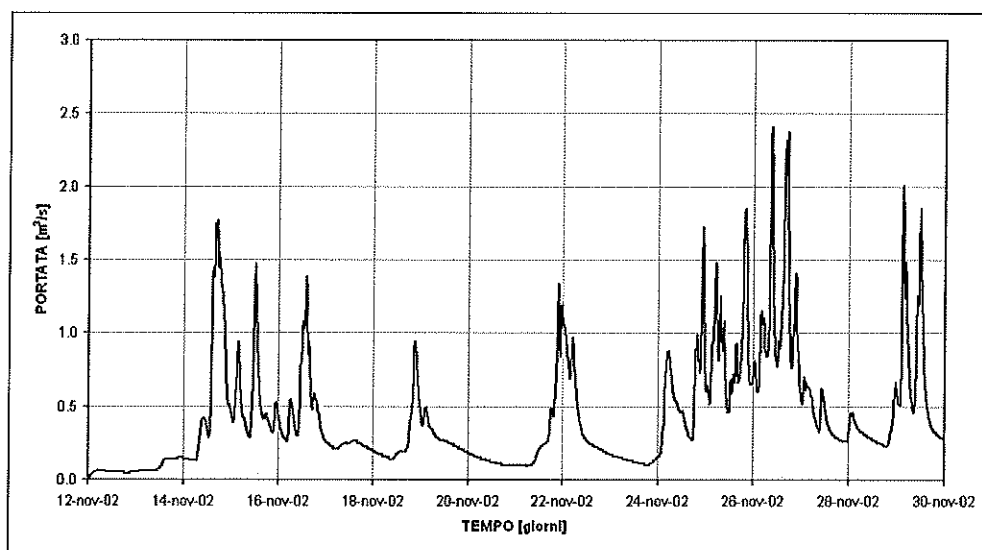
Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611,40 mm, a cui corrispondono 1,3 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in Figura 4.12, ha una portata al colmo pari a $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0,68 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a circa 0,52.

L'evento considerato non è stato tale da sollecitare il reticolo fognario oltre le sue capacità di convogliamento e di recapito, pertanto l'idrogramma entrato in rete si è riversato interamente

e senza limitazioni della portata al colmo nel reticolo superficiale (emissario di Alserio).

Figura 4.12 – Idrogramma sottobacino LAM3BU



Sottobacino LAM4

Il bacino LAM4, rappresenta il bacino diretto del Lambro, compreso tra l'uscita dal lago di Pusiano e il ponte ferroviario (sezione LA 132.8) ha un'estensione di circa 1,38 km² e comprende il territorio del comune di Merone. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

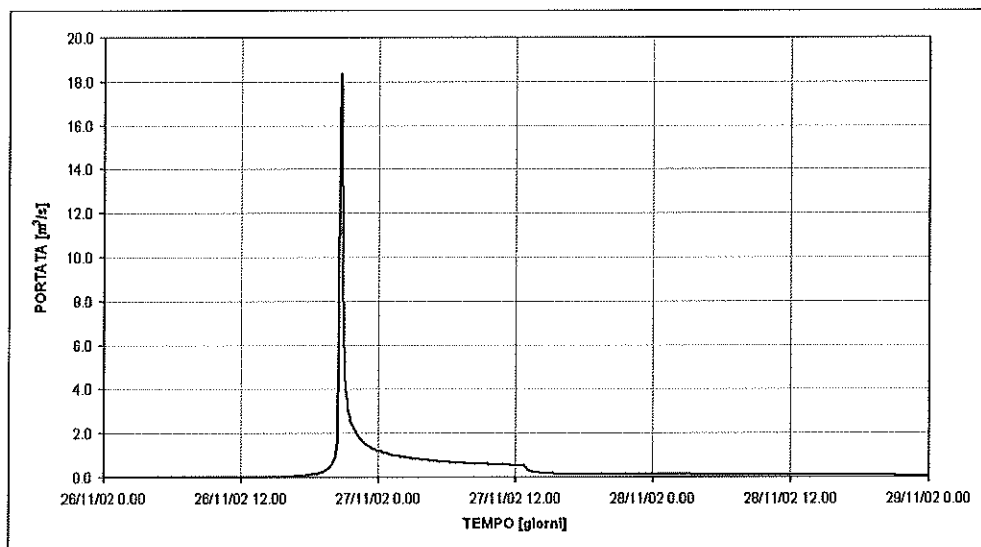
- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 100 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0,35;$
- $CK_{1,2} = 0,45 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0,32$, $a(T=200) = 95 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 262 mm, a cui corrispondono 0,36 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in Figura 4.13, ha una portata al colmo pari a 18,3 m³/s e un

volume complessivo pari a circa 0,1 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0,28.

Figura 4.13 – Idrogramma sottobacino LAM4



5. LE PORTATE DI VERIFICA E DIMENSIONAMENTO

Sulla base delle modellazioni descritte nei precedenti capitoli, fondate sui dati più aggiornati verificati con gli eventi del novembre 2002, del novembre 2008 e dell'aprile 2009⁴, i dati caratteristici di portata in ingresso al lago e quindi di verifica e dimensionamento delle opere risultano i seguenti:

$$Q_{T=100} = 215 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$Q_{T=200} = 230 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$Q_{T=500} = 260 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$Q_{T=1000} = 280 \text{ m}^3/\text{s}.$$

In relazione all'evento del novembre 2002 (il più gravoso per il bacino del fiume Lambro dal 1976 ad oggi) i valori di riferimento risultano i seguenti:

- portata in ingresso al lago di Pusiano
 $Q = 175 \text{ m}^3/\text{s}$
- volume in ingresso al lago pari a:
dal 14 al 23 novembre: $6\,950\,000 \text{ m}^3$;
dal 23 al 29 novembre: $7\,550\,000 \text{ m}^3$.

⁴ Il modello, realizzato nel 2004, in seguito calibrato e validato, è stato oggetto fino all'ottobre 2011 di un'attività di monitoraggio e ritaratura finalizzato a migliorarne l'affidabilità e la bontà dei risultati in riferimento a serie storiche reali e recenti ("Servizio di assistenza alla taratura del software di monitoraggio del fiume Lambro, finalizzato alla gestione del lago di Pusiano")

6. INTERVENTO DI PROGETTO

L'intervento in progetto prevede l'adeguamento dell'opera di regolazione del Cavo Diotti, la cui riabilitazione permetterebbe di sfruttare in modo controllato i fenomeni di laminazione già naturalmente esercitati dal lago. Infatti l'obiettivo è poter imporre una regola di gestione al livello del lago di Pusiano, entro un intervallo di livelli definito da una massimo di 261,50 m s.m. (sede stradale di Pusiano, via Zoli) e un minimo di 259,15 m s.m. (quota della sommità della traversa di Stallo).

La riabilitazione non prevede significativi stravolgimenti delle opere idrauliche:

- ampliamento delle luci libere attuali (in corrispondenza della casa di Guardia) che permettono un deflusso incontrollato verso il tombotto;
- spostamento delle paratoie da monte della casa di guardia a valle della vasca delle anguille;
- regolarizzazione del fondo del tombotto attraverso una lastricatura in pietra;
- difesa spondale e corazzamento del fondo, in corrispondenza del nodo di confluenza;
- collocazione di uno sgrigliatore a monte della casa di Guardia per salvaguardare aspetti qualitativi e impedire il trasporto materiale all'interno della galleria.

6.1 NECESSITÀ DI REGOLAZIONE DEL LAGO DI PUSIANO

Come anticipato il lago di Pusiano ha storicamente la funzione di regolazione dei deflussi verso valle. Tale regolazione si esplica mediante la configurazione naturale dell'emissario che determina le portate a valle (Figura 6.1).

Come descritto al precedente capitolo 3.1, l'emissario naturale del lago di Pusiano presenta la caratteristica di quota di incile non prossima al lago ma circa 1.500 metri a valle dello stesso. La quota di massimo svasso naturale del lago (259,15 m s.m.) si ritrova infatti in corrispondenza della traversa di località Stallo dopo l'aggiramento dell'abitato di Merone e la confluenza con l'emissario del lago di Alserio.

Figura 6.1 – Incile del lago di Pusiano



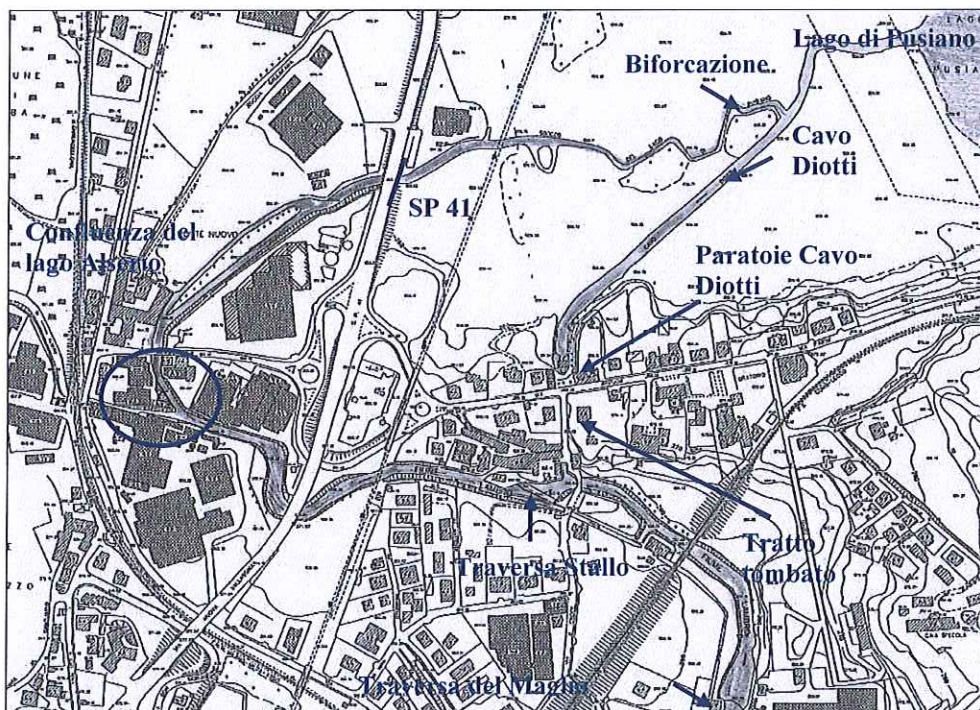
Il ramo naturale transita in una zona che, oltre a presentare un profilo di fondo sub-orizzontale, è molto pianeggiante, in parte paludosa e priva di protezioni arginali. Il tracciato del fiume Lambro nella zona risulta caratterizzato da sezioni insufficienti per gli eventi di piena, molto intrecciato e ramificato. Tale zona, a monte del ponte della SP 41, risulta essere una vasta area esondabile che, in caso di piena, è più facile considerare normale espansione del lago di Pusiano piuttosto che fiume Lambro. Il ponte della S.P. 41 può pertanto essere considerato la sezione di inizio del Lambro sublacuale in condizioni di normale invaso, anche se storicamente il lago occupava le zone più esterne sino, durante le piene più gravose, quasi ad unirsi al lago di Alserio.

Tramite i rilievi di dettaglio e le conseguenti modellazioni idrauliche si è messo in evidenza come il livello del lago di Pusiano sia controllato dal sistema di opere idrauliche poste tra la sezione LA132.9.1 (traversa di Stallo)⁵ e la sezione LA132.6.1 (traversa del Maglio). In particolare in tale nodo idraulico sono presenti tre traverse a soglia fissa (due in corrispondenza della sezione LA132.9.1, mentre la terza è in corrispondenza della sezione LA132.6.1), uno stramazzo tipo Hegly (nei pressi delle due traverse, in destra idraulica, non

⁵ Codice identificativo sezioni Autorità di Bacino del fiume Po

inserito nella modellazione per le ridotte portate che lo interessano) su un'antica derivazione laterale, una chiusa al di sotto di un porticato gestita da privati.

Figura 6.2 – Ramo naturale del Lambro in uscita dal lago di Pusiano



Subito al piede delle due traverse localizzate in prossimità della sezione LA132.9.1 avviene anche la ricongiunzione con il Cavo Diotti.

Sono proprio le due traverse insieme allo stramazzo e alla piccola chiusa a governare il livello del lago di Pusiano per effetto del profilo di corrente lenta rigurgitata.

La quota di sommità della traversa maggiore è pari a 259,15 m s.m. mentre la sezione di uscita dal lago di Pusiano presenta una quota di fondo di 258,70 m s.m. Come detto tra di esse sono presenti anche alcune sezioni rilevate con il fondo alveo a quota oscillante. Risulta quindi accertato come non possa svasarsi naturalmente il lago al di sotto della quota di 259,15 m s.m.

Oltre la quota 259,15 m s.m. la crescita di livello del lago determina il progressivo attivarsi del deflusso a valle con andamento governato dalla descritta geometria storica dell'emissario. Nelle Figura 6.3 e Figura 6.4 sono riportati gli idrogrammi ricostruiti durante l'evento del novembre 2002.

Figura 6.3 – Idrogramma (livelli) del lago di Pusiano durante l'evento del mese di novembre 2002

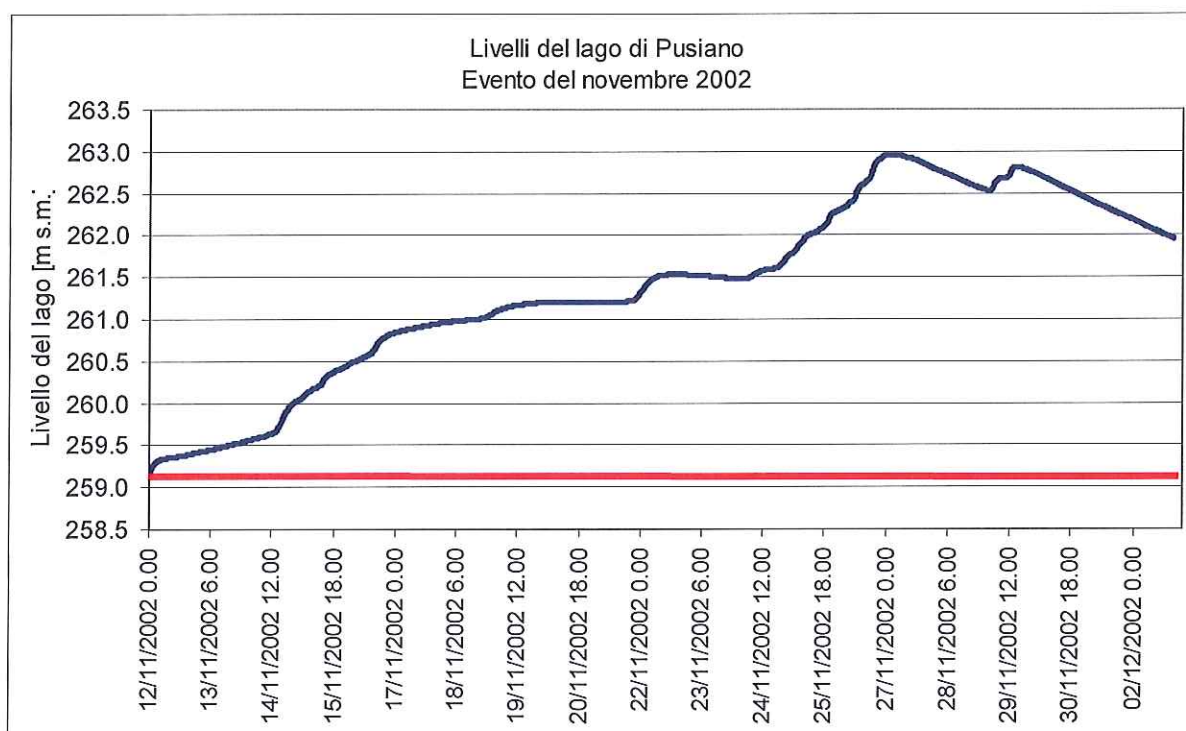
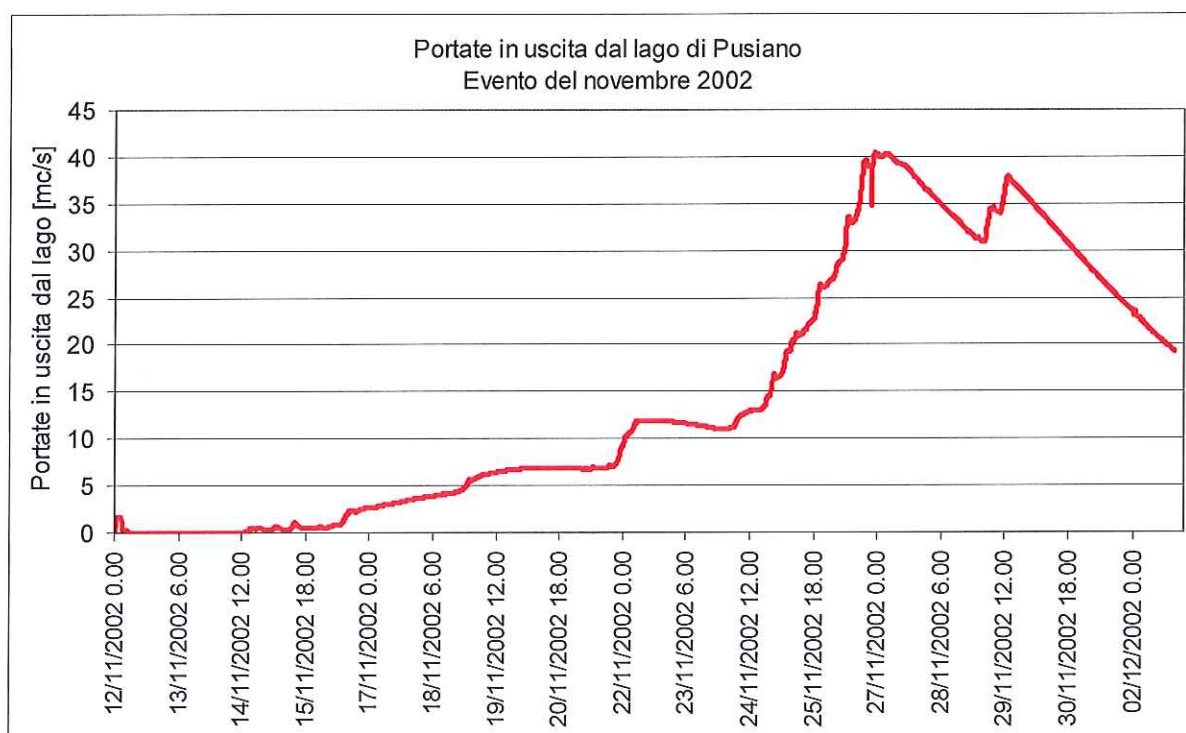


Figura 6.4 – Idrogramma (portate) del lago di Pusiano durante l'evento del mese di novembre 2002



Sulla base delle esperienze e dei monitoraggi attivati dall'anno 1999 all'ottobre 2011, con la stesura del Progetto Preliminare citato in precedenza e in relazione all'evento del novembre

2002, del Progetto Definitivo del luglio 2009, è stata definita la necessità di regolazione del lago di Pusiano ai fini dell'ottimizzazione della storica funzione di contenimento delle piene pre-lacuali.

La regolazione del lago di Pusiano si esprime in un abbassamento del livello del lago, attraverso la regolazione della portata in uscita del Cavo Diotti. L'abbassamento aumenta la capacità di compenso e laminazione delle piene che il lago esercita naturalmente, in occasione degli eventi meteorici che si realizzano sul bacino montano del fiume Lambro. Questa possibilità permette di ridurre il rischio idraulico nel bacino di valle.

6.2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO SUL CAVO DIOTTI

Il progetto proposto interviene direttamente sul Cavo Diotti, articolandosi in due fasi.

In una prima fase si prevede di smantellare l'attuale apparato di regolazione composto da due paratoie. A questa operazione segue l'allargamento delle luci esistenti, fino a raggiungere il compromesso tra esigenze di salvaguardia strutturale della casa del custode e la volontà di non fornire una regolazione della portata derivata attraverso una luce ridotta: le due luci passeranno quindi da una sezione ad arco di base 2,20 m e altezza variabile tra 0,35÷0,70m, ad una sezione di 2,20x2,00. L'obiettivo è rendere la casa di Guardia trasparente al deflusso dell'acqua dal lago di Pusiano verso la galleria, senza ostacolare le portate derivate.

In una seconda fase si inserisce il nuovo sistema di derivazione, composto da una coppia di paratoie piane alloggiate a ridosso dell'imbocco del tombotto sulla sponda sud del lago. Le paratoie hanno luci caratterizzate da una larghezza di 1,70 m e altezza netta 2,20 m e regolano una sezione di imbocco ad arco di larghezza 4,00 m e altezza massima 2,20 m.

Contestualmente all'installazione del nuovo sistema si prevede di munire il Cavo Diotti di strumenti di misura e monitoraggio in grado di verificare e interagire con i supporti remoti, per garantire regolazione delle paratoie, in aggiunta a tutte le apparecchiature che rendono l'opera a norma di legge.

Attraverso le nuove paratoie si regola quindi la portata in ingresso alla galleria, indipendentemente da quella derivabile dal canale che sottopassa la casa di Guardia.

6.3 I LIMITI DI GESTIONE

La gestione del lago di Pusiano, al fine di minimizzare gli effetti delle piene a valle, deve tener conto delle condizioni al contorno del sistema. In primo luogo tali limiti sono derivati dal livello massimo accettabile del lago stesso in condizioni di piena. Tale livello, verificate le

infrastrutture sulle sponde dello stesso, è stato individuato pari a quota 261,50 m s.m. in riferimento al comune di Pusiano, via Mazzini.

Occorre precisare che il lago di Pusiano, indipendentemente dalla gestione del Cavo Diotti, può raggiungere livelli ben superiori alla quota 261,50 m s.m.. Come rappresentato in Figura 6.3, durante l'evento del novembre 2002 il lago ha raggiunto la quota di 262,98 m s.m. Tale escursione dipende dalla capacità di deflusso dell'emissario naturale che risulta notevolmente inferiore alla portata in arrivo da monte. Durante l'evento del novembre 2002 è stato infatti ricalcolato un apporto al colmo di circa $180 \text{ m}^3/\text{s}$ a fronte di un deflusso massimo inferiore a $45 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per quanto concerne il livello minimo di svaso naturale lo stesso può essere individuato pari alla quota della traversa di Stallo che produce l'azzeramento del deflusso nell'emissario naturale. Tale quota, per quanto sopraesposto è pari a 259,15 m s.m.. In linea teorica, mediante la derivazione del Cavo Diotti sarebbe possibile procedere ad uno svaso del lago sino alla quota 257,00 m s.m. che corrisponde alla quota di battuta delle attuali paratoie ovvero alla quota 256,80 m s.m. che corrisponde al punto di fondo più depresso sul Cavo Diotti a valle delle dette paratoie.

L'opportunità di poter procedere ad uno svaso del lago sino a tali quote tuttavia è sconsigliata da più fattori:

- già con il lago a quota 259,15 m s.m. la portata defluente dal cavo Diotti, con le modifiche inserite nel presente progetto, si attesta su valori dell'ordine di $11 \text{ m}^3/\text{s}$. Con tale portata di deflusso, pur ipotizzando un afflusso pari a zero e una decrescita del deflusso in linea con l'abbassamento di livello, servirebbero oltre 5 giorni per abbassare il lago di circa un ulteriore metro sino a quota 258,15. Poiché le previsioni di precipitazione oltre i 5 giorni evidenziano un'attendibilità assai limitata non vi sarebbero margini operativi per effettuare tale manovra pur ipotizzando il lago a quota di partenza 259,15 m s.m.;
- lo svaso del lago oltre la quota 259,15 m s.m. comporterebbe un regime non naturale dello stesso con problematiche di carattere ambientale di sicuro impatto sull'intero ecosistema;
- il mantenimento del fondo canale del cavo Diotti alla quota di 256,84 m s.m. comporterebbe la necessità di oneri annuali di dragaggio e svaso in quanto le basse velocità connesse ai deflussi con lago a quota compresa tra 259,15 e 256,84 m s.m.

indurrebbero una sedimentazione pressoché continua nel tratto di lunghezza di circa 370 m.

In sintesi pertanto la regolazione del lago di Pusiano mediante il Cavo Diotti è operativa in un intervallo di valori (da 259,15 a 261,50 m s.m.) in cui è attivo anche il deflusso nell'emissario naturale.

La regolazione del Cavo Diotti pertanto non induce la formazione di un maggior invaso rispetto a quello che naturalmente è connesso al regime del lago. In altri termini la gestione del Cavo Diotti produce unicamente come effetto la possibilità (in fase di abbassamento) di condurre il livello del lago a quota 259,15 m s.m. nell'ambito di una dinamica naturale.

Nella seguente tabella 1 sono riportati i valori di deflusso massimi dall'emissario naturale e dal Cavo Diotti (a paratoie aperte) per diversi valori del livello del lago nell'intervallo tra quota 259,15 e quota 261,50 m s.m..

Tabella 5 – Portate defluenti

QUOTA	PORTATA EMISSARIO NATURALE	PORTATA CAVO DIOTTI (risagomato come da progetto)
259.15	0	12
260.5	4	21
261.5	22	24

6.4 LA REGOLA DI GESTIONE

Come detto l'obiettivo della derivazione dal lago di Pusiano è l'attenuazione delle portate di piena a valle. In Figura 6.5 si evidenzia come l'innalzarsi dei livelli oltre la quota 261,50 m s.m., oltre a produrre allagamenti nelle zone rivierasche, determina un rapido accrescimento della portata in uscita dall'emissario naturale (a valle della loc. Stallo) sino a valori dell'ordine di 40 m³/s. Tali portate non risultano accettabili per il sistema di valle in concomitanza con gli apporti degli affluenti naturali e dei reticoli di drenaggio urbano (in uscita da Merone la portata limite ammissibile nel Lambro è di 30 m³/s).

La gestione del livello del lago mira pertanto a contenere l'escursione massima dello stesso a

quota 261,50 m s.m..

Dall'agosto 2005 è stato implementato dagli scriventi, presso la sala operativa della Protezione Civile della Regione Lombardia, un modello di previsione delle piene e gestione del lago di Pusiano atto a fornire le indicazioni operative per le manovre sul Cavo Diotti.

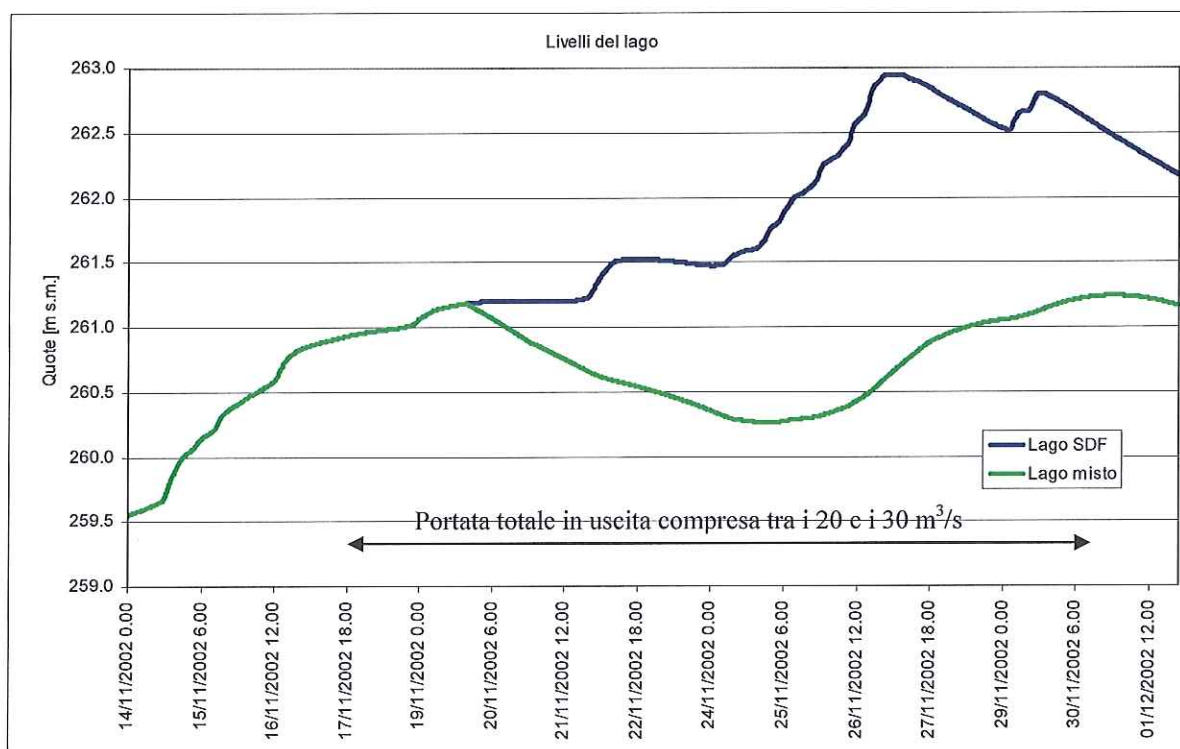
Il modello fonda la sua efficacia sulle previsioni di precipitazioni a breve termine (2÷5 giorni) diramate dall'ARPA Lombardia.

In sostanza il modello, ricevendo in ingresso le previsioni di precipitazione sul bacino del fiume Lambro chiuso alla sezione di Milano, simula i deflussi nell'intera asta sub-lacuale da Merone a Milano previa impostazione della regola operativa di gestione delle chiuse del Cavo Diotti.

Nella pratica l'obiettivo della gestione è, in presenza di previsioni di afflusso meteorico consistente, la conduzione del livello del lago a quota 259,15 m s.m. ad inizio evento.

Con tale gestione pertanto si disporrebbe dell'intero volume compreso tra quota 259,15 e quota 261,50 m s.m. per la laminazione delle piene del bacino pre-lacuale.

Figura 6.5 – Idrogramma (livelli) del lago di Pusiano durante l'evento del mese di novembre 2002 senza e con simulazione della regola di gestione prevista



In concreto, in occasione di preavviso di evento meteorico significativo a 5 giorni, è possibile,

in tale lasso di tempo, prevedere un graduale abbassamento del livello del lago con deflusso massimo di circa $30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Salvo situazioni eccezionali, con un tale preavviso, risulta possibile pertanto presentare il lago a livello 259,15 m s.m. ad inizio evento e quindi disporre di tutto il volume di 10.000.000 di metri cubi circa utili alla laminazione.

A titolo d'esempio in Figura 6.5 è riportato l'idrogramma del livello del lago di Pusiano durante l'evento del novembre 2002 nell'ipotesi di portate in uscita dal Cavo Diotti limitate dall'attuale configurazione delle chiuse (luce 2,20 x 0,70 m) e nell'ipotesi di regolazione con deflusso derivante (livello per livello) dalla precedente Tabella 5 con combinazione delle capacità del ramo naturale e del Cavo Diotti nello scenario di progetto.

Dalla figura si nota come, pur iniziando la regolazione a lago ormai pieno a livello 261,50 m s.m., l'incremento di deflusso attuabile mediante il cavo Diotti (da 15 a $30 \text{ m}^3/\text{s}$) avrebbe consentito il contenimento del livello massimo del lago al disotto di quota 261,50 m s.m. durante tutto l'evento. In media infatti dal 15 al 25 novembre il livello del lago di Pusiano si è mantenuto poco al disotto di quota 261,50 m s.m. con deflusso naturale attorno ai $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il modello fornito alla Protezione Civile, fondato sull'acquisizione dei dati di pioggia (previsti e registrati) e idrometrici del bacino, restituisce la previsione dell'evoluzione dell'idrodinamica della piena in sezioni assunte come riferimento per attuare procedure di allerta e/o allarme.

6.4.1 Le portate defluenti

Sulla base della geometria di progetto del cavo (fedele a quella d'origine) e dei vincoli sopraccitati, la gestione della derivazione ai fini di minimizzare l'escursione del lago e garantire al contempo un deflusso minimo anche nei periodi di magra al fiume Lambro risulta la seguente.

In occasione di preannuncio di precipitazione meteorica a 5 giorni tale da indurre potenzialmente un'escursione del lago a quota superiore alla 261,50 m s.m. la manovra delle chiuse viene eseguita per gradi in modo da consentire il raggiungimento della quota 259,15 m s.m. ad inizio precipitazione.

Le manovre sulle paratoie risultano pertanto asservite alla necessità di procedere ad uno svaso mantenendo la portata complessiva di deflusso (ramo naturale e Cavo Diotti) al di sotto del valore di $30 \text{ m}^3/\text{s}$ compatibile con le strutture di valle.

Nella Tabella 6 sono riportati i valori idraulici caratteristici.

Durante l'evento meteorico, previo asservimento alle risultanze delle previsioni di precipitazione ed alla simulazione in tempo reale sull'intera asta valliva sino a Milano, potrà verificarsi l'opportunità di diminuire il deflusso dal lago al fine di ridurre la sovrapposizione di colmo della portata in uscita dal lago con la portata di piena eventualmente defluente nel torrente Bevera di Molteno che confluisce nel fiume Lambro a Merone. A seguito di procedura codificata derivante dalla simulazione condotta dalla Protezione Civile, potrà quindi essere temporaneamente ridotto il deflusso dal lago (Cavo Diotti) sino all'azzeramento.

Tabella 6 – Portate di scarico e defluenti nel fiume Lambro

Stato paratoie	Livello nel lago	Livello ad imbocco tratto tombato	PORTATA EMISSARIO NATURALE	PORTATA CAVO DIOTTI (risagomato come da progetto)
Aperte completamente	259,15	258,80	0	4,6
Aperte completamente	259,50	259,06	0	11
Aperte completamente	260,00	259,54	0.8	13,5
Aperte completamente	260,50	260,03	2.6	15
Aperte parzialmente	261,50	260.32	20	10

La procedura per la gestione del transitorio di sovrapposizione dei colmi di piena dovrà prevedere un deflusso simulato a valle sino a Milano compatibile con le infrastrutture presenti in assenza di rischio di innalzamento del livello del lago al di sopra di quota 261,50 m s.m.. Il controllo della portata complessiva risulta eseguito mediante misuratore posto alla sezione del ponte in frazione Stallo.

7. IL REGIME DEL TRATTO TOMBATO

Rispetto all'intera infrastruttura definita nel suo insieme "Cavo Diotti", l'elemento di maggior delicatezza a livello idraulico è rappresentato dal tratto tombato che collega la zona delle chiuse al fiume Lambro in frazione Stallo di Merone.

Le restanti parti infatti (canale a cielo aperto e paratoie) presentano unicamente problematiche di manutenzione (es. svasso del fondo del canale) o gestione controllata (paratoie).

Il tratto tombato è rappresentato da una galleria scavata nella sponda del lago con le seguenti caratteristiche:

- lunghezza 97,60 m;
- sezione: policentrica (cfr. foto 2 e 3);
- pendenza: 0% (orizzontale) con quota fondo 256,84 m s.m.;
- quota intradosso: 259,30 m s.m.;
- quota sommità sponda del lago in cui è scavato il tratto: 267,80 m s.m.;
- altezza tombotto: 2,5 m;
- larghezza alla base del tombotto: 4,0 m;
- rivestimento fondo tombotto: discontinua in materiale lapideo;
- rivestimento volta e piedritti tombotto: in mattoni.

Il regime idraulico del detto tombotto è tipico delle strutture definite "culvert" come riportato nella successiva Figura 7.1.

Le simulazioni condotte sul regime del tratto tombato evidenziano come per le basse portate (circa 18,0 m³/s) il deflusso sia a pelo libero dal Cavo Diotti a Stallo. Per portate superiori e sino al massimo di circa 25 m³/s (livello del lago a quota 261,50 m s.m. ed apertura completa delle due paratoie) il manufatto presenta imbocco in pressione e sbocco a pelo libero. Per il caso estremo di apertura completa delle due paratoie a lago a quota 262,00 m s.m. (cioè a quote superiori alla massima regolazione prevista) il deflusso nel manufatto avviene completamente in pressione.

Rispetto all'intero sistema "Cavo Diotti" il tratto tombato rappresenta quindi la struttura di controllo ai deflussi a valle. In sostanza dal manufatto non possono defluire portate superiori a circa 24 m³/s con livello del lago a quota 261,50 m s.m..

In Figura 7.2 è riportato l'imbocco del tratto tombato mentre in Figura 7.3 è riportato lo sbocco presso la frazione Stallo.

Figura 7.1 – Regime tipico strutture “culvert”

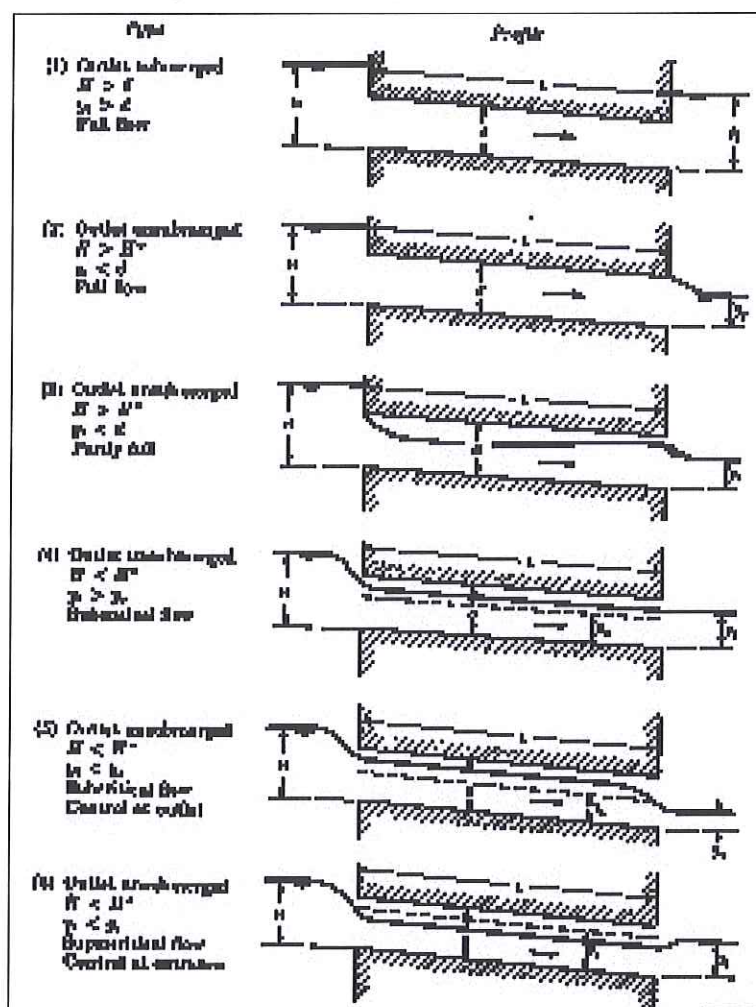


Figura 7.2 – Imbocco del tratto tombato presso la casa del custode



Figura 7.3 – Sbocco del tratto tombato presso la Frazione di Stallo



Nel presente progetto si prevede la sistemazione del fondo del canale con pietre, ancorate con chiodatura e ammorsate nel cls, in modo da fornire un piano regolare e solido. Per la volta si prevede invece, come da prescrizione allegata, il rivestimento dell'arco in mattoni con spritz beton per uno sviluppo totale di 93 m. La volta nel tratto finale di 5 m conserva la propria attuale configurazione.

Posizionando l'opera di regolazione nella sezione di imbocco della galleria, si deve verificare che l'apporto di aria nel tombotto sia sufficiente a mantenere un regime a superficie libera in qualsiasi condizione di apertura delle paratoie. L'apporto è garantito da un aeroforo di diametro 0,40 m che si inserisce nella vota tra la vasca delle anguille e via Appiani.

8. VERIFICHE IDRAULICHE SULLO SBARRAMENTO

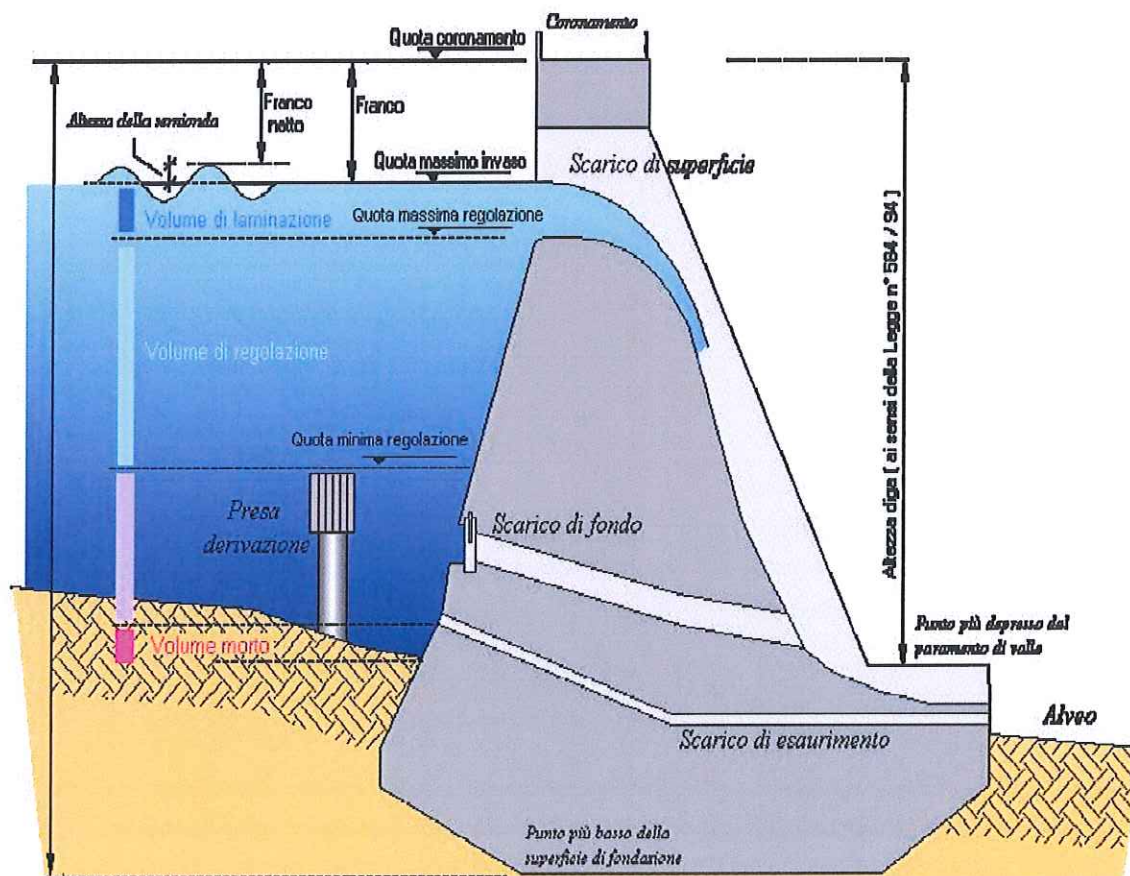
8.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E ASSUNZIONI

Il Cavo Diotti è un'opera idraulica che permette la potenziale gestione di un volume superiore al milione di metri cubi. Questa possibilità ha condotto negli anni, riconfermato recentemente, a definire l'opera idraulica come una grande diga.

Esistono tuttavia forti discrepanze tra il classico schema di sbarramento e il Cavo Diotti:

- il Cavo Diotti non è l'unica uscita del lago di Pusiano che mantiene la sua uscita naturale nel fiume Lambro. Questa realtà fa sì che la regolazione del volume oltre quote 259.15 m s.m., come detto in precedenza e come previsto dalla regola di gestione, non sia completa ma difetti di un'uscita naturale non regolata;
- l'opera di regolazione risulta a valle di una struttura che limita il deflusso (la casa di Guardia) e a valle di un canale di sviluppo pari a 370 m. L'opera di regolazione quindi non agisce direttamente sul lago, ma sulla portata transitante nel canale di derivazione e limitata secondo la geometria della casa di Guardia.

Figura 8.1 – Schematizzazione definizioni diga



Essendo il manufatto Cavo Diotti classificato come grande diga ma presentando forti anomalie rispetto al classico schema, è difficile applicare all'opera idraulica in progetto le classiche definizioni di diga (vedi Figura 8.1). In accordo con i responsabili dell'Ufficio Tecnico delle Dighe di Milano⁶ si è giunti alle seguenti assunzioni:

- *altezza della diga* (dislivello tra la quota del piano di coronamento e la quota del punto più basso della superficie di fondazione): pari a 9,70 m equivalente alla differenza tra quota 265,00 m s.m. (coronamento – massima quota assunta dalle sponde del lago) e quota 257,30 m s.m. (quota fondo cavo Diotti nel tratto tombato);
- *quota di massima regolazione* (quota alla quale ha inizio lo sfioro, automatico, dagli appositi dispositivi): pari alla quota delle traverse e dell'alveo del fiume Lambro in località Stallo definita pari a 259,15 m s.m.. A tale livello del lago infatti si attiva il deflusso nell'emissario naturale;
- *quota di minima regolazione* (quota minima a cui portare l'invaso in regime di regolazione): pari sempre alla quota 259,15 m s.m. in quanto livelli inferiori del lago di Pusiano non risultano utili ai fini della gestione delle piene e compatibili con l'ambiente lacustre;
- *scarico di fondo*: corrispondente al Cavo Diotti regolato dalle due luci sul nuovo manufatto con fondo a quota 256,84 m s.m.;
- *quota di massimo vaso* (quota massima a cui può giungere il livello dell'acqua nell'invaso ove si verifichi il più gravoso evento di piena previsto): pari alla quota 262,98 m s.m. raggiunta nell'evento del novembre 2002. A livelli maggiori del lago si innescano esondazioni che comportano verso est la possibilità di collegamento con il lago di Alserio e verso ovest lo sfioro verso il lago di Annone. In tale configurazione risulta di difficile definizione e previsione un innalzamento del lago a quote sensibilmente superiori in quanto, come detto, le sponde stesse in più punti non rappresentano un elemento continuo di contenimento;
- *quota di massimo vaso prevista*: la regolazione, come rilevato in precedenza dovrebbe contenere il massimo livello del lago di Pusiano entro i 261,50 m s.m., quota oltre la quale hanno inizio fenomeni di esondazione nei centri abitati più depressi e prossimi al lago (abitato di Pusiano).

⁶ Incontro presso l'ufficio Tecnico per le Dighe di Milano del 15 settembre 2011, a cui ha partecipato anche il RUP Dott. Ing. Daniele Giuffrè

- *franco* (dislivello tra la quota del coronamento e la quota di massimo invaso): 2,0 m pari al dislivello tra la quota di massimo invaso 2002 (262,98 m s.m.) e la quota del coronamento del nuovo manufatto (pari a 265,00 m s.m.). Si osserva che il presente franco di sicurezza ha valore del tutto teorico in quanto oltre quota 261,50 m s.m. hanno origine fenomeni di esondazione (abitato di Pusiano).

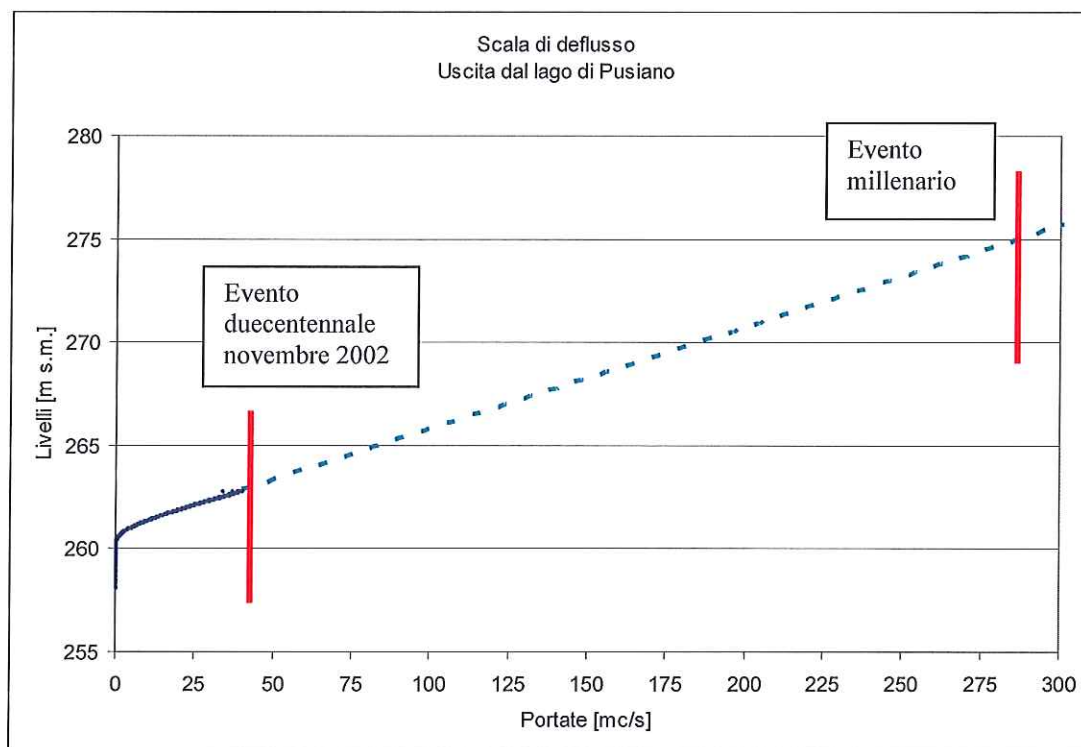
8.2 VERIFICA DELL'ONDA DI PIENA MILLENARIA

Le grandi dighe sono soggette alla verifica dell'evento millenario secondo la circolare 1125/86.

Come riportato al paragrafo 5 la portata millenaria in arrivo da sistema prelacuale al lago di Pusiano è pari a $Q_{T=1000} = 280 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nel novembre del 2002, evento più gravoso registrato negli ultimi decenni, i livelli del lago hanno raggiunto quota 262,98 m s.m. determinando una portata naturale in uscita nel Lambro poco superiore a $40 \text{ m}^3/\text{s}$, a fronte di un ingresso di portata al colmo calcolata pari a $175 \text{ m}^3/\text{s}$. Sulla base della scala di deflusso del ramo naturale (ipotizzando il contenimento della sponda), si osserva che il livello del lago necessario a permettere il deflusso nel Lambro sublacuale di $280 \text{ m}^3/\text{s}$ dovrebbe essere pari a quota 274,40 m s.m.

Figura 8.2 –Scala di deflusso dell'uscita naturale



Tale quota, superiore anche a via Appiani a Merone (267 m.s.m.) è superiore alle quote di tutte le sponde del lago.

Il sistema spondale infatti, oltre a presentare quote inferiori a quella calcolata, in più punti non rappresenta un elemento continuo di contenimento. Livelli del lago di Pusiano superiori a 265 m s.m., innescano fenomeni di esondazione verso altri sistemi idraulici:

- si innescano esondazioni verso est con possibilità di collegamento con il lago Alserio;
- si innescano fenomeni di sfioro ad ovest verso il lago di Annone.

Il massimo livello del lago teoricamente raggiungibile, mantenendo l'indipendenza dai sistemi idraulici naturali limitrofi, è pari a 265,00 m s.m. a cui corrisponde una portata in uscita di circa 85 m³/s, oltre il doppio di quella realizzatasi nel novembre 2002 ma molto inferiore alla portata millenaria. Si osserva che il Cavo Diotti in queste condizioni, anche a totale apertura delle paratoie, risulta circondato da portate e livelli che superano la capacità del tombotto (25 m³/s) in modo significativo e non può quindi operare alcun tipo di gestione dell'evento.

Oltre quota 265 m s.m. il sistema del lago di Pusiano non può considerarsi indipendente dai sistemi del lago Alserio e Annone. In tale configurazione risulta di difficile definizione e previsione un innalzamento del lago a quote sensibilmente superiori in quanto, come detto, le sponde stesse in più punti non rappresentano un elemento continuo di contenimento.

8.3 VERIFICA DELLE MANOVRE "RAPIDE"

Le grandi dighe sono soggette alla verifica delle manovre, di apertura e chiusura, istantanee secondo la circolare 1125/86.

La regola di gestione (A.13.00 Piano di Gestione) prevede manovre graduali con tempistiche che ad ogni gradino di apertura/chiusura delle paratoie permettano il riequilibrio e la verifica del sistema attraverso il sistema di TLC previsto.

In caso di funzionamento anomalo si possono verificare manovre "istantanee". Le verifiche sono eseguite nelle condizioni più sfavorevoli, ovvero considerando il livello del lago alla massima quota di regolazione prevista: 261,5 m s.m..⁷ Tale livello si mantiene costante durante la propagazione dell'onda, stante il notevole volume d'invaso rispetto al valore della portata in uscita.

⁷ Valore concordato con i responsabili dell'Ufficio Tecnico delle Dighe di Milano, in data 15 settembre 2011, e con il RUP Dott. Ing. Daniele Giuffrè

Manovra di chiusura

La paratoia, in condizioni di massimo livello di regolazione previsto, si mantiene in una posizione che parzializza la luce di deflusso nel tombotto. Infatti la portata uscente nel ramo naturale è pari a circa $13 \text{ m}^3/\text{s}$, per cui dal Cavo Diotti non possono uscire portate la cui somma agli afflussi naturali ecceda i $30 \text{ m}^3/\text{s}$ in loc. Stallo.

Una istantanea chiusura delle paratoie comporterebbe un istantaneo ma modesto innalzamento dei livelli in prossimità della casa di Guardia e variazioni trascurabili sul sistema di valle.

Manovra di apertura

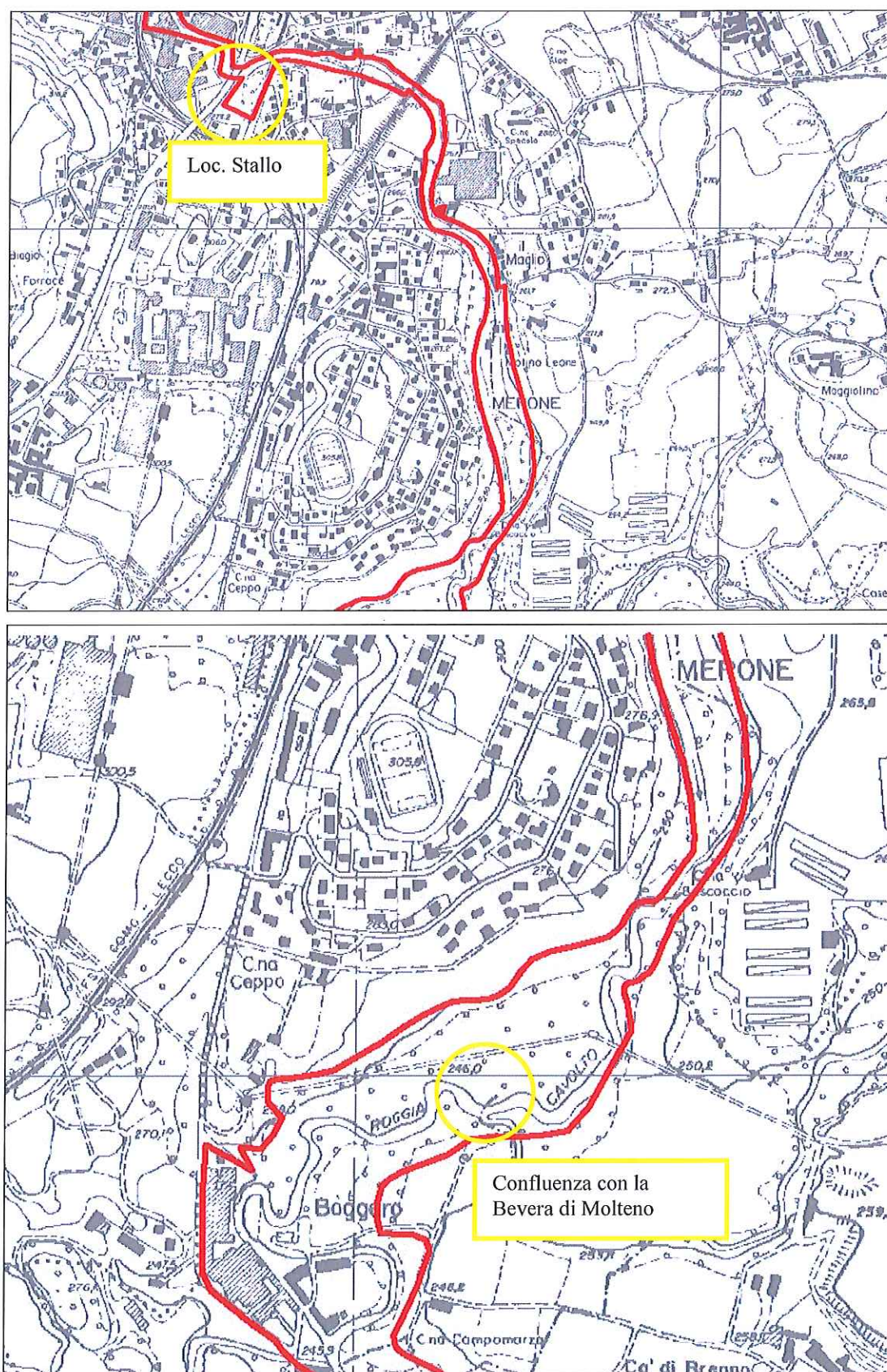
La paratoia che parzializza la luce di deflusso del tombotto, per garantire una portata massima di $30 \text{ m}^3/\text{s}$ in loc. Stallo, si apre istantaneamente e completamente.

Il fronte d'onda di $25 \text{ m}^3/\text{s}$ che raggiunge la loc. Stallo è smorzato dal transito nel tombotto, in parte in pressione, raggiungendo il nodo di confluenza a monte di via Croce. La velocità della corrente in uscita dal tombotto è dell'ordine del 2 m/s . Tale velocità è smorzata dal fatto che l'afflusso dal Cavo Diotti si immette trasversalmente al fiume Lambro. Le conseguenze dovute a possibile creazione di vortici o spinte anomale sulle sponde, in particolare quella destra che risulta frontale all'uscita del tombotto, risultano gestibili grazie alle opere di corazzamento e protezione spondale previste in progetto.

Nel ramo naturale quindi transitano $13 \text{ m}^3/\text{s}$, a cui si sommano i $25 \text{ m}^3/\text{s}$ in uscita dal Cavo Diotti e gli afflussi del bacino compreso tra la loc. Stallo e il lago di Pusiano ottenendo una portata superiore a quella compatibile con il sistema di valle. La portata defluente totale a valle della loc. Stallo ($45 \text{ m}^3/\text{s}$) corrisponde all' "onda di piena artificiale" che si genera nel Lambro.

Essa comporta i medesimi allagamenti e disagi ottenuti nel novembre 2002, in Comune di Merone, e rientra nelle naturali capacità di smaltimento del fiume Lambro a monte della confluenza con la Bevera di Molteno, ad una distanza di circa $2,5 \text{ km}$ a valle della loc. Stallo. Gli allagamenti innescati interessano per la maggior parte le aree golenali del fiume Lambro andando a lambire il tessuto urbano.

Figura 8.3 –Allagamenti in comune di Merone



8.4 VERIFICA DEL COLLASSO DELLA DIGA

Le grandi dighe sono soggette a verifica di collasso secondo la circolare 352/87.

Per poter eseguire la verifica al collasso della “diga” è necessario definire quale sia la parte dell’opera idraulica da considerare tale. Premesso quanto già riportato nel paragrafo 8.1, si è convenuto con i responsabili dell’Ufficio Tecnico per le Dighe di Milano⁸ che nel caso in esame la diga è l’opera di regolazione.

Si assume cioè che la “diga” corrisponda alle due paratoie piane previste alla sezione di imbocco del tombotto.

La situazione più problematica è quella che massimizza la portata defluente nel sistema a valle della loc. Stallo senza possibilità di gestione. Si assume di conseguenza che il livello del lago da considerare per l’esecuzione della verifica al collasso sia pari a quello di massima regolazione: 261.50 m s.m..

Gli effetti del collasso corrispondono a quelli di una manovra di apertura improvvisa e istantanea, già descritti al paragrafo 8.3.

⁸ Incontro presso l’ufficio Tecnico per le Dighe di Milano del 15 settembre 2011 a cui ha partecipato anche il RUP Dott. Ing. Daniele Giuffrè

9. IL CAVO DIOTTI: COMPATIBILITÀ P.A.I.

9.1 CONTENUTI E CRITERI

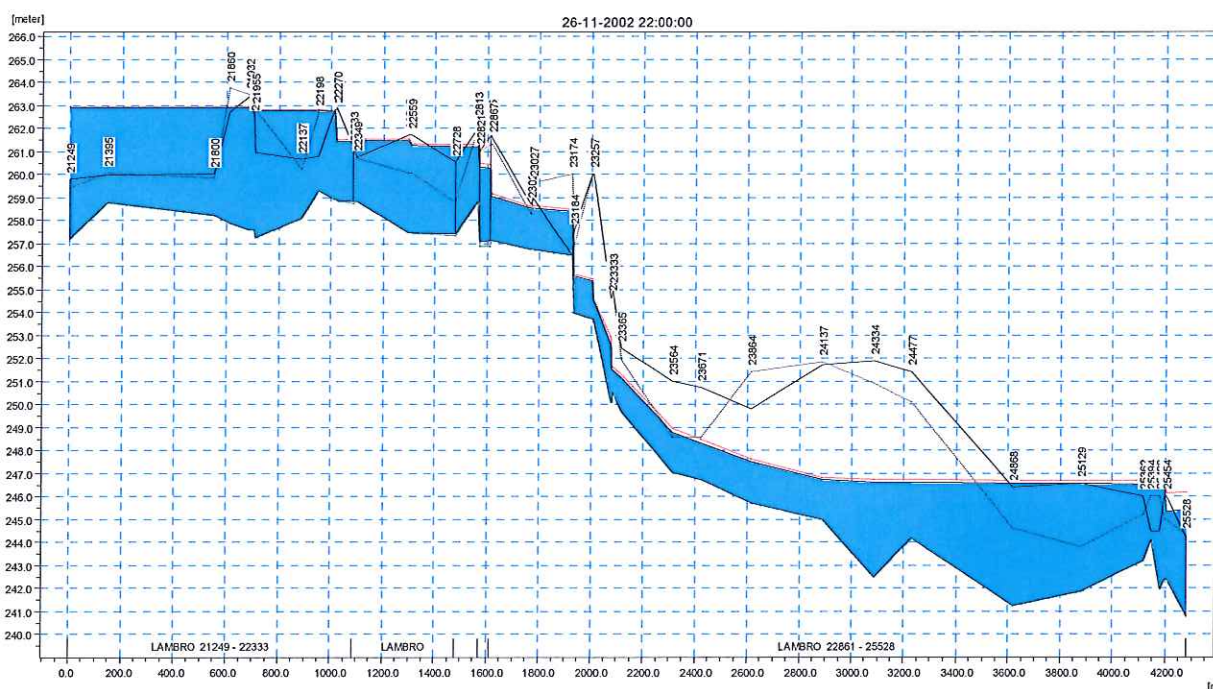
In conferenza dei servizi (31 marzo 2011) è stata richiesta la verifica di compatibilità dell'opera con l'art. 38 della normativa PAI.

L'obiettivo delle verifiche di compatibilità espresse nel PAI, contenute nella "Direttiva contenente i Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B", è che le opere in progetto: *"...non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativi..."*.

9.1.1 E1: modifiche del profilo

Il profilo geometrico dell'opera non subisce variazioni nel progetto esecutivo del Cavo Diotti. Si riporta in seguito il profilo idraulico del fiume Lambro dall'incile alla confluenza con la Bevera di Molteno, al colmo della simulazione dell'evento del novembre 2002.

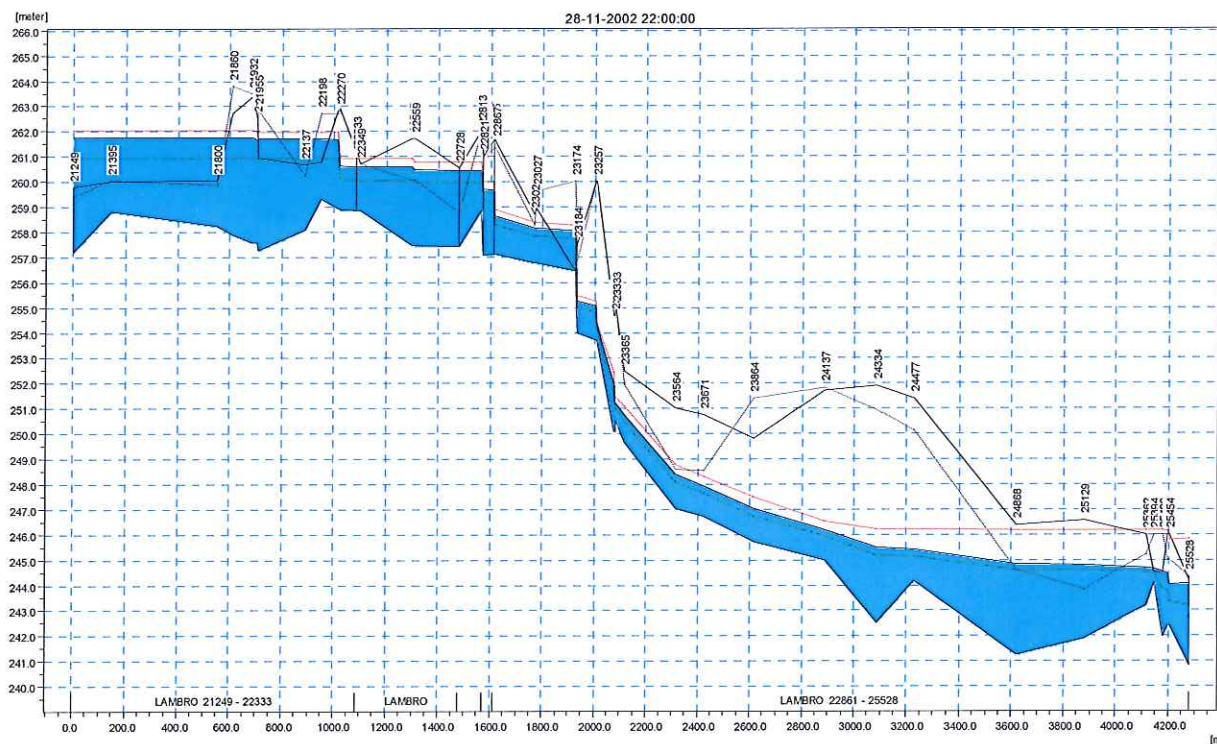
Figura 9.1 – Profilo del fiume Lambro nov. 2002



Si riporta in seguito il profilo idraulico del fiume Lambro dall'incile alla confluenza con la

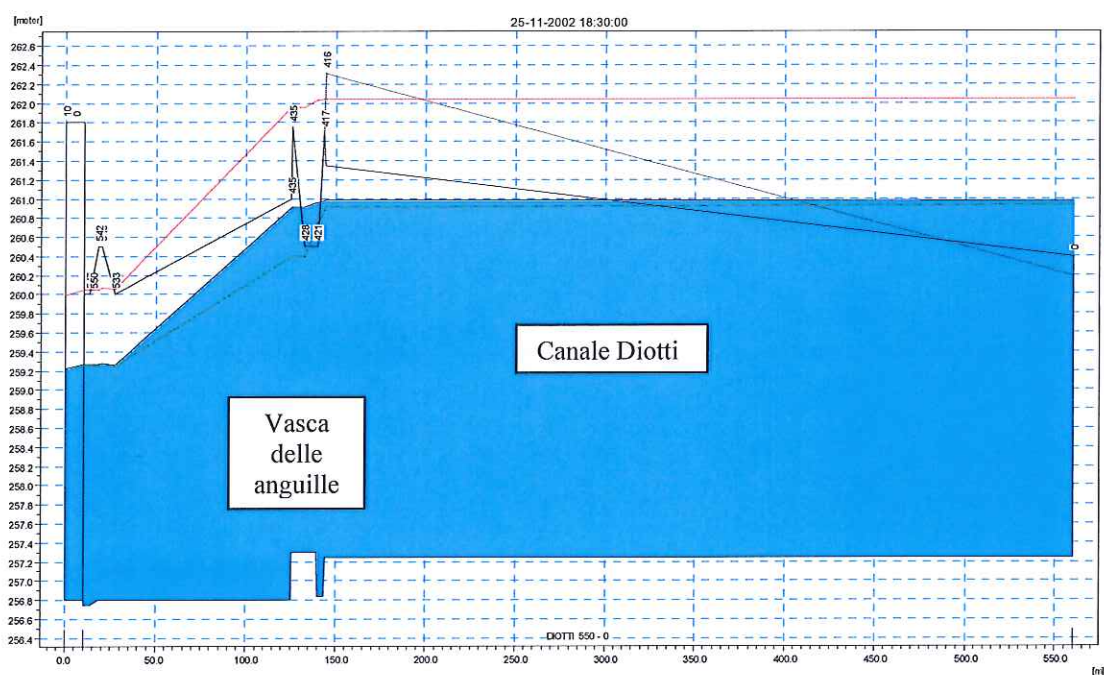
Bevera di Molteno, al colmo della simulazione dell'evento del novembre 2002 considerando la gestione che limita la portata di deflusso in loc. Stallo a $30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 9.2 – Profilo del fiume Lambro nov. 2002 – regolato



Si riporta in seguito il profilo del Cavo Diotti in condizioni di massima apertura, o meglio all'inizio dello svaso del lago di Pusiano.

Figura 9.3 – Profilo del Cavo Diotti



9.1.2 E2: riduzione della capacità di invaso

L'opera, come ampiamente esposto in precedenza, ha l'obiettivo di ottimizzare l'invaso del lago ottimizzandone i fenomeni di laminazione che già naturalmente vi si realizzano. Non vi è quindi alcuna riduzione delle capacità d'invaso presenti sul territorio.

9.1.3 E3: interazioni con opere esistenti

Il progetto è la ristrutturazione di un'opera esistente, ristrutturazione finalizzata all'ottimizzazione delle portate in uscita dal Cavo Diotti. Inoltre si prevede la sistemazione del fondo e della sponda destra del Lambro a monte del ponte Croce in loc. Stallo mediante corazzamento e realizzazione di una scogliera in massi. Tali protezioni sono a ridosso del ponte di via Croce a Merone, serbandolo da fenomeni di erosione.

9.1.4 E4: interazioni con opere in progetto

Nel luglio 1998, è stato redatto il progetto di "sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta"

A seguire nel 2004 è stato realizzato lo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona – Autorità di Bacino del Fiume Po", che ha condotto all'implementazione del modello del fiume Lambro dalle sorgenti alla sezione di Milano, confluenza Redefossi.

I risultati dello studio hanno apportato delle modifiche alle fasce fluviali del fiume Lambro, approvate dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, con delibera 2/2004 (seduta del 3 marzo 2004): Variante al PAI.

Nel medesimo documento si presenta l'assetto di progetto e il programma di lavoro.

Il Progetto delle "Opere di ristrutturazione del Cavo Diotti in Comune di Merone (CO)" rientra nelle dette pianificazioni come opera prioritaria, da realizzare preliminarmente alla realizzazione degli interventi vallivi.

9.1.5 E5: modifiche dell'assetto morfologico, piano – altimetrico

Il progetto prevede il riassetto altimetrico della ristretta area compresa tra via Appiani e la vasca delle anguille. La sistemazione, in quote di sicurezza idraulica, non influenza la

dinamica di deflusso che si instaura nell'intorno dell'opera. La creazione di un terrazzamento a due piani, come detto, permette di ottenere:

- un piano prossimo a via Appiani a cui è possibile accedere e sostare con mezzi di manutenzione/emergenza per operazioni ordinarie e straordinarie;
- un piano inferiore in sicurezza idraulica su cui alloggiare i quadri di comando dell'opera.

Non si prevedono ulteriori modifiche dell'assetto morfologico, piano – altimetriche.

9.1.6 E6: modifiche sulle caratteristiche naturali – paesaggistiche

Il progetto prevede:

- la realizzazione di una strada sterrata in sponda destra al canale di derivazione del Cavo Diotti, in una sede oggi occupata da vegetazione spontanea. La sistemazione prevede un miglioramento all'accessibilità e un maggiore agio per l'esecuzione delle operazioni di manutenzione sul canale. Il cambiamento sul paesaggio conduce ad un ambiente più ordinato;
- la posa di uno sgrigliatore di dimensioni importanti, la cui installazione è prevista a monte della casetta, modifica la vista offerta sul lato monte della casa coprendola in parte;
- si prevede il terrazzamento del terreno compreso tra la vasca delle anguille e via Appiani, comprensivo di punti luce, parapetti e opere di ingegneria naturalistica necessarie a proporre un ambiente pulito e ordinato;
- si prevede il corazzamento del fondo alveo il loc. Stallo e della sponda destra del fiume Lambro nel medesimo punto di confluenza. Le protezioni sono costituite da massi ciclopici i cui vuoti sono intasati con cls.

9.1.7 E7: condizioni di sicurezza

Il progetto permette un'ottimizzazione dei fenomeni di laminazione che si ottengono nel lago di Pusiano, per mezzo di una regolazione che mantenga il vincolo di portate in loc. Stallo con limite $30 \text{ m}^3/\text{s}$.

La gestione è prevista tra i livelli idrici del lago di Pusiano di 259,15 e 261,5 m s.m..

Si osserva che la quota di massima regolazione prevista è tarata sul punto più depresso del centro abitato di Pusiano sul lago, il cui franco di sicurezza è inferiore al 0,5 m.

La sicurezza è quindi fortemente legata al rischio di insufficienza dell'opera:

- nel caso il livello del lago si innalzi oltre la massima regolazione prevista si ha innescamento di fenomeni di allagamento negli insediamenti sulla sponda;
- nel caso il livello del lago superi i 262,50 m s.m. con conseguente deflusso di portate naturali superiori ai 30 m³/s in loc. Stallo si generano conseguenti problemi di incompatibilità del sistema di valle.

10. CONCLUSIONI

La presente relazione presenta gli aspetti idrologici – idraulici inerenti il progetto esecutivo di ristrutturazione del Cavo diotti.

Per lo studio del fiume Lambro e del suo bacino con chiusura a Milano, confluenza Redefossi, si sono susseguiti negli anni numerosi studi, di seguito elencati e riportati per completezza in allegato.

In particolare nel luglio 1998, in occasione della stesura del progetto di “sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta” (in allegato), si è eseguita una dettagliata analisi idrologica secondo le metodologie classiche.

Lo studio delle portate non può prescindere da una modellazione del fiume Lambro. Infatti i dati a disposizione, derivanti dal Servizio Idrografico, “Dati caratteristici dei corsi d’acqua italiani” (in allegato), forniscono una serie di dati che si concludono nel 1970, e che risultano quindi ad oggi inadeguati allo studio delle portate critiche del sistema.

Nel 2004 a seguito dello “Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d’acqua naturali e artificiali all’interno dell’ambito idrografico di pianura Lambro – Olona –Autorità di Bacino del Fiume Po” (in allegato), attraverso una consulenza fornita dagli scriventi, si è implementato, e tarato su eventi reali, il modello del fiume Lambro dalle sorgenti alla sezione di Milano, confluenza Redefossi.

I risultati dello studio hanno apportato modifiche alle fasce fluviali del fiume Lambro, approvate dall’Autorità di Bacino del Fiume Po, con delibera 2/2004 (seduta del 3 marzo 2004).

Il modello, approvato dall’Autorità di Bacino del Fiume Po, è attualmente adottato dalla Protezione Civile della Regione Lombardia, come strumento principe per la previsione e gestione delle piene.

Nel presente progetto si è effettuata la scelta di riferirsi in particolare a questo ultimo studio, adottando il modello che lega l’idrologia all’idraulica in forma inscindibile e che risulta essere uno stralcio del precedente modello.

Attraverso i calcoli idraulici eseguiti, si è verificato come l’intervento di adeguamento della derivazione permette di operare una regolazione efficace delle portate al Cavo Diotti, con oscillazioni del livello del lago tra le quote 259,15 ÷ 261,50 m s.m.. L’adeguamento delle luci delle attuali paratoie ha reso la casa influente al transito delle acque, e la regolazione, attraverso le nuove paratoie a valle della vasca delle anguille, permette un concreto controllo

dei valori delle portate in uscita durante precipitazioni estreme. L'automatizzazione attraverso un sistema di TLC delle opere semplifica la gestione delle stesse. La gestione così effettuata permette di limitare i valori delle portate al colmo nel fiume Lambro sublacuale, e offre quindi una valida opportunità di mitigazione del rischio idraulico.

Non si sono trascurati gli aspetti qualitativi delle acque, al cui controllo è stato predisposto uno sgrigliatore, e gli aspetti di protezione spondale garantiti da una scogliera in massi e da un esteso corazzamento del fondo presso il nodo di confluenza in loc. Stallo.

Milano, dicembre 2011

IL PROGETTISTA

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

HA COLLABORATO

Ing Noemi Maria Colombo

ALLEGATO 1: PRESCRIZIONE SPRITZ BETON

Giovanni Battista Peduzzi

Da: daniele.giuffre [daniele.giuffre@parcovellembro.it]
Inviato: giovedì 15 dicembre 2011 11.25
A: Noemi Colombo; Giovanni Battista Peduzzi
Cc: carla.galbiati
Oggetto: Indicazione per il completamento del progetto esecutivo

egregi Signori,

con riferimento al progetto di ristrutturazione delle opere idrauliche relative al Cavo Diotti vi segnalo che, a seguito dell'ultimo sopralluogo con i tecnici del Servizio Nazionale Dighe e delle successive analisi radar, occorre modificare la protezione del canale tombato sostituendo la soluzione prevista nel progetto definitivo con una soluzione alternativa di spritz beton in un calcestruzzo con granulometria inferiore a 15 mm, dosaggio in cemento tipo 42,5 in ragione di 400-500 kg/m³, addittivato con un accelerante di presa (silicato sodico o simili).

Cordiali saluti
Daniele Giuffrè

Ingegnere responsabile Diga di Pusiano

**ALLEGATO 2: RELAZIONE IDROLOGICA AL “PROGETTO PRELIMINARE DI
SISTEMAZIONE DEL FIUME LAMBRO A MONTE DI VILLASANTA” – REGIONE
LOMBARDIA, LUGLIO 1998**



REGIONE LOMBARDIA

SETTORE LL.PP./E.R. Servizio O.I.D.S.

PROGETTO PRELIMINARE

SISTEMAZIONE DEL FIUME LAMBRO
A MONTE DI VILLASANTA

LUGLIO 1998

3

TITOLO

RELAZIONE IDROLOGICA

I progettisti :

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI

Dott. Ing. GIUSEPPE FLOREALE

Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI

STUDIO PAOLETTI
INGEGNERI ASSOCIATI

20133 MILANO - via Bronzino, 9 - Tel.(02) 29404445
fax (02) 29404847 - E-Mail: ETATEC.MI@Flashnet.it

	NOME	FIRMA	DATA
REDAZIONE	M. Degiorgi		
VERIFICA	G. Floreale		
APPROVAZIONE	A. Paoletti		
TIPOLOGIA	COMMITTENTE	COMMESSA	DOCUMENTO
PP	122	39/96	RID

Alla presente relazione ha collaborato
l'ing. Mauro Degiorgi

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. IL BACINO DEL FIUME LAMBRO	3
3. STUDI ESISTENTI E DATI DISPONIBILI	8
3.1 INTRODUZIONE.....	8
3.2 ANALISI IDROMETRICHE CONSULTATE.....	10
3.3 I DATI PLUVIOMETRICI DISPONIBILI	15
3.4 IL MODELLO "PIANO LAMBRO".....	21
4. IL MODELLO ADOTTATO PER IL CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA.....	28
4.1 INTRODUZIONE.....	28
4.2 IL CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA	32
4.3 TARATURA DEL MODELLO.....	45
4.4 RISULTATI E CONCLUSIONI	47
5. VALUTAZIONE DEL REGIME IDROMETRICO MEDIO DEL FIUME LAMBRO	54
5.1 PREMESSA	54
5.2 LE STAZIONI DI MISURA DELLE PORTATE	55
6. TRASPORTO SOLIDO NEL BACINO DEL FIUME LAMBRO	56
6.1 PREMESSA	56
6.2 METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DEI VOLUMI DI SEDIMENTO AFFLUENTI AL LAGO DI PUSIANO	57
6.3 EQUILIBRIO DELL'ALVEO A VALLE DEL LAGO DI PUSIANO E STIMA DEL TRASPORTO SOLIDO IN SOSPENSIONE.....	65

RELAZIONE IDROLOGICA

1. PREMESSA

La presente relazione idrologica comprende tre capitoli fondamentali per le scelte progettuali che caratterizzano il progetto preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta.

Il primo riguarda la stima delle portate al colmo del fiume Lambro, associate a diverso tempo di ritorno, al fine di determinare le portate di progetto delle opere e di verifica degli alvei e delle strutture, nonché le portate di dimensionamento delle opere provvisionali e di deviazione provvisoria dei corsi d'acqua o le quote di sicurezza idraulica dei cantieri inerenti le opere individuate nel progetto preliminare.

Il secondo capitolo riguarda la valutazione della risorsa idrica disponibile. La valutazione risulta importante non tanto per il dimensionamento idraulico di particolari opere quanto per le verifiche del successivo capitolo terzo.

Il terzo capitolo riguarda la stima del trasporto solido nel fiume Lambro (e nei suoi affluenti diretti) per entrambi i meccanismi di fondo ed in sospensione che compongono tale importantissimo aspetto dell'idraulica fluviale.

In merito alla prima tematica nella presente relazione vengono analizzati gli studi pregressi ed i dati di carattere idrologico inerenti il bacino del fiume Lambro al fine di poter stabilire le portate di massima piena di progetto. Base per la definizione delle portate di piena che naturalmente si possono formare, in predefinite sezioni e con prefissati tempi di ritorno lungo l'asta di un fiume, sono le serie storiche di una certa significatività relative al regime idraulico del corso d'acqua. Nel caso del fiume Lambro e dei suoi affluenti gli studi

pregressi e le indagini di dettaglio condotte in occasione del presente studio hanno evidenziato la scarsità delle stazioni di misura, la brevità dei periodi di osservazione ed in generale numerose discrepanze tra le portate indicate nei registri del S.I.I. e quelle che si ricavano dai livelli osservati durante lo stesso evento applicando le scale di deflusso valide per il periodo. Osservata pertanto l'impossibilità di raggiungere una stima attendibile delle portate di massima piena per via diretta, si è necessariamente adottata una procedura indiretta che, partendo dall'analisi probabilistica degli eventi pluviometrici intensi e tramite un modello distribuito di trasformazione afflussi meteorici – deflussi, fosse in grado di tener conto della varia morfologia del bacino (di carattere prealpino nel triangolo lariano e collinare nella zona tra Pusiano e Villasanta), della presenza di laghi naturali di discreta dimensione (Pusiano, Alserio, Segrino), della diversa urbanizzazione dei territori. I risultati delle analisi sopracitate sono stati confrontati e validati sia con i pochi dati relativi a piene di cui si dispone di discrete ed attendibili registrazioni di piogge e portate, sia con i valori di letteratura per la zona pedemontana lombarda. I valori così ottenuti sono stati posti alla base dei calcoli relativi al funzionamento idraulico delle opere progettate e all'evoluzione in termini di trasporto solido dell'alveo del fiume Lambro. In merito a quest'ultima problematica maggiori ancora risultano le differenze di comportamento tra il bacino montano prelacuale (caratterizzato come detto da alveo torrentizio con affluenti diretti apportatori di notevoli portate solide quasi esclusivamente durante i fenomeni di piena) ed il bacino sublacuale sul quale si sono succeduti notevoli interventi antropici (realizzazione di traverse per derivazioni ad uso forza motrice) che di fatto ne hanno alterato il naturale originario equilibrio. I riflessi di tali alterazioni, la

cui quantificazione, comunque assai problematica, non è stata approfondita negli studi pregressi consultati quanto quella relativa alle portate di massima piena, possono risultare significativi nei riguardi degli apporti di materiale solido verso valle e quindi dell'equilibrio dei tratti di alveo in erosione o in deposito.

2. IL BACINO DEL FIUME LAMBRO

Il fiume Lambro ha origine nel Triangolo Lariano, nelle Prealpi racchiuse tra i due rami del lago di Como, in Comune di Magreglio a quota 1300,00 m s.m. circa. Il corso d'acqua prelacuale si sviluppa in direzione nord-sud per un primo tratto sino a Canzo, in direzione est-ovest sino a Ponte Lambro e quindi nuovamente in direzione nord-sud sino al lago di Pusiano nel quale si immette, in Comune di Erba, a seguito della rettifica e della bonifica eseguita. Il primo tratto sino alla confluenza del torrente Foce (Comune di Asso) risulta di competenza della Regione Lombardia, il tratto intermedio sino a Ponte Lambro di competenza del Magistrato per il Po, il tratto terminale nuovamente della Regione Lombardia. In attraversamento della città di Erba l'alveo risulta canalizzato ed artificializzato ed è oggetto di manutenzioni da parte del Consorzio del Torrente Lambrone con sede in Erba. All'uscita dal lago di Pusiano il corso d'acqua riprende andamento con direzione prevalente nord-sud e giunge a Villasanta, termine del tratto oggetto di studio e di competenza della Regione Lombardia. Il successivo tratto nella pianura milanese sino all'immissione nel fiume Po risulta nuovamente di competenza del Magistrato per il Po.

La superficie complessiva del bacino idrografico chiuso alla sezione di confluenza con il Lambro Meridionale è stata misurata (Piano Lambro – 1986) in 890 km². Il corso principale ha lunghezza complessiva 118,50 km di cui 48,9 oggetto del presente studio (18,5 km circa a monte del lago di Pusiano e 30,4 km a valle). Come detto, nella zona di studio il fiume Lambro ha caratteri tipici di fiume prealpino con direzione regolare, non influenzata da importanti evidenze orografiche o direttrici strutturali, una portata media modesta (circa 5,50 m³/s alla sezione terminale posta a ponte S. Giorgio in Comune di Biassono e Villasanta), variabilità e stagionalità delle portate legata al regime pluviometrico data l'assenza di ghiacciai nel bacino di alimentazione. Dal punto di vista geologico il fiume Lambro, nella configurazione e nel tracciato attuali, si è venuto formando in epoche recenti. Dopo il ritiro dei ghiacciai il fiume ha progressivamente assunto la funzione di via di deflusso delle acque raccolte nel bacino scavato dalla lingua glaciale di Asso-Canzo, attraversando le colline moreniche deposte a valle di Erba, solcando ed incidendo le colline brianzole e la pianura milanese nel susseguirsi di tre distinte zone:

- la parte montana, compresa tra le sorgenti ed Erba, costituita essenzialmente da rocce calcareo-dolomitiche con sporadiche coperture moreniche, solcate da numerosi piccoli corsi d'acqua a regime torrentizio, con pendenze generalmente elevate (torrenti Lambretto, Valle di Rezzago, Foce, Ravella, Bistonda, Bova). Al termine di questa parte il fiume diminuisce la sua pendenza sino a confluire nel lago di Pusiano dove deposita notevoli quantità di detriti che ne caratterizzano il conoide;
- la porzione sublacuale in cui si susseguono avvallamenti ed alture di morfologia glaciale, costituite da lembi di affioramenti rocciosi modellati

dall'azione erosiva dei ghiacciai, da coperture moreniche solcate da torrenti prevalentemente in sponda sinistra. Nella parte iniziale la valle del fiume Lambro si presenta ampia con zone di esondazione che raggiungono larghezze di alcune centinaia di metri. Nella parte intermedia l'alveo risulta incassato con larghezza del fondovalle ridotto a poche decine di metri. Nella parte terminale di questa fascia, tra Macherio e Lesmo, il Lambro attraversa le ultime zone a morfologia glaciale per gettarsi nelle alluvioni che si estendono sino al Po;

- la zona finale in cui, abbandonata la Brianza e quindi il tratto di interesse del presente Progetto, il Lambro attraversa la pianura milanese.

In tabella 1 sono riportate le superfici relative alle singole zone di bacino ed ai principali affluenti (fonte C.T.R. 1:10.000).

Tabella 1

<i>BACINO</i>	<i>SUPERFICIE (km²)</i>
F. Lambro a monte del lago di Pusiano	73,41
Emissario lago di Segrino e bacino diretto Pusiano	27,68
Emissario lago di Alserio	18,70
F. Lambro alla confluenza con Bevera di Molteno	129,83
T. Bevera di Molteno	39,24
T. Bevera di Veduggio	12,90
T. Bevera di Renate	22,10
F. Lambro alla confluenza con Bevera di Renate	227,82
F. Lambro a Villasanta	277,20

Rispetto ad altri fiumi, il Lambro presenta una curiosa anomalia: nel tratto sublacuale non riceve afflussi naturali in sponda destra, con le sole eccezioni dell'emissario del lago di Alserio, della roggia Cavolto (in Comune di Merone) e del Lambro Meridionale a sud della zona oggetto di studio. I principali

afflussi derivano pertanto dai torrenti in sinistra tra cui particolare importanza rivestono: le tre Bevere (di Molteno, di Veduggio e di Renate), le rogge Brovada e Pegorino ed a valle del tratto in oggetto la roggia Molgorana ed il torrente Sillaro.

Diversa risulta la situazione per quanto concerne gli afflussi provenienti dal reticolo artificiale costituito prevalentemente, nella zona di studio, dai collettori del Consorzio Alto Lambro (con sede a Merone e depuratore in località Baggero), del Consorzio della Valsorda e delle Bevere (con sede a Lurago d'Erba e depuratore a Nibionno in località Gaggio) e del Consorzio di Bonifica dell'Alto Lambro (con sede e depuratore in Monza). A seguito di tale situazione il bacino idrografico naturale risulta difforme (in alcuni casi anche sensibilmente) rispetto al bacino artificialmente scolante nel corso d'acqua. Il modello idrologico di seguito descritto ed adottato tratta pertanto differentemente i tributari naturali dai tributari artificiali: in primo luogo poiché diversi sono i tempi di reazione dei bacini naturali e dei bacini urbani; in secondo luogo poiché il reticolo artificiale presenta portate massime ammissibili ben definite ed in genere limitate a valori associabili al più a 10 anni di tempo di ritorno (valore usuale di dimensionamento delle reti urbane), limite questo che, in caso di eventi eccezionali, induce in determinate zone servite da un unico collettore che allaccia il bacino artificiale al corso d'acqua, fenomeni di allagamento diffuso e pertanto una laminazione dei deflussi. In tali casi le maggiori immissioni in alveo risultano localizzate in corrispondenza di punti ben precisi (scaricatori di piena) di cui si riporta l'elenco rilevato presso gli Enti gestori in Relazione Descrittiva degli studi esistenti.

Dal punto di vista dell'urbanizzazione il bacino del fiume Lambro non è in genere caratterizzato da elevatissimi valori di densità abitativa. La parte montana è infatti caratterizzata da abitati di ridotte dimensioni, alcuni dei quali direttamente interessati dall'asta fluviale (Magreglio, Barni, Asso, Canzo) e dal centro di Erba posto allo sbocco della valle. La parte sublacuale è anch'essa caratterizzata da abitati che nella zona collinare occupano una porzione non prevalente del bacino che pertanto presenta valori di urbanizzazione compresi tra il 2 ed il 50%. Gli abitati sorgono sia in posizione sopraelevata rispetto al fiume, sia, in alcuni casi, in prossimità delle sponde. In particolare nella zona sublacuale si rileva una notevole successione di nuclei sorti a ridosso dell'alveo o, in alcuni casi, all'interno dell'alveo stesso in quanto originariamente deputati all'alloggiamento dei mulini. Alcuni di tali insediamenti si sono trasformati nel tempo in opifici (i quali pure sfruttavano l'energia derivata dalle numerose traverse realizzate ad inizio del secolo) ed ancor oggi sono adibiti a tale funzione, mentre altri sono oggi utilizzati a fini abitativi soggetti ad esondazione in caso di eventi anche di non elevatissima rilevanza. Il citato intenso sfruttamento per produzione di forza motrice ha caratterizzato l'alveo del fiume che presenta ben 23 salti di fondo di altezza complessiva pari a 31,0 m circa (su un dislivello di 91,0 m circa) tra il lago di Pusiano e Villasanta. Da ogni traversa si dipartivano una o più derivazioni oggi parzialmente in disuso od occluse nel corso degli anni per la difesa dai fenomeni di esondazione.

3. STUDI ESISTENTI E DATI DISPONIBILI

3.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo vengono esposti i dati e le elaborazioni idrologiche delle portate di piena nel fiume Lambro e nei suoi affluenti riportate negli studi già eseguiti da vari Autori.

I primi studi sulle portate di piena del fiume Lambro risalgono alla metà del secolo scorso quando a causa di piene eccezionali si cercò di studiare la regolazione dei laghi di Pusiano e Alserio al fine di utilizzare da un lato la notevole capacità di laminazione da essi naturalmente garantita e dall'altro di regolarizzare i deflussi. La prima stazione per la misura dei livelli installata sul fiume Lambro fu quella ubicata sul lago di Pusiano in Comune di Bosisio Parini nel 1877. Nel 1926 venne installata una seconda stazione, nel tratto prelacuale, a Caslino d'Erba, dotata di apparecchio registratore e quindi in successione furono approntate le seguenti stazioni: Lambro a Lambrugo (ponte Camisasca) nel 1937; Bevera a Colombaio nel 1957; Lambro a Peregallo nel 1959. Tutte le stazioni citate risultano ad oggi non più attive nelle posizioni originarie. Dopo anni di mancanza di osservazioni recentemente si è assistito alla posa di nuove stazioni di misura: nel 1984 è entrato in funzione un nuovo idrometrografo al Ponte di S. Giorgio in Comune di Biassono gestito dall'Associazione Difesa Alto Lambro che mediante due pubblicazioni ha reso noti i dati registrati dal 1 gennaio 1984 al 31 dicembre 1996; nel 1998 il Servizio Idrografico Italiano ha predisposto due stazioni di misura rispettivamente a Caslino d'Erba (nella posizione del vecchio idrometrografo) e al ponte di Peregallo in Comune di Biassono. La stazione di Caslino d'Erba

- Bevera a Colombaio 1954-1970;
- Lambro a Lambrugo 1940-1970.

Tabella 2 – Bevera a Colombaio

9

Tabella 3 – Lambro a Lambrugo

<i>ANNO</i>	<i>Portata giornaliera media massima</i>	<i>Portata massima al colmo</i>	<i>Rapporto</i>
1940	16,50	32,20	1,952
1941	23,20	32,20	1,388
1942	9,95		
1955	10,50	16,50	1,571
1956	40,20	42,70	1,062
1957	38,90	45,30	1,165
1958	24,60	31,80	1,293
1959	29,10	39,10	1,344
1960	40,70	60,70	1,491
1961	28,40		
1962	20,40		
1963	42,90		
1964	16,90		
1965	28,50		
1966	58,40		
1967	20,20		
1968	23,00		
1969	8,87		
1970	17,90		
N DATI	19	8	8
MEDIA	26,27	37,56	1,408
SCARTO Q.M.	13,02	12,86	0,274

Dall'analisi dei dati emerge la brevità dei periodi di osservazione delle portate al colmo di piena che sono in genere lunghi meno della metà di quelli delle portate medie giornaliere.

3.2 ANALISI IDROMETRICHE CONSULTATE

3.2.1 "Studio idrologico del fiume Lambro" – Ing. U. Raffa, 1962

Nel documento in esame l'Autore determina le portate al colmo associabili a tempo di ritorno 100 anni basandosi oltre che sui dati ufficiali anche su dati non pubblicati.

L'analisi condotta fornisce i risultati di tabella 4 per le tre sezioni caratteristiche poste in corrispondenza di stazioni di misura.

Tabella 4

<i>SEZIONE ESAMINATA</i>	<i>PORTATA DI PIENA CENTENNALE (m³/s)</i>
Bevera a Colombaio	36,50
Lambro a Lambrugo	122,00
Lambro a Peregallo	192,00

3.2.2 "Stima della distribuzione di probabilità delle portate al colmo con il metodo di Gumbel" – Piano di Bacino del Fiume Lambro Settentrionale – Provincia di Milano, 1986

Nell'ambito dello studio di bacino in oggetto sono state effettuate elaborazioni idrologiche sia sulla base di elaborazioni statistiche dei dati pubblicati sia sulla base di modelli di trasformazione afflussi - deflussi.

Per quanto concerne la prima metodologia, data la già accennata brevità dei campioni, gli Autori hanno proceduto ad un ampliamento degli stessi utilizzando le portate medie giornaliere osservate nelle medesime stazioni moltiplicate per la media del rapporto ottenuto in tabella 2 e 3 dividendo le portate al colmo esistenti per le corrispondenti portate medie giornaliere nel periodo comune dei dati.

I risultati ottenuti sono riportati nella successiva tabella 5.

Tabella 5

<i>TEMPO DI RITORNO (anni)</i>	<i>Bevera a Colombaio (m³/s)</i>	<i>Lambro a Lambrugo (m³/s)</i>
5	18,4	48,6
10	22,3	58,7
20	26,1	68,4
50	31,1	81,0
100	34,7	90,4

Nel medesimo studio sono riportati anche i risultati che si ottengono non ampliando il campione originario. Come si nota confrontando i valori di tabella 6 con i precedenti valori di tabella 5 l'ampliamento del campione comporta un effetto di riduzione sensibile sulle portate della stazione della Bevera a Colombaio mentre provoca un aumento nelle portate stimate alla stazione del Lambro a Lambrugo. Tali risultati indicano la scarsa affidabilità di analisi relative a così pochi valori di portata. Occorre inoltre sottolineare come i valori delle portate alla stazione di Lambrugo siano influenzati dall'effetto di laminazione del lago di Pusiano da un lato e dalle possibili manovre sull'opera di regolazione esistente dall'altro.

Tabella 6

<i>TEMPO DI RITORNO (anni)</i>	<i>Bevera a Colombaio (m³/s)</i>	<i>Lambro a Lambrugo (m³/s)</i>
5	20,2	46,8
10	25,9	54,3
20	31,3	61,6
50	38,4	70,9
100	43,7	77,9

3.2.3 "Progetto di Sistemazione idraulica dei torrenti Bevera e Gandaloglio in Comune di Molteno" – Genio Civile di Como – agosto 1991

La stima delle portate di piena è stata effettuata sulla base delle osservazioni idrometriche della stazione della Bevera a Colombaio. Nella Relazione Idrologica, a firma dell'Ing. Vezzano, si fa riferimento sia al campione delle massime portate medie giornaliere, sia al campione delle portate massime al

colmo. Le due variabili casuali sono state interpretate nello studio con due diverse leggi probabilistiche (Gumbel e log-normale) per poi metterne a confronto i risultati. Al termine dell'analisi viene prescelta la legge log-normale come più idonea a rappresentare i risultati ed ottenuti i valori riportati in tabella 7.

Tabella 7

<i>Tempo di ritorno 100 anni Probabilità di non superamento</i>	<i>Portata Bevera a Colombaio (m³/s)</i>
50%	35,5
80%	42,1
95%	51,3

3.2.4 Conclusioni

I risultati emergenti dai documenti e dagli studi idrologici prodotti a vario titolo da esperti del settore possono essere sintetizzati come segue:

- le analisi idrometriche risultano basate su un numero assai esiguo di dati e non raggiungono, anche per l'applicazione di metodologie diverse, una sostanziale concordanza di valori in merito alle portate di massima piena del fiume Lambro in corrispondenza delle sezioni di interesse. A tal proposito, infatti, è superfluo sottolineare come le analisi statistiche presentino attendibilità tanto maggiore quanto più lunga è la serie storica dei dati disponibili e quanto minore è il tempo di ritorno: è ben intuitivo che una stima della portata di tempo di ritorno 500 anni sulla base di pochi anni di osservazioni risulti affetta da notevoli incertezze. Una misura quantitativa di tali incertezze viene fornita dal cosiddetto errore standard. Senza entrare nel merito della teoria, e rimandando per questo alla

letteratura esistente, si riporta l'equazione dell'errore standard valida per la distribuzione di Gumbel:

$$S^2 = \frac{s^2}{n} (1 + 1,1396K + 1,1K^2) \quad (1)$$

dove:

S = errore standard di stima della distribuzione di probabilità;

s = scarto quadratico medio del campione disponibile;

n = dimensione del campione;

K = fattore di frequenza, funzione del tempo di ritorno e della dimensione del campione.

Noto l'errore standard si possono poi calcolare i limiti di confidenza della distribuzione adottata, cioè, per ogni valore del tempo di ritorno e della dimensione del campione, l'intervallo entro cui i valori attesi della variabile ricadono con data probabilità. Supponendo in particolare che la distribuzione dei parametri della legge di probabilità adottata sia normale, i limiti di confidenza corrispondenti al 95% di probabilità sono dati da:

$$i = \pm 1,96 S$$

Applicando tale procedura alla distribuzione delle portate al colmo registrate alle sezioni di Bevera a Colombaio e Lambro a Lambrugo si ricava quanto segue:

- per entrambe le stazioni idrometriche di Bevera a Colombaio e Lambro a Lambrugo si hanno le seguenti fasce di incertezza:
 T = 10 anni; Ampiezza fascia di incertezza = $\pm 57,16\%$;
 T = 100 anni; Ampiezza fascia di incertezza = $\pm 65,43\%$;
 T = 500 anni; Ampiezza fascia di incertezza = $\pm 68,87\%$.

Risulta evidente come per le stazioni idrometriche disponibili la fascia sia tanto ampia da comprendere eventi di categoria diversissima (il valore centennale può divenire un evento con tempo di ritorno di 2 anni o un evento con tempo di ritorno più che millenario) e quindi di scarsa attendibilità pratica;

- gli eventuali valori ritenuti ammissibili si riferiscono a due sole stazioni nell'ambito di un bacino di discreta ampiezza, notevole variabilità morfologica e caratterizzato dalla presenza di invasi, zone a diversa urbanizzazione, afflussi urbani concentrati in maniera difforme, esondazioni e allagamenti diffusi.

Le dette analisi statistiche conducono pertanto alle seguenti considerazioni:

- le elaborazioni basate sulle serie idrometriche non presentano un sufficiente grado di affidabilità in quanto non risultano essere estese ad un numero tale di anni da poter garantire una stima adeguata delle portate di massima piena con tempo di ritorno superiore ai 5 anni;
- l'estrapolazione degli eventuali dati desumibili da tali analisi a tutto il bacino comporterebbe l'assunzione di formule di regionalizzazione che aumenterebbero il grado di incertezza complessiva sui dati base senza consentire di tener conto di eventuali informazioni peculiari su porzioni di bacino.

3.3 I DATI PLUVIOMETRICI DISPONIBILI

3.3.1 Introduzione

Alla luce di quanto riportato al precedente paragrafo 3.2, la stima delle portate di massima piena del fiume Lambro a partire da dati pluviometrici (ben più

ricchi rispetto ai citati dati idrometrici) appare opportuna sia allo scopo di individuare le portate di verifica dei vari tratti d'alveo e di dimensionamento delle diverse opere in progetto con una procedura uniforme, sia per presentare con chiarezza i parametri del modello utilizzato.

Nei successivi paragrafo 3.4 e capitolo 4 sarà presentato e discusso rispettivamente il modello adottato nella stesura del "Piano Lambro" che costituisce ad oggi il riferimento principale per quanto concerne l'asta sublacuale del fiume Lambro ed il modello appositamente predisposto dagli scriventi. La costruzione di tali modelli di trasformazione afflussi-deflussi, fondati sui dati di precipitazione meteorica, comporta l'acquisizione dei dati relativi alle precipitazioni di breve durata e forte intensità dei pluviografi ricadenti nel bacino del Lambro o prossimi ad esso.

Prima di procedere nella descrizione dei due modelli (quello adottato nel 1986 e quello del modello approntato dagli scriventi) è tuttavia opportuno ricordare il legame tra il concetto di tempo di ritorno ed il rischio di superamento della grandezza in esame in un determinato intervallo di tempo.

Il rischio viene infatti definito come probabilità P che il massimo annuale della grandezza in esame venga superato almeno una volta in N anni ed è legato al tempo di ritorno T dall'espressione:

$$P = 1 - (1 - 1/T)^N \quad (2)$$

Quindi, ad esempio, la probabilità o il rischio di superamento in N anni di un evento con 100 anni di tempo di ritorno sarà:

- in 1 anno: $P = 0,01 = 1\%$;
- in 10 anni: $P = 0,096 = 9,6\%$;
- in 50 anni: $P = 0,395 = 39,5\%$;

- in 100 anni. $P = 0,634 = 63,4\%$.

In definitiva pertanto l'assunzione dei valori di portata riportati nei seguenti capitoli come dati di progetto per la sistemazione idraulica del fiume Lambro risulterà coerente con il grado di conoscenze acquisibili e con la ragionevole certezza di poter garantire in un arco temporale definito gli interventi di carattere strutturale e pianificatorio che possano consentire di raggiungere i livelli di sicurezza richiesti.

3.3.2 Dati pluviometrici

Data la necessità di assumere quale ingresso nei modelli i dati pluviometrici sul bacino per il calcolo probabilistico delle portate di deflusso conseguenti agli eventi meteorici vengono utilizzate le cosiddette curve di possibilità pluviometrica, ossia le curve che legano, per un assegnato tempo di ritorno, l'altezza di precipitazione h alla durata t corrispondente.

Detta h l'altezza di precipitazione in funzione della durata delle piogge stesse, la tecnica idrologica abituale fornisce, per le curve di possibilità pluviometrica, una relazione monomia del tipo:

$$h = a t^{\alpha} \quad (3)$$

dedotta classificando in ordine decrescente le massime precipitazioni verificatesi in passato ed involupando superiormente i dati di pari ordine.

In sostanza ci si affida ad un'indagine probabilistica che consenta di trovare una relazione tipo la (3) collegata ad un'assegnata probabilità di superamento; in termini pratici si vuole trovare l'altezza di pioggia h , relativa ad una certa durata t , che abbia probabilità piuttosto bassa di essere uguagliata o superata durante il periodo di un anno.

Sono state pertanto esaminate ed elaborate le serie storiche delle piogge massime annue registrate dai pluviografi del Servizio Idrografico Italiano posti nel bacino in esame. Nei documenti allegati al "Piano Lambro" sono riportate le analisi di ben 42 stazioni pluviografiche poste non solo all'interno del bacino ma in tutta la zona circostante (dalla provincia di Sondrio al fiume Po). Calcolati per ciascuna stazione, e per due diverse distribuzioni probabilistiche (Gumbel, Galdon-Gibrat), i valori $h(t)$ dei massimi annuali di precipitazione alle varie durate si è rilevata, data la vastità e disomogeneità del territorio in cui ricadono le stazioni considerate, una estrema variabilità dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica. Le elaborazioni e considerazioni svolte in seguito hanno condotto all'assunzione dei valori relativi ai tre pluviografi operanti nel bacino come base per il modello adottato nel "Piano Lambro". Si tratta delle stazioni di:

- Asso (quota 427,00 m s.m.);
- Costa Masnaga (quota 318,00 m s.m.);
- Carate Brianza (quota 255,00 m s.m.).

Per ciascuna stazione pluviometrica si sono verificate le cosiddette curve di possibilità pluviometrica relative a diversi tempi di ritorno: 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 200 anni, riportate nei documenti del "Piano Lambro". Poiché dal 1986 ad oggi non risultano pubblicati nuovi dati in merito alle tre stazioni i valori calcolati dagli scriventi risultano coincidenti con i valori assunti nel "Piano Lambro" del 1986.

Le tabelle 1÷3 in allegato A forniscono, per ciascun anno di osservazione, le altezze di pioggia h (in mm), in funzione della durata t variabile da 1 a 24 ore.

- bacino basso Lambro sublacuale: stazione di Carate Brianza.

Bacino Prelacuale:

- $T = 2$ anni $h = 34,6 t^{0,357}$
- $T = 5$ anni $h = 43,9 t^{0,351}$
- $T = 10$ anni $h = 50,1 t^{0,348}$
- $T = 20$ anni $h = 56,0 t^{0,346}$
- $T = 50$ anni $h = 63,7 t^{0,344}$
- $T = 100$ anni $h = 69,4 t^{0,343}$
- $T = 200$ anni $h = 75,1 t^{0,342}$

Bacino alto Lambro sublacuale:

- $T = 2$ anni $h = 28,17 t^{0,324}$
- $T = 5$ anni $h = 48,3 t^{0,317}$
- $T = 10$ anni $h = 54,2 t^{0,315}$
- $T = 20$ anni $h = 64,2 t^{0,313}$
- $T = 50$ anni $h = 77,0 t^{0,312}$
- $T = 100$ anni $h = 86,7 t^{0,311}$
- $T = 200$ anni $h = 96,3 t^{0,310}$

Bacino basso Lambro sublacuale:

- $T = 2$ anni $h = 27,7 t^{0,330}$
- $T = 5$ anni $h = 40,6 t^{0,303}$
- $T = 10$ anni $h = 49,1 t^{0,292}$
- $T = 20$ anni $h = 57,3 t^{0,285}$
- $T = 50$ anni $h = 67,9 t^{0,277}$
- $T = 100$ anni $h = 75,9 t^{0,273}$
- $T = 200$ anni $h = 83,8 t^{0,269}$

3.4 IL MODELLO "PIANO LAMBRO" DEL 1986

Per quanto concerne i deflussi nel bacino del fiume Lambro lo studio che fornisce ad oggi il riferimento più valido risulta il "Piano Lambro" redatto a cura della Provincia di Milano nel 1986. Nell'ambito del "Piano Lambro", che abbracciava sia la problematica idraulica sia problematiche di carattere più generale di pianificazione del territorio del bacino, parte rilevante è stata data alla costruzione di un modello matematico di simulazione del fenomeno di formazione delle piene che si manifestano nel bacino. Il modello, è stato articolato in modo da definire le portate ed i volumi in un determinato numero di sezioni (nel caso specifico undici) di chiusura a cui afferiscono i bacini posti a monte. Nei tratti compresi tra due sezioni successive il modello prevede una schematizzazione con portata pressochè costante. Delle undici sezioni di chiusura considerate, quelle interessanti l'ambito del presente Progetto Preliminare risultano le seguenti:

- S1a: ingresso laghi Pusiano ed Alserio;
- S1b: Bevera alla confluenza col Lambro;
- S1 : Lambro a Lambrugo;
- S2 : Lambro a Peregallo in Comune di Biassono;
- S3 : Lambro a Monza a monte del Lambretto.

Ulteriori sezioni, a valle della zona di interesse, sono state poste a: Sesto S. Giovanni a monte dell'autostrada, Sesto S. Giovanni, Parco Lambro – Milano, via Bonfadini – Milano, S. Donato Milanese, Melegnano, S. Angelo Lodigiano, Mostiola.

Sulla base della suddivisione in sottobacini soprariportata gli estensori del "Piano Lambro" traevano alcune preliminari considerazioni:

- il sottobacino S1a (misurato in 144,6 km² su base 1:50.000) è regolato dai laghi di Pusiano ed Alserio che per la loro superficie non trascurabile rispetto a quella del bacino sotteso, esercitano una rilevante azione di laminazione delle piene;
- alla sezione S1 (Lambrugo) le piene sono dovute quasi esclusivamente al contributo del bacino della Bevera di Molteno;
- nel tronco S1-S2 l'onda di piena risente di due fenomeni: l'incremento dell'onda di piena per i contributi affluenti e l'attenuazione per il fenomeno di propagazione lungo i circa 20 km;
- ai fini di sicurezza nella costruzione del modello si è ipotizzato che l'onda generata dall'afflusso nel bacino S2 sia concentrato nel nodo S2 trascurando l'attenuazione per il fenomeno di propagazione.

Poste le premesse gli estensori si sono volti alla ricerca del miglior modello disponibile che consentisse di introdurre precipitazioni variabili per i vari sottobacini a secondo del regime di piogge rilevato, di tener conto del diverso comportamento dei deflussi urbani e naturali, dei tempi caratteristici di formazione delle piene. Il modello prescelto è stato il canadese OTTHYMO (Ottawa Hydrologic Model) elaborato dall'Università di Ottawa. Il modello risulta costituito da routines che consentono di determinare:

- la formazione delle onde di piena in bacini extraurbani o urbani;
- la propagazione dell'onda di piena in tronchi fluviali o in condotti chiusi;
- la laminazione dell'onda di piena in serbatoi.

In figura 1 è riportata la schematizzazione del fiume Lambro introdotta nel modello. Di seguito vengono descritte a grandi linee le impostazioni ed i parametri allora utilizzati.

La determinazione dell'onda di piena ritenuta critica venne condotta impiegando routine che implementano le metodologie classiche per la trasformazione afflussi-deflussi partendo da piogge sintetiche critiche dedotte dalle curve di possibilità pluviometrica di cui al paragrafo precedente e assumendo che la piena così ottenuta abbia lo stesso tempo di ritorno della pioggia che l'ha prodotta.

Tra i diversi tipi di piogge sintetiche più o meno utilizzate nella progettazione di opere idrauliche, venne deciso di adoperare uno ietogramma costante di durata variabile per le diverse sezioni di calcolo (15 ore per i bacini S1a ed S1b; 5 ore per il bacino S2 e successivi non compresi nel presente studio). Vennero indagate per ogni bacino tre durate (5, 10 e 15 ore) entro le quali si individuò la durata critica che, per lo ietogramma adottato, a differenza dello ietogramma Chicago, non risulta a priori inclusa nell'evento sintetico considerato.

Nel modello non venne eseguito il ragguaglio all'area degli ietogrammi così determinati, utilizzando pertanto direttamente le precipitazioni dedotte dalle curve di possibilità pluviometrica.

A partire da queste piogge sintetiche si procedette alla determinazione delle onde di piena prodotte in ogni sottobacino scolante attraverso la trasformazione afflussi-deflussi eseguita mediante l'adozione di un modello idrologico non lineare di tipo globale in grado di fornire la risposta del sottobacino alle sollecitazioni meteoriche.

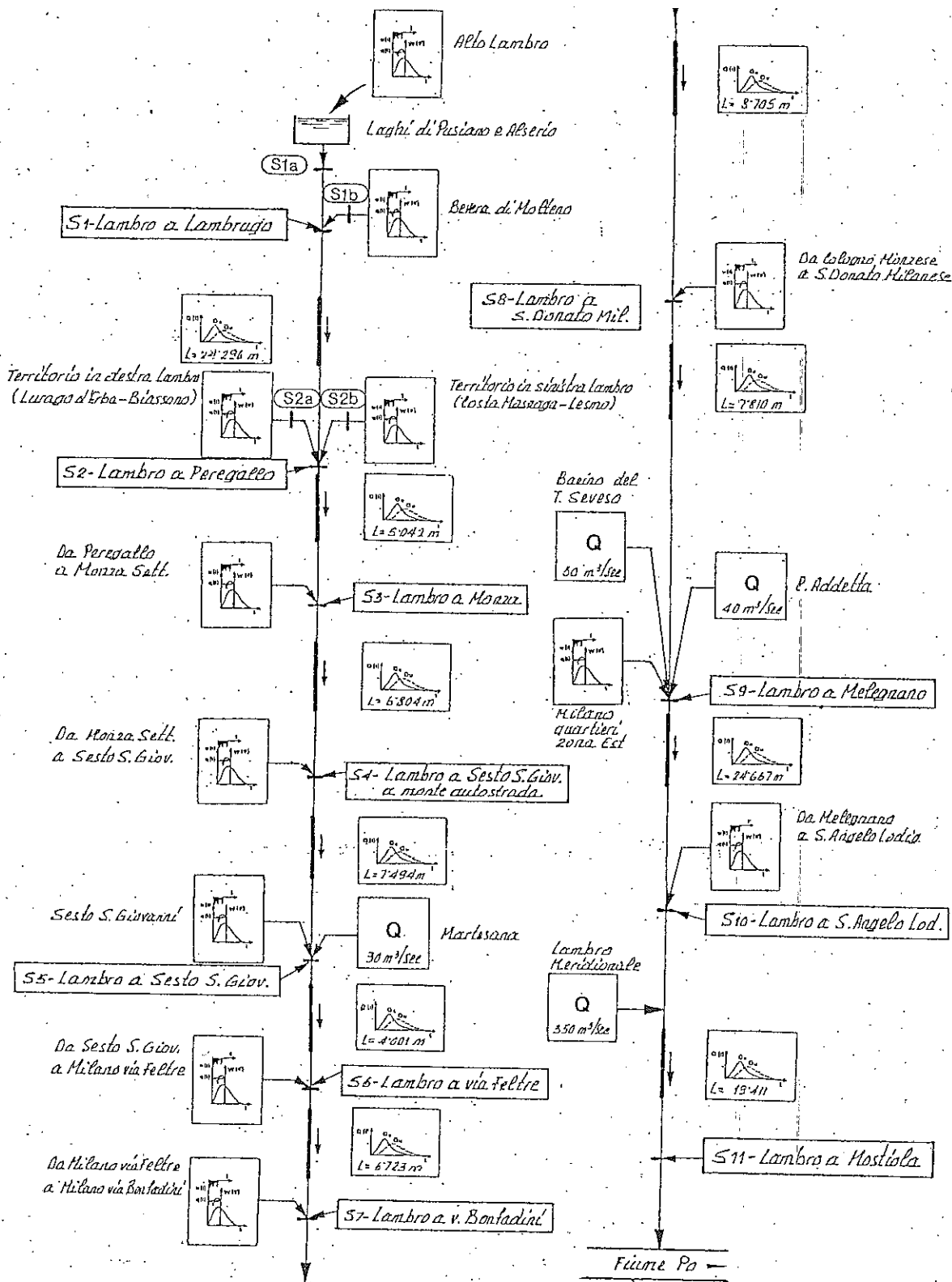


FIGURA 1

Per la valutazione delle perdite idrologiche (infiltrazione sotterranea, evapotraspirazione, ecc.) si adottò il metodo non lineare SCS-CN che calcola un andamento delle portate di perdita caratterizzato da valori massimi all'inizio dell'evento e poi progressivamente decrescenti, avendo assunto un valore variabile da 50 a 65 per il parametro CN e 2 mm per IA.

Il modello adottato per la trasformazione afflussi netti-deflussi si basa sulla teoria lineare dell'idrogramma unitario istantaneo, in cui la trasformazione degli afflussi meteorici netti in deflussi viene eseguita numericamente attraverso la convoluzione di un idrogramma unitario istantaneo (IUH) scelto opportunamente tra i diversi tipi esistenti. L'IUH racchiude in sé le caratteristiche fisiche del bacino che interessano la formazione delle piene, come per esempio la capacità di invaso ed il tempo di risposta del bacino. Per i bacini naturali si utilizzò il seguente modello di Nash che schematizza il bacino come una cascata di serbatoi lineari secondo l'espressione:

$$h(t) = \frac{1}{K(n-1)!} \cdot (t/K)^{n-1} \cdot e^{-t/K} \quad (5)$$

dove K è la costante caratteristica dei serbatoi ed n il numero degli stessi.

Si assunse $n = 3$ e K correlato al tempo di corrivazione del bacino T_c e al numero n secondo l'espressione:

$$K = 0,5 T_c / (n-1) \quad (6)$$

Per quanto concerne viceversa i bacini urbani venne adottato un modello che considerava due serbatoi lineari in parallelo ciascuno dei quali simulava la formazione delle piene nei due differenti tipi di area (permeabili ed impermeabili). Per le aree impermeabili il modello ha considerato una sottrazione iniziale imputabile unicamente a detenzione superficiale.

Ottenute le onde di piena in ingresso nelle sezioni di interesse il modello predisposto prevedeva il calcolo della propagazione lungo i singoli tronchi con il metodo Muskingum secondo la procedura suggerita da Kunge che rappresenta un'approssimazione di tipo parabolico delle equazioni complete di De Saint Venant.

Per quanto concerne l'effetto dei serbatoi viceversa l'onda uscente dagli stessi venne calcolata mediante l'applicazione dell'equazione di continuità. Data la vicinanza dei due laghi di Pusiano ed Alserio la laminazione dell'onda proveniente dal bacino S1a venne considerata globalmente adottando un'unica curva comune ai due invasi, trascurando il fatto che la maggior parte del bacino afferisce unicamente al lago di Pusiano che risulta a quota inferiore rispetto al livello medio del lago di Alserio.

Per quanto concerne la taratura del modello, dopo attenta disamina delle registrazioni disponibili, gli estensori giunsero alle seguenti conclusioni:

- i fenomeni osservati all'idrometro di Lambrugo presentano un'onda di piena spesso sfasata in anticipo rispetto alle piogge registrate dai pluviografi di Asso, Magreglio ed Olginate. Le registrazioni inoltre risultano in contrasto con le analoghe alla sezione della Bevera a Colombaio;
- i fenomeni registrati in via Feltre a Milano risultano irregolari e di dubbia affidabilità in quanto presentano colmi non congruenti con le registrazioni di monte e con le precipitazioni osservate.

Sulla base di quanto riportato, tenuto pertanto conto della poca significatività delle registrazioni alle stazioni di Lambrugo e di via Feltre e dell'effetto di laminazione dei laghi di Pusiano ed Alserio la taratura del modello venne

eseguita sulla base delle registrazioni all'idrometro della Bevera a Colombaio per gli eventi del settembre-ottobre 1976 (cfr. allegato B).

Come già detto il comportamento idraulico dei laghi di Pusiano ed Alserio venne simulato nel modello come un unico invaso adottando la curva volumi/portata uscente sulla base dei dati idraulici desunti dalla pubblicazione "Le piene dei corsi d'acqua del milanese". I dati fondamentali che vennero assunti risultano i seguenti:

- come livello zero il livello di massimo svasso conosciuto (pari a $-1,00$ m sotto lo zero idrometrico di Bosisio posto a quota $259,40$ m s.m.); come livello di massimo invaso normale la quota $261,90$ m s.m. con volume di regolazione pari a $17,5$ milioni di m^3 ;
- al livello di massimo svasso e a quello eccezionale le superfici idriche dei due laghi insieme sono state assunte rispettivamente pari a $6,5$ ed $8,0$ km^2 .

Sulla base di questi dati vennero ammessi i legami altezza, volume, portata della seguente tabella 8.

Tabella 8

<i>Altezza M</i>	<i>Volume Millioni di m^3</i>	<i>Portata uscente m^3/s</i>
0,3	2,4	1,0
0,6	4,4	2,5
1,0	7,1	8,0
1,5	11,0	20,0
2,0	15,4	35,0
3,0	25,5	90,0

Il corso d'acqua fu schematizzato inserendo alcune delle sezioni rilevate trascurando, per quanto concerne la pendenza, l'inserimento delle traverse.

I risultati del modello così applicato sono sintetizzabili nelle seguenti considerazioni espresse dagli estensori del Piano (cfr. Relazione al “Piano Lambro” pagg. 137-139) e riassunte nella successiva tabella 9:

Tabella 9

<i>Denom. Bacino</i>	<i>Sup. Unitaria Km²</i>	<i>Superficie Progressiva Km²</i>	<i>Durata Pioggia Ore</i>	<i>Istante colmo ore</i>	<i>Portata al colmo T = 100 anni m³/s</i>
S1a a monte dei laghi	144,50	144,50	15	19	134,0
S1a a valle dei laghi				52	20,7
S1b Bevera a Colombaio	43,17		15	17	59,0
S1		187,75		18	60,8
S2a Dx Lambro	30,61		5	5	57,7
S2b Sx Lambro	86,52		5	5	132,0
S2		304,88		5	189,7
Contrib. S3	33,93		5	5	64,4
S3		338,81		5	242,4
Contrib. S4	121,30		5	5	260,2
S4		460,11		5	483,4

- la durata critica di precipitazione è risultata all'incirca 15 ore per i sottobacini a monte di Lambrugo e di 5 ore per gli altri;
- gli effetti derivanti dalla propagazione delle onde di piena nei tronchi fluviali sono notevoli sia nei riguardi del colmo sia soprattutto nei riguardi dello sfasamento delle singole onde componenti;
- la durata critica per le varie sezioni di interesse risulta fortemente influenzata dall'effetto provocato dalla propagazione dell'onda di piena al punto che, in ogni sezione caratterizzata dall'immissione dell'onda di piena formatasi nel sottobacino corrispondente, il colmo di piena dell'onda complessiva risulta avere un istante di colmo di piena

all'incirca uguale al tempo critico del sottobacino che ha contribuito per ultimo alla formazione della piena. Ciò dipende sia dagli elevati valori dei colmi dei singoli sottobacini sia dal prolungarsi del colmo dell'onda sull'asta del fiume;

- i laghi di Pusiano e Alserio consentono un abbattimento pressoché completo della rilevante portata di piena proveniente dal bacino di monte e pertanto rivestono, nell'ambito del bacino, un nodo idraulico di elevata importanza;
- i risultati del modello sono stati tutti raggiunti rialzando le sponde in modo da eliminare le esondazioni esistenti e contenere pertanto "artificialmente" le portate defluenti.

4. IL MODELLO ADOTTATO NEL PRESENTE STUDIO PER LA STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

4.1 INTRODUZIONE

Nel precedente capitolo sono stati sintetizzati i risultati a cui sono giunti gli studi e le progettazioni precedenti riguardanti l'asta del fiume Lambro. Dalla rapida sintesi proposta emerge una chiara lacuna di dati idrometrici di dettaglio su cui basare una analisi statistica che possa fornire indicazioni attendibili per tempi di ritorno prossimi a quelli di interesse (> 50 anni). Tale lacuna, più volte evidenziata negli studi consultati, ha indotto in passato all'implementazione di modelli afflussi-deflussi che partendo dal regime pluviometrico forniscono le portate defluenti nel fiume Lambro. Tra i vari modelli approntati quello di maggior peso risulta sicuramente il modello

OTTHYMO adottato nel 1986 per la stesura del "Piano Lambro", il quale pur racchiudendo in se elementi di avanguardia rispetto alla classica simulazione globale dei fenomeni di formazione delle piene nei bacini, presenta comunque alcune approssimazioni che le conoscenze attuali consentono di eliminare.

In particolare nei riguardi della modellazione esaminata si può rilevare quanto segue:

- la schematizzazione del bacino in pochi macro-sottobacini con concentrazione degli afflussi nelle sezioni terminali degli stessi induce difformità rispetto alla reale dinamica di bacino che risulta si caratterizzata da immissioni concentrate in corrispondenza degli affluenti ma anche afflussi distribuiti. Nel modello "Piano Lambro", come pratica usuale, i sottobacini risultano dell'ordine minimo di 40-100 km². Tale schematizzazione risulta notevolmente soggetta al valore dei parametri che descrivono i sottobacini e alle ipotesi formulate. In particolare grande differenza emerge se l'onda relativa ad un sottobacino viene immessa concentrata oppure distribuendola nel tratto. La differenza risulta sensibile nei tratti intermedi se la necessità, come nel caso attuale, è quella di ricostruire un profilo di moto permanente lungo tutta l'asta al fine di verificare ogni singolo manufatto;
- l'innalzamento delle sponde al fine di contenere tutte le portate defluenti se da un lato risponde a criteri di sicurezza dall'altro, in un caso quale quello del Lambro dove una serie di ponti e singolarità possono risultare interessate dalle piene o meno variando la portata anche di pochi m³/s, può essere una cautela che diluisce eccessivamente e generalizza il grado di rischio nascondendo i veri nodi idraulici e le priorità d'intervento;

- la schematizzazione dei laghi di Pusiano ed Alserio come un unico invaso se da un lato risponde a vecchie proposte progettuali alla luce delle attuali conoscenze, delle esigenze idrauliche e dei vincoli presenti sul territorio, pare non rispondente alla reale dinamica fluviale.

Alle considerazioni generali soprariportate si aggiungono aspetti di dettaglio che suggeriscono, pur partendo dalle medesime ipotesi e dai medesimi dati del “Piano Lambro” una generale revisione del modello adottato. In particolare si nota quanto segue:

- tutto il bacino di monte è stato schematizzato nel “Piano Lambro” come bacino unico, senza entrare nel merito specifico in quanto non influente sulle piene della zona milanese verso cui il “Piano Lambro” era maggiormente rivolto. Il presente incarico viceversa comprende anche l’analisi delle problematiche di monte e pertanto tale porzione di bacino necessita di maggior dettaglio;
- la delimitazione del bacino del fiume Lambro, eseguita nel 1986 su base al 50.000, non corrisponde in alcuni casi all’effettiva geografia dello stesso. In particolare si riscontrano differenze sia nella perimetrazione dei singoli macro-sottobacini sia nell’effettivo contributo di particolari aree in determinate sezioni;
- i contributi provenienti dalla zona in destra Lambro tra i Comuni di Arosio e Villasanta paiono, nel “Piano Lambro”, sovrastimati rispetto alle reali potenzialità di afflusso. Infatti tale porzione del bacino, che naturalmente non presenta un recapito superficiale ma una generalizzata debole pendenza verso sud-ovest, risulta servita dal reticolo artificiale costituito dai collettori del Consorzio di Bonifica dell’Alto Lambro che tramite i suoi

scaricatori di piena può addurre al Lambro la portata massima di circa 70 m³/s a fronte dei 260 m³/s riportati nel "Piano Lambro". Pur non interessando direttamente la zona oggetto di studio tale ridimensionamento appare di fondamentale importanza al fine di dimensionare correttamente gli interventi in progetto. Diversa rilevanza infatti assumono le laminazioni naturali ed in progetto se vengono confrontate con un'immissione, immediatamente a valle, di 70 (riducibile a circa 30÷40 con gli interventi di P.R.R.A) o 260 m³/s.

Traendo spunto da quanto soprariportato, dalla conformazione del bacino del fiume Lambro e dalla ricchezza di informazione topografica disponibile si è deciso di approntare un modello sostanzialmente differente da quello adottato nel "Piano Lambro". Il modello, descritto in dettaglio nei successivi paragrafi, si qualifica in special modo nei seguenti punti:

- il bacino viene schematizzato in sottobacini, sia rispondenti ad affluenti sia non rispondenti a bacini specifici, di ampiezza massima 10 km²; la riduzione dell'ampiezza dei sottobacini consente di infittire l'informazione e ridurre gli inconvenienti derivanti dal concentrare afflussi rilevanti in poche sezioni;
- tutti gli invasi di significato presenti nel bacino (laghi di Segrino, Pusiano ed Alserio) vengono schematizzati indipendentemente con il proprio bacino afferente e la propria capacità di laminazione. Per quanto concerne in particolare il lago di Pusiano, grazie al rilievo delle sezioni eseguito nell'inverno 1997÷1998, è stato possibile ricostruire una curva livelli – portate in uscita (figura 2) che si presenta notevolmente ridotta rispetto a

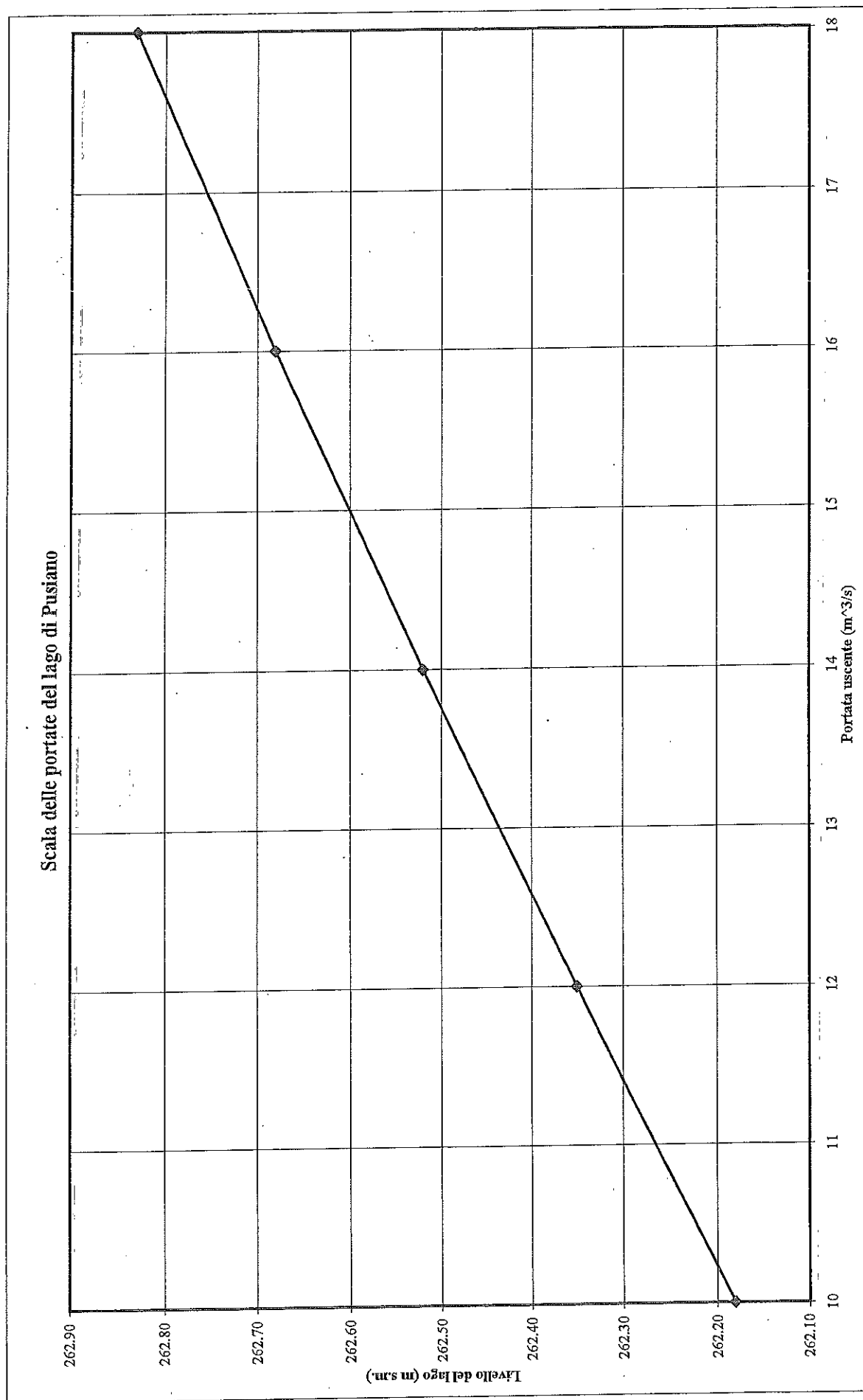


FIGURA 2

quella presentata nel "Piano Lambro" e relativa ai due laghi di Pusiano ed Alserio insieme;

- l'asta fluviale viene schematizzata con le pendenze, le larghezze e le altezze di sponda medie derivanti dal rilievo eseguito. Il calcolo delle portate è stato ripetuto nel caso di sponde innalzate per verificare l'influenza dell'ipotesi di contenimento delle portate in alveo rispetto alla reale situazione di esondazioni sparse con effetto di laminazione;
- la propagazione delle onde derivanti dai numerosi sottobacini è eseguita mediante la risoluzione delle equazioni complete di De Saint Venant e non con modelli semplificati (es. metodo Muskingum, cinematico, ecc.). Per un'asta della lunghezza del fiume Lambro tali semplificazioni possono avere notevole influenza in termini di approssimazione e quindi di composizione dei colmi di piena;
- le piogge adottate sono state distribuite secondo lo ietogramma tipo Chicago che risulta critico per ogni durata inferiore alla durata di pioggia. Tale scelta elimina di fatto l'inconveniente di dover ricercare, per approssimazione, la durata critica. La ricerca risultava viceversa inevitabile adottando un modello con pioggia costante.

4.2 LA STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

L'utilizzazione del modello come riportato in introduzione ha richiesto lo svolgimento di uno studio idrologico sul comportamento pluviometrico del territorio in modo da individuare un indice di precipitazione medio sul bacino durante il manifestarsi del fenomeno di piena che si intende simulare. A tal fine si sono verificate, come detto, le assunzioni ed i dati del "Piano Lambro"

dividendo il bacino in tre zone, ciascuna delle quali caratterizzata pluviometricamente da una delle stazioni S.I.I. attive: Asso, Costa Masnaga e Carate Brianza.

Lo studio dei fenomeni di piena consiste nella ricerca dei valori massimi di portata al colmo associati a prefissati tempi di ritorno, nonché alla simulazione dell'intera formazione delle onde di piena durante una data precipitazione, di progetto o reale.

Il calcolo delle sole portate al colmo ha interesse per i problemi di dimensionamento e verifica degli alvei, mentre la simulazione dell'intera onda di piena è necessaria alla progettazione ed alla verifica di funzionamento di sistemi più complessi come, ad esempio, le vasche di laminazione o le esondazioni e laminazioni naturali.

Per la valutazione di tali grandezze la prassi progettuale prende a riferimento solitamente i modelli idrologici di tipo "*globale*". Nei modelli idrologici di tipo "*globale*" il bacino, pur essendo in esso presenti diverse caratteristiche topografiche, idrauliche, pedologiche, ecc., viene simulato globalmente da un unico parametro rappresentativo del suo comportamento medio, calcolando l'onda di piena $q(t)$ nella sezione di chiusura in funzione di una precipitazione $p(t)$ la cui variabilità spaziale viene completamente ignorata.

L'applicazione dei *modelli globali* è, come noto, la seguente: procedendo lungo l'asta fluviale da monte a valle, per ogni sezione d'interesse si considera sempre in blocco l'intero bacino ad essa afferente, tenendo conto globalmente delle sue caratteristiche medie, che ovviamente variano procedendo verso valle, e considerando sempre una precipitazione $p(t)$ uniformemente distribuita nello spazio.

Un modello è invece di tipo “*distribuito*” quando tiene conto delle variabilità spaziali e temporali del bacino, considerando tutte le grandezze descriventi le entrate, le uscite e le caratteristiche del bacino stesso funzioni dello spazio e del tempo, cioè del tipo $f(x, y, t)$. Su questi modelli, di evidente complessità di concezione e taratura, stanno lavorando alcuni centri di ricerca internazionali.

Se la descrizione delle grandezze idrologiche non è continua nello spazio, ma è invece effettuata tramite funzioni del solo tempo definite differentemente nelle varie parti del bacino, zona per zona, si entra allora in una categoria di modelli, anch’essi detti distribuiti, che risultano però di uso più accessibile, essendo notevolmente più semplici.

I modelli distribuiti di questo tipo sono quindi composti da diverse categorie di routines di calcolo relative alla:

- formazione delle singole onde di piena nei diversi sottobacini;
- propagazione delle singole onde di piena lungo le diverse aste;
- confluenze.

Effettuata pertanto la schematizzazione del bacino nei sottobacini e nei tronchi di trasporto con il grado di dettaglio scelto dall’utente, definiti i vari manufatti di controllo delle onde di piena (se esistenti) ed introdotti gli ietogrammi, anche differenti per i vari sottobacini, il modello può così calcolare le portate $q_i(t)$ nelle i -esime sezioni d’interesse, tenendo conto delle possibili diverse situazioni idrauliche esistenti nel suo interno (laminazioni, by-pass, diversioni, esondazioni naturali ecc.). Ciò, inoltre, consente all’utente, in fase progettuale, di provare in modo abbastanza agevole differenti soluzioni realizzative.

Una ulteriore distinzione riguarda i modelli “*concettuali*” e quelli “*fisicamente basati*”.

Per *modello concettuale* si intende un modello che considera la trasformazione da simulare analoga ad una qualche altra, anche completamente differente, ma adeguata a fornire una risposta soddisfacente.

Tipici modelli concettuali sono quelli ipotizzanti un funzionamento del bacino simile a quello che ha luogo in serbatoi singoli (*metodo dell'invaso*) o multipli in serie (*modello di Nash*) od in parallelo, in canali (*metodo di corrivazione*), o nella successione di serbatoi e canali (come ad esempio nel *modello di Clark*), ecc.

Con *modello fisicamente basato* si intendono le simulazioni matematiche che tendono a seguire strettamente i fenomeni fisici nella loro dinamica spazio-temporale, la quale è conosciuta mediante sperimentazioni. Le classiche equazioni di De Saint Venant del moto vario monodimensionale di correnti a superficie libera sono, almeno nell'ambito fluviale con alvei sufficientemente regolari, un buon esempio di modello fisicamente basato se esse vengano utilizzate in forma completa.

Pur senza entrare nel merito degli operatori e delle procedure numeriche adottate, si può dire che, in generale, i modelli fisicamente basati del deflusso fluviale si appoggiano nel seguente schema logico:

- il bacino viene suddiviso in sottobacini;
- ogni sottobacino viene schematizzato in modo concettuale o con una catena di serbatoi o canali equivalenti o con una falda piana rettangolare scolante in un canale che ne percorre un lato (fosso o reticolo di riferimento), il quale a sua volta termina in corrispondenza di un punto di ingresso nel reticolo naturale o artificiale vero e proprio;

- per ogni falda si considera una precipitazione uniforme nello spazio e si applicano le procedure di calcolo sia delle perdite per detenzione superficiale ed infiltrazione, sia dello scorrimento superficiale sulla falda e dello scorrimento lungo il reticolo, fino alla determinazione dell'idrogramma $q(t)$ che perviene al reticolo di riferimento;
- si calcola il moto vario nella rete fluviale originato da tutte le immissioni $q(t)$ di tutti i punti di immissione considerati.

Generalmente il calcolo delle perdite dovute ai fenomeni di ritenzione superficiale e di infiltrazione, la cui valutazione è di fondamentale importanza per una buona simulazione, si appoggia su modelli empirici non lineari (Horton, Holtan, CN - Soil Conservation Service, metodo CN* - Wisner), pur con tarature inevitabilmente grossolane, essendo difficilmente conoscibili le caratteristiche del bacino nelle varie zone.

Per il moto vario in alveo si fa uso in alcuni modelli di schemi dinamici completi, talvolta anche con algoritmi di calcolo atti a descrivere il moto in pressione nel caso siano presenti estesi tratti coperti o canalizzati. Alcuni modelli utilizzano a questo scopo lo schema dello "slot di Preissman" onde consentire di simulare i transitori in pressione con le stesse equazioni valide per il moto a superficie libera.

Grande importanza riveste poi la decisione circa il grado di suddivisione dei sottobacini, soprattutto in funzione dello scopo che ci si prefigge: con una elevata discretizzazione si può cioè cercare di seguire molto da vicino la topografia del bacino e del reticolo considerando piccoli sottobacini e per ciascuno di questi le sue proprie caratteristiche; oppure il modello può anche essere utilizzato con una grossolana suddivisione in sottobacini e quindi

avvicinandosi ad un approccio di tipo concettuale. Se poi, al limite, il bacino non viene affatto suddiviso in sottobacini, il modello è quindi addirittura usato in modo globale; in tale ultimo caso, però, l'uso di un modello di questo tipo appare poco significativo del fenomeno reale, in quanto presuppone che le acque di tutto il bacino afferiscano alla sezione di chiusura soltanto attraverso scorrimenti superficiali.

Anche la definizione dei valori di molti dei parametri che caratterizzano questi modelli rappresenta un notevole problema, pur essendo attribuibile alla maggior parte di essi un significato prevalentemente fisico.

La letteratura è ricca di studi sulla sensibilità di questi modelli nei riguardi delle procedure numeriche e del grado di suddivisione del bacino, nonché delle modalità di definizione dei valori dei parametri.

Per quanto detto l'uso attento dei modelli fisicamente basati consente, rispetto ai metodi pratici, di ottimizzare dal punto di vista tecnico ed economico la progettazione o lo studio del sistema fiume: infatti tali modelli sono in grado di mostrare in modo accurato sia la localizzazione delle insufficienze che la loro entità. Conseguentemente, un ulteriore vantaggio che essi offrono è quello di rendere più oggettiva la definizione delle priorità di intervento, cioè dei lavori atti a risolvere le carenze più gravi, in relazione alla disponibilità nel tempo dei fondi necessari.

La conoscenza del territorio afferente il fiume Lambro, raggiunta tramite il rilievo topografico descritto in precedenza, ha consentito l'applicazione di un modello del tipo fisicamente basato, assai raffinato per la ricostruzione delle portate e delle onde di piena che si generano. Il pacchetto utilizzato è quello denominato *HydroWorks*TM, prodotto e commercializzato dalla inglese

Wallingford Software Ltd.; il programma si colloca senz'altro nel novero dei più avanzati strumenti informatici attualmente a disposizione nel settore dei sistemi di drenaggio. Pur essendo stato concepito per il drenaggio urbano, esso presenta ampi margini di elasticità in modo da poter essere utilizzato anche in reticoli idraulici artificiali o naturali di grande estensione e complessità.

Il programma compendia in sé le funzioni sia di creazione e gestione dell'archivio dei dati del bacino e del sistema di drenaggio in formato digitale, sia la fase di simulazione numerica secondo un modello di calcolo dinamico completo di tipo distribuito e fisicamente basato, sia, infine, il supporto per la presentazione e l'analisi, in forma tanto grafica che numerica, dei risultati delle simulazioni medesime.

La schematizzazione del sistema di drenaggio viene basata, nel programma, sulla definizione delle caratteristiche geometriche ed idrauliche dei nodi (sezioni rilevanti, vasche di laminazione, laghi, scolmatori, ecc.) e dei rami (tratti di alveo aperto, tratti di alveo coperto, ecc..) di maggiore interesse. L'accuratezza del rilievo e le conoscenze di base hanno consentito, tramite la taratura del modello eseguita sulla base delle registrazioni effettuate nella stazione S.I.I. della Bevera a Colombaio, il raggiungimento di una buona somiglianza tra il funzionamento reale e la simulazione.

Corrispondentemente a ciascun nodo prescelto si sono poi inseriti nel modello l'estensione del bacino e gli altri parametri descriventi il comportamento idrologico (perdite e scorrimento superficiale) dell'area ad esso afferente.

Altri tipi di manufatti o di particolarità presenti in alveo (vasche volano, scolmatori, laghi, immissioni concentrate di portata da altre parti del reticolo o da reti esterne, recapiti con livello piezometrico imposto da valle, sistemi di

controllo in tempo reale, by-pass, ecc..) sono state descritte nel modello ed efficacemente simulate dal programma in modo anche molto dettagliato.

Le principali caratteristiche del modello sono riassunte nella seguente tabella 10 ed in figura 3.

Tabella 10

<i>Bacino</i>	<i>Affluente</i>	<i>Area</i>	<i>Sup. urbana</i>	<i>Ietogramma</i>
La - 00000	-	0,25	0%	Asso
La - 01750	-	1,25	1%	Asso
La - 05000	-	8,00	3%	Asso
La - 07500	Valle Rezzago Lambretto	20,00	4%	Asso
La - 09000	Foce	9,00	4%	Asso
La - 11250	Ravella	12,00	6%	Asso
La - 13000	Bistanda	9,9	3%	Asso
La - 15000	Bova	9,9	55	Asso
La - 18500	-	3,1	64%	Asso
La + 00000	Segrino	27,0	10%	Asso
La + 01000	Alserio	17,85	8%	Asso
La + 03242	-	9,0	16%	Costa Masnaga
La + 03552	Bevera Molteno	40,0	10%	Costa Masnaga
La + 07848	Cavolto	9,9	18%	Costa Masnaga
La + 09363	-	9,9	18%	Costa Masnaga
La + 11949	Bevera Veduggio	15,65	13%	Costa Masnaga
La + 13880	Bevera Renate	23,1	19%	Costa Masnaga
La + 16409	-	3,0	28%	Carate Brianza
La + 19089	-	5,0	28%	Carate Brianza
La + 22982	Brovada	16,0	28%	Carate Brianza
La + 25480	Pegorino	19,0	17%	Carate Brianza
La + 28706	Scolmatore Molgorana	6,0	23%	Carate Brianza
La + 29251	-	0,4	23%	Carate Brianza

Nella costruzione del modello mediante *HydroWorks™* si sono distinti sostanzialmente due differenti tipi di nodi: i nodi interni ed i recapiti.

Per entrambi si è effettuata l'immissione dei seguenti dati:

- nome del nodo;
- coordinate nord ed est;
- quota del terreno.

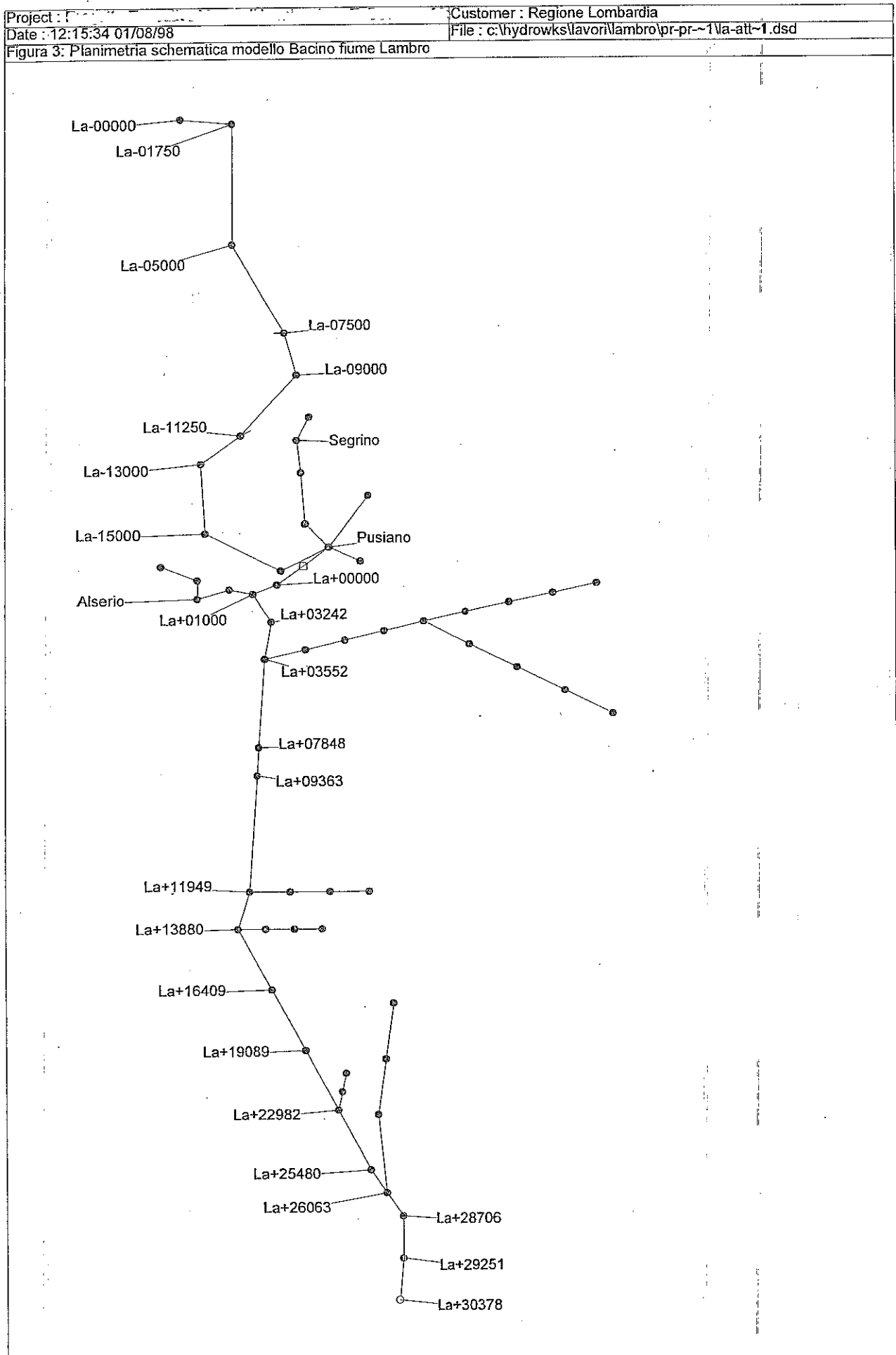


FIGURA 3

I nodi interni, in particolare, hanno richiesto anche l'immissione dei seguenti dati:

- area afferente;
- percentuale di area afferente di tipo urbana;
- percentuale di area afferente di tipo extra-urbana.

Le dimensioni geometriche dei volumi esondabili corrispondenti ai nodi inseriti sono stati stimati nel programma in base alle dimensioni e quote di fondo alveo dei rami collegati e alle quote del piano campagna.

Per quanto concerne i tratti d'alveo si sono immessi i seguenti dati:

- nome del tratto;
- lunghezza;
- quote di fondo;
- scabrezza.

Ancora relativamente ai singoli tratti, altri dati opzionali possono essere introdotti, fra cui:

- coefficienti moltiplicativi dell'altezza cinetica per il calcolo delle perdite di carico concentrate rispettivamente a monte ed a valle del tratto.

Terminata la fase di inserimento dati il programma fornisce automaticamente per tutti i tratti il calcolo della pendenza e della capacità di convogliamento della portata a pieno riempimento.

Le piogge vengono immesse nel modello sotto forma di ietogrammi espressi da valori di intensità [mm/ora].

Possono venire immesse indifferentemente:

- piogge reali (per la riproduzione di eventi reali ai fini della calibrazione del modello);

- piogge sintetiche (da assumersi come eventi di progetto);
- serie temporali continue, sia reali che sintetiche, comprendenti periodi sia di pioggia che di tempo secco (per studiare l'andamento dei deflussi nel lungo periodo).

Per il modello del fiume Lambro si è fatto uso di piogge registrate in fase di taratura (evento dell'ottobre 1976) e di piogge sintetiche (eventi di progetto) in fase di studio.

In particolare, quali eventi di progetto per la verifica ed il dimensionamento, sono stati utilizzati, come detto, ietogrammi di tipo Chicago, generati a partire dalle curve di possibilità pluviometrica, ed aventi tempi di ritorno da 10 a 200 anni. Per tali ietogrammi si è assunta una durata di pioggia di 24 ore, con il picco alla 12^a ora e passo temporale di 15 minuti.

Tale tipo di ietogramma è riconosciuto come quello meglio rappresentativo degli eventi estremi, prevalentemente di natura temporalesca, che si possono verificare su un bacino; esso, inoltre, presenta il noto vantaggio di essere critico per tutte le sezioni aventi tempo di corrivazione uguale od inferiore alla sua durata.

In particolare, la restituzione cartografica del rilievo planoaltimetrico dettagliato eseguito sul bacino, oltre alle informazioni di carattere specifico e generale fornite dai tecnici dei Comuni e degli Enti competenti durante tutte le fasi del presente Progetto, hanno permesso di individuare i diversi bacini scolanti sottesi dai nodi di calcolo inseriti nel modello per la verifica dei tratti e di valutare le principali caratteristiche fisiche dei bacini stessi.

Il territorio, come riportato nella precedente tabella 10, è stato suddiviso in 23 bacini scolanti principali (rispetto ai 5 bacini del "Piano Lambro") ed in

ulteriori 43 bacini scolanti secondari, oltre che in tre bacini relativi ai laghi di Segrino, Alserio e Pusiano.

In figura 3 sono stati riportati i diversi bacini principali con i relativi codici di identificazione.

Per i processi di perdita idrologica (infiltrazione, detenzione superficiale, ecc.); le esperienze hanno mostrato la possibilità di adottare, con buoni risultati, la procedura di calcolo SCS-CN, che consiste nell'assumere un coefficiente per il parametro CN ed un coefficiente per il parametro Ia.

Il valore di tale coefficiente dipende dalle caratteristiche del bacino, tenuto in debito conto i risultati dell'analisi geologica e la struttura del reticolo drenante.

Il valore di CN assunto per i singoli sottobacini varia da un minimo di 25 ad un massimo di 90.

Altra caratteristica d'interesse riguarda il reticolo artificiale per la quantificazione delle acque recapitate direttamente in alveo tramite gli scaricatori di piena da aree esterne al bacino diretto di competenza. La più rilevante di tali situazioni è lo scolmatore della roggia Molgorana che recapita alla sezione La + 29251 con portata massima di dimensionamento di $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Gli algoritmi di calcolo dello scorrimento superficiale hanno il compito di simulare il moto del deflusso netto, cioè già "depurato" delle perdite idrologiche come descritto in precedenza, sulle superfici del suolo prima della immissione nei nodi della rete di drenaggio vera e propria.

In luogo dello schema delle falde piane rettangolari proposto da Henderson e Wooding e di cui si è accennato, il programma HydroWorks™ ne utilizza uno concettualmente differente. In base a tale schema lo scorrimento superficiale viene simulato, per l'area afferente a ciascun nodo, mediante due coppie di

serbatoi in serie: una prima coppia relativa allo scorrimento superficiale sulla frazione impermeabile dell'area, ed una seconda coppia, in parallelo rispetto alla prima, relativa invece alla frazione permeabile. Nell'ambito di tale schema ai serbatoi viene assegnato un funzionamento non di tipo "lineare" bensì "pseudolineare", in quanto i valori delle corrispondenti costanti d'invaso vengono fatti variare durante l'evento in funzione dell'intensità media di pioggia nei 10 minuti precedenti quello di calcolo, in modo da tenere conto del fatto che la velocità di scorrimento superficiale cresce con l'intensità della precipitazione medesima. L'elevato grado di dettaglio con cui è stato modellizzato il bacino del fiume Lambro e pertanto la limitata estensione delle aree afferenti ai singoli nodi rispetto all'estensione complessiva del bacino considerato, tende già di per sé a ridurre l'importanza della simulazione dello scorrimento superficiale rispetto a quella del moto vario negli alvei.

Il moto vario negli alvei viene riprodotto nel modello utilizzando le equazioni complete del moto monodimensionale a superficie libera, dette equazioni di De Saint Venant, che descrivono in modo completo il fenomeno. A causa della loro non linearità, il programma *HydroWorks*TM sviluppa i calcoli mediante tecniche alle differenze finite, secondo un formalismo matriciale.

Qualunque tipo di profilo della superficie libera può venire riprodotto da tali algoritmi in modo estremamente accurato, sia esso permanente o vario, accelerato o ritardato. Lo stesso dicasi per salti di fondo, immissioni concentrate, nodi a livello imposto e nodi esondati.

Laddove il moto diviene in pressione anziché a superficie libera (es. ponti, tratti coperti, luci a deflusso imposto, ecc.), viene adottato lo schema dello "slot di Preissman", già precedentemente citato, che consiste nell'ipotizzare il

tratto in pressione come sormontato da una sottile fessura longitudinale (lo "slot", appunto) che raggiunge una quota superiore a quella della piezometrica massima, così da ricondurre anche il moto in pressione ad un moto a superficie libera, computabile quindi con algoritmi omogenei a quelli del moto a superficie libera in senso stretto.

Sia i dati immessi in ingresso (rete di deflusso e piogge) che i risultati delle simulazioni, come già anticipato precedentemente, vengono presentati dal programma *HydroWorks*TM in forma sia di tabelle numeriche che di grafici come riportato nei successivi paragrafi.

Le tabelle dei risultati riportano per ogni nodo le seguenti grandezze:

- quota raggiunta dalla superficie libera;
- nodi eventualmente esondati;

e per ogni ramo le seguenti grandezze:

- quota raggiunta dalla superficie;
- altezza raggiunta dalla superficie;
- velocità media raggiunta dalla corrente;
- portata transitata a monte ed a valle.

Inoltre, per tutti i recapiti, *HydroWorks*TM fornisce l'andamento, ad ogni passo temporale, dell'altezza d'acqua, della velocità media e della portata; i medesimi andamenti, se richiesti prima della esecuzione della simulazione, possono venire forniti anche per qualunque tratto intermedio dell'asta.

*HydroWorks*TM consente inoltre di visualizzare sia la mappa che qualunque profilo longitudinale dell'asta, riportando sull'immagine, se richiesto, anche tutti quanti o solo una parte dei dati inerenti i nodi ed i rami che vi compaiono.

Anche le piogge o gli idrogrammi in ingresso possono essere visualizzati sotto forma di grafico.

Le stesse modalità di visualizzazione sono disponibili per i risultati delle simulazioni, con l'aggiunta di una finestra di comandi aggiuntivi, del tutto simile ad un videoregistratore TV, che consente all'utente di fruire di una visione dinamica dei risultati stessi, sia in pianta che con viste longitudinali.

Le possibilità sopra descritte in modo sommario hanno consentito nel caso del fiume Lambro di ottenere un'ottimizzazione nella ricerca delle soluzioni progettuali.

4.3 TARATURA DEL MODELLO

Come già detto per il "Piano Lambro" la taratura del modello è avvenuta in primo luogo sfruttando le registrazioni effettuate alla stazione della Bevera di Molteno a Colombaio in particolare durante l'anno 1976. In allegato B sono riportati le registrazioni che hanno caratterizzato l'evento in oggetto. Nelle figure 4 e 5 viceversa sono riportati gli idrogrammi reale e simulato con il modello adottato rispettivamente per l'evento del 2-4 ottobre e per l'evento del 30 ottobre.

Confrontando i valori pluviometrici registrati con le precipitazioni di pari durata desumibili dalla curva di possibilità pluviometrica di Costa Masnaga prima esposta si può notare che:

- per l'evento del 2-5 ottobre: l'intensità massima oraria (21,3 mm/ora) è risultata inferiore al valore associato a 2 anni di tempo di ritorno; per le durate superiori all'ora l'evento è associabile a 2÷5 anni di tempo di

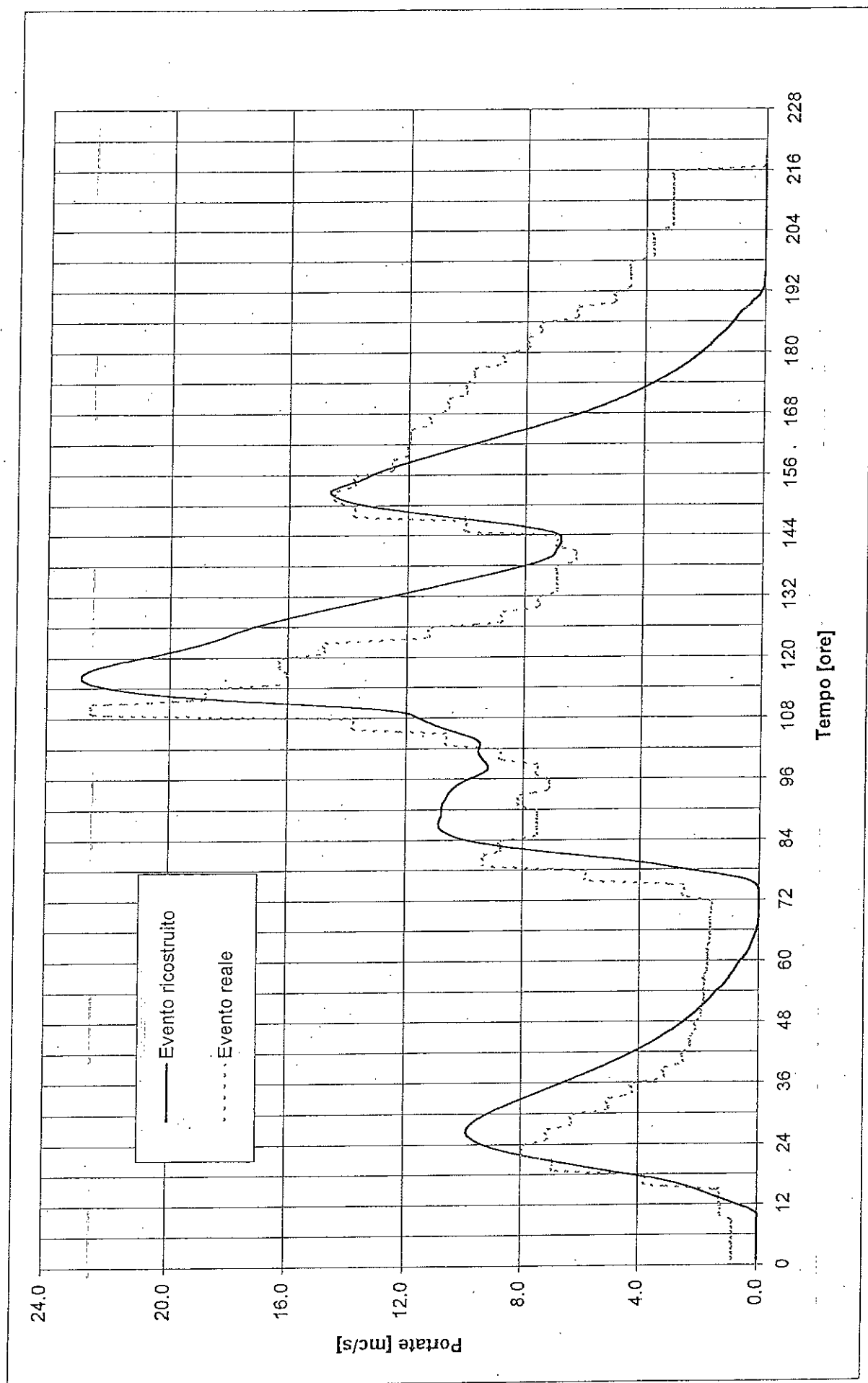


FIGURA 4

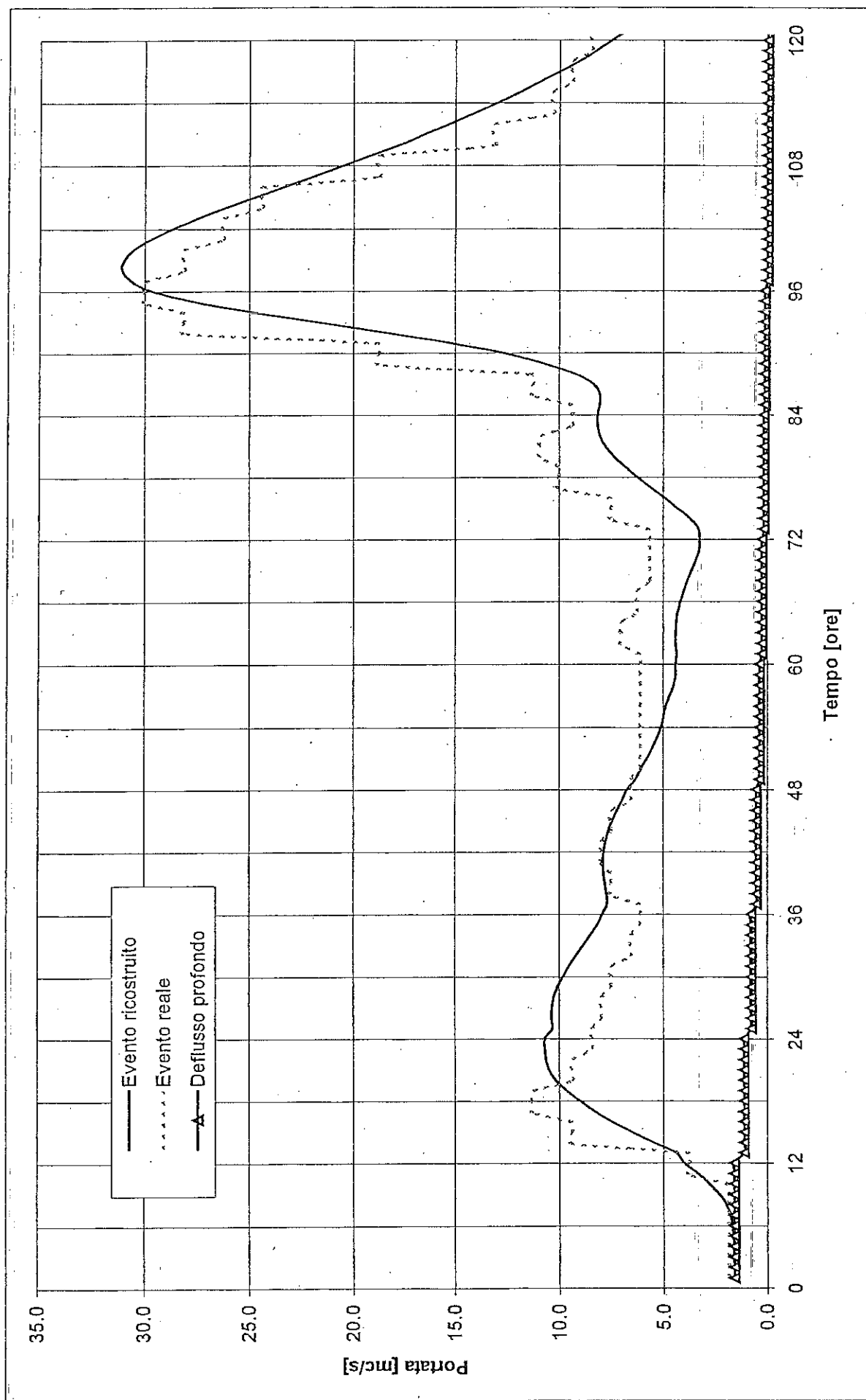


FIGURA 5

ritorno. Occorre rilevare tuttavia come l'evento principale sia stato preceduto da piogge per 3 – 4 giorni;

- per l'evento del 30 ottobre: l'intensità massima oraria (18,4 mm/ora) è inferiore al valore associato a 2 anni di tempo di ritorno; per le durate superiori all'ora (e circa pari al tempo di corrivazione del bacino, 8 ore) l'evento è associabile a 5÷10 anni di tempo di ritorno.

I risultati ottenuti dimostrano una buona coincidenza tra modello e registrazione sia in termini di portata al colmo, sia in termini di volumi di tempo di risposta del bacino.

Con tale prima fase di taratura si è essenzialmente ricercato "set" di parametri caratterizzanti gli operatori delle perdite idrologiche e dei tempi di risposta dei diversi sottobacini atti a riprodurre globalmente le due registrazioni disponibili a Colombaio.

Tuttavia, data la grande potenzialità del modello che consente di calcolare oltre alle portate anche gli andamenti temporali dei livelli idrici e delle esondazioni in ogni tratto dei corsi d'acqua e data anche l'ottima conoscenza della geometria dei corsi d'acqua, si è proceduto ad una seconda fase di taratura che è da considerare di ben maggiore affidabilità rispetto alla prima. In particolare si è operato con una procedura iterativa basata sull'uso in serie di due modelli: il sopra descritto modello *HydroWorksTM* e il modello idraulico di moto permanente *Tablas*, descritto nella relazione idraulica atto a simulare le correnti a pelo libero in alvei geometricamente irregolare quali quelli fluviali.

Lo schema a blocchi della procedura di taratura è riportato in figura 6.

In sostanza, iterando il processo tronco per tronco, si è giunti a calibrare i parametri caratteristici di ogni sottobacino, rurale o urbanizzato, in modo da

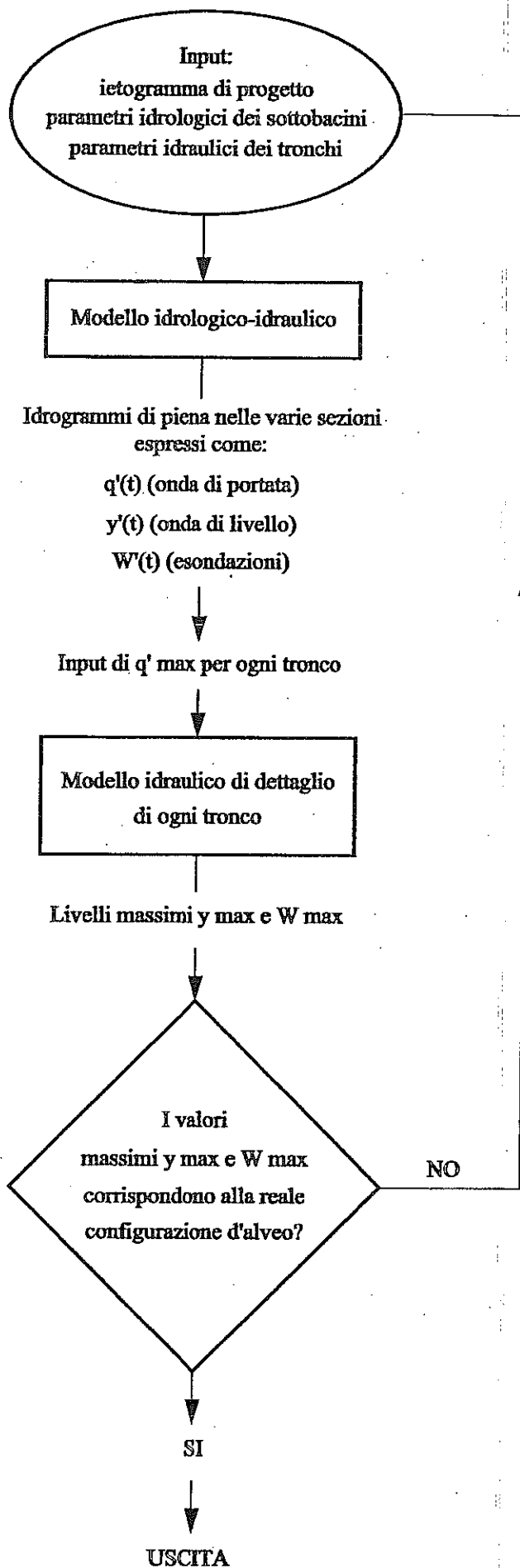


FIGURA 6

ottenere che in ogni tronco gli andamenti di portata $q(t)$, livello $y(t)$, volumi esondati $W(t)$ fossero tali da determinare condizioni idrodinamiche riproducenti fedelmente il comportamento di ogni tronco di transito o di ogni area di esondazione.

E' evidente che, una volta conseguita la taratura soddisfacente della situazione attuale, lo stesso procedimento è risultato particolarmente efficace per la simulazione degli interventi di progetto e specificatamente per lo studio degli effetti indotti verso valle dalle sistemazioni d'alveo o dalla soppressione o aggiunta di aree di esondazione.

4.4 RISULTATI E CONCLUSIONI

Il modello approntato ha consentito la simulazione del funzionamento del bacino del fiume Lambro nella sua interezza sia nell'ipotesi di completo contenimento in alveo delle portate defluenti, sia nell'ipotesi di esondazioni naturali sia infine nelle varie ipotesi progettuali.

Nel seguito vengono sinteticamente presentati i risultati relativi alle tre diverse situazioni analizzate:

- bacino attuale senza possibilità di esondazioni;
- bacino attuale con esondazioni;
- bacino con laminazioni in progetto.

In allegato C sono riportati i grafici relativi alle simulazioni eseguite.

Nelle tabelle 11 e 12 sono riportati (nelle sezioni progressive più significative) i valori di portata al colmo, per eventi associati a tempo di ritorno variabile da 10 a 200 anni, nell'ipotesi senza e con le esondazioni naturali.

SEZIONE MODELLO IDROLOGICO	Sez	Progr.	Portate Lambro				
			Q 10 (m ³ /s)	Q 20 (m ³ /s)	Q 50 (m ³ /s)	Q 100 (m ³ /s)	Q 200 (m ³ /s)
La-00000	x	-18500.00	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
La-01750	x	-16750.00	3.2	3.7	4.4	4.9	5.5
La-05000	x	-13500.00	16.5	19.2	22.7	25.5	28.2
La-07500	x	-11000.00	50.6	58.8	69.7	78.1	86.5
La-09000	x	-9500.00	65.4	76.1	90.2	101.0	111.9
La-11250	x	-7250.00	80.8	93.9	111.3	124.7	138.1
La-13000	x	-5500.00	92.9	107.2	127.0	142.2	157.5
La-15000	x	-3500.00	104.0	120.9	143.2	160.3	177.5
La-18500	x	0.00	107.8	125.4	148.7	166.5	184.4
La+00000	1	0.00	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
La+01000	13	1080.30	12.7	13.3	14.2	14.8	15.5
La+03242	39	3242.00	16.1	17.8	20.1	21.8	23.6
La+03552	40	3546.80	39.3	50.5	64.4	74.0	84
La+07848	70	7847.85	44.0	56.6	72.6	83.8	95.4
La+09363	80	9362.70	48.7	62.5	80.9	93.6	106.8
La+11949	95	11664.70	58.0	74.3	97.2	113.1	129.6
La+13880	106	13875.40	71.3	91.4	120.3	140.7	161.9
La+16409	126	16409.15	72.7	93.1	122.5	143.4	165.0
La+19089	144	19089.10	74.9	95.9	126.0	147.9	170.0
La+22982	172	22972.40	82.0	104.7	137.3	161.2	186.1
La+25480	195	25479.30	85.7	109.3	143.1	168.3	194.4
La+26063	201	26057.70	91.0	115.9	151.4	178.1	205.8
La+28706	220	28706.20	93.6	119.1	155.4	182.8	211.3
La+30378	235	30376.70	103.7	129.3	165.6	193.0	221.6

Tabella 11

SEZIONE MODELLO IDROLOGICO	Sez	Progr.	Portate Lambro				
			Q 10 (m ³ /s)	Q 20 (m ³ /s)	Q 50 (m ³ /s)	Q 100 (m ³ /s)	Q 200 (m ³ /s)
La-00000	x	-18500.00	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
La-01750	x	-16750.00	3.2	3.7	4.4	4.9	5.5
La-05000	x	-13500.00	16.5	19.2	22.7	25.5	28.2
La-07500	x	-11000.00	50.6	58.8	69.7	78.1	86.5
La-09000	x	-9500.00	65.4	76.1	90.2	101.0	111.9
La-11250	x	-7250.00	80.8	93.9	111.3	124.7	138.1
La-13000	x	-5500.00	92.9	107.2	127.0	142.2	157.5
La-15000	x	-3500.00	104.0	120.9	143.2	160.3	177.5
La-18500	x	0.00	107.8	125.4	148.7	166.5	184.4
La+00000	1	0.00	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
La+01000	13	1080.30	12.7	13.3	14.2	14.8	15.5
La+03242	39	3242.00	16.1	17.8	20.1	21.8	23.6
La+03552	40	3546.80	39.3	50.5	63.4	69.7	73.9
La+07848	70	7847.85	44.0	56.6	71.7	79.7	85.3
La+09363	80	9362.70	48.7	61.5	71.7	79.7	85.3
La+11949	95	11664.70	58.0	72.7	83.6	89.4	95.0
La+13880	106	13875.40	71.3	89.6	105.8	115.1	124.3
La+16409	126	16409.15	72.7	91.3	108.0	117.6	127.1
La+19089	144	19089.10	74.9	94.1	111.6	121.7	131.8
La+22982	172	22972.40	82.0	103.0	123.2	135.2	147.2
La+25480	195	25479.30	85.7	107.8	129.6	142.9	156.1
La+26063	201	26057.70	91.0	114.5	138.3	154.0	168.8
La+28706	220	28706.20	93.6	117.7	142.6	158.1	173.6
La+30378	235	30376.70	103.7	127.9	152.8	168.5	184.0

Tabella 12

Mentre per quanto concerne la zona di bacino prelacuale le due simulazioni presentano valori coincidenti in quanto le possibili esondazioni (es. nella piana tra Canzo e Caslino d'Erba) interessano aree ridotte rispetto ai volumi di piena e quindi ininfluenti rispetto alle laminazioni, per la zona sublacuale si evidenziano due zone (la prima posta a monte dell'abitato di Molteno, sull'omonima Bevera; la seconda nel tratto di fiume Lambro tra Merone e Briosco) che frequentemente subiscono esondazioni con volumi d'invaso significativi rispetto alle onde di piena che interessano gli alvei.

In particolare si nota come l'influenza delle due aree di espansione ed esondazione nei confronti della riduzione delle piene alla sezione terminale di Villasanta diviene sensibile per eventi con tempo di ritorno di 50 anni (riduzione pari all'8% con volumi esondati pari a circa 500.000 mc).

Per i tempi di ritorno superiori ($T = 100-200$ anni), base di riferimento per la delimitazione delle aree soggette a rischio idraulico e per il dimensionamento delle opere in progetto, l'effetto di laminazione naturale oggi esistente diviene di estrema importanza in quanto garantisce l'abbattimento del colmo di piena alla sezione di chiusura di Villasanta con riduzione pari al 13% ($T = 100$ anni) e al 17% circa ($T = 200$ anni). I valori di riduzione possono apparire poco significativi se rapportati ad altre situazioni fluviali dell'ambito lombardo. La situazione del fiume Lambro risulta tuttavia particolare ed anomala per i seguenti motivi:

- l'onda di piena che interessa l'asta del fiume Lambro sublacuale è caratterizzata naturalmente da un colmo piatto di durata complessiva superiore alle 10 ore. Tale caratteristica è legata sia all'effetto laminante dei laghi sull'onda derivante dal bacino di monte, sia alle caratteristiche del

bacino sublacuale che presenta risposte alquanto prolungate. In particolare, come evidenziato anche dalle osservazioni dell'idrometro-grafo di S. Giorgio (sezione di chiusura) e riportate dall'A.D.A.L., nel "Rapporto Goffredo Gori" - 1991, gli aumenti di portata sono alquanto repentini mentre l'esaurimento dell'onda può avere durate di 8÷10 giorni. In allegato C sono riportate le onde di piena calcolate col modello da cui emerge chiaramente la caratteristica indicata;

- a causa di tale forma caratteristica delle onde di piena gli interventi di riduzione del colmo di piena sull'asta principale comporterebbero la necessità di reperire volumi notevoli (alcuni milioni di m³) per ottenere benefici che in termini percentuali si attestino sui valori soprariportati (10÷20%). L'analisi della morfologia della valle del fiume Lambro sublacuale di fatto esclude la possibilità di reperire idonee aree da destinare a casse di laminazione. Infatti, se si eccettua il tratto a monte della confluenza della Bevera di Renate, la valle del Lambro è di dimensioni assai ridotte con centri abitati a ridosso dell'asta fluviale. Dall'analisi dell'onda centennale a Villasanta emerge come per ottenere una riduzione pari al 13% garantito dalle esondazioni naturali a monte di Briosco sarebbe necessaria una cassa di espansione di volume pari a circa 1.000.000 m³.

Per quanto sopra evidenziato risulta come l'eliminazione delle attuali naturali esondazioni del bacino sublacuale a monte di Briosco, laddove non creano pregiudizio per abitati o infrastrutture, porterebbe ad un incremento di portate al colmo che non risulterebbe compensabile con opere di laminazione in quanto le stesse assumerebbero volumi rilevanti ed andrebbero ad incidere sul tessuto urbano della bassa Brianza.

A fronte di quanto analizzato, e sulla base delle verifiche idrauliche descritte nell'apposita Relazione, è emersa la correttezza dell'ipotesi di porre come base per i calcoli idrologici il mantenimento e la regolazione delle due aree di Molteno e Merone ÷ Briosco soggette attualmente ad esondazione con positivi effetti di laminazione. Per la stima dei volumi naturalmente invasabili si è fatto riferimento alla cartografia 1:2.000 reperita nei Comuni interessati (Molteno, Merone, Lambrugo, Nibionno, Inverigo, Veduggio) ed al rilievo topografico. La simulazione del regime idraulico delle due tratte d'alveo (come descritto in Relazione Idraulica) ha condotto alla determinazione di tali invasi naturali: volume di 300.000 m³ per l'area sul torrente Bevera di Molteno a monte di quest'ultimo abitato e di 830.000 m³ per l'area limitrofa il fiume Lambro tra Merone e Briosco.

Le considerazioni sopracitate e le verifiche dinamiche ed i sopralluoghi eseguiti hanno pertanto condotto gli scriventi alla convinzione che le portate che attualmente caratterizzano il fiume Lambro in occasioni di eventi con tempo di ritorno variabile da 10 a 200 anni sono pari alle portate di tabella 12 e cioè con riduzione per effetto delle naturali esondazioni.

L'applicazione del medesimo modello idrologico nell'ipotesi di realizzazione delle laminazioni previste in progetto (vasca di Merone; vasca di Molteno; vasca di Fornaci di Briosco; regolazione aree di fondovalle a monte di Briosco) ha condotto viceversa alla determinazione delle portate di progetto generale riportate in tabella 13.

Con la definizione di Progetto Generale si intende l'insieme degli interventi atti a ridurre i deflussi. A tali interventi sono poi da associare le opere puntuali su manufatti, sponde, ecc..

SEZIONE MODELLO IDROLOGICO	Sez	Progr.	Portate Lambro				
			Q 10 (m ³ /s)	Q 20 (m ³ /s)	Q 50 (m ³ /s)	Q 100 (m ³ /s)	Q 200 (m ³ /s)
La-00000	x	-18500.00	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
La-01750	x	-16750.00	3.2	3.7	4.4	4.9	5.5
La-05000	x	-13500.00	16.5	19.2	22.7	25.5	28.2
La-07500	x	-11000.00	50.6	58.8	69.7	78.1	86.5
La-09000	x	-9500.00	65.4	76.1	90.2	101.0	111.9
La-11250	x	-7250.00	80.8	93.9	111.3	124.7	138.1
La-13000	x	-5500.00	92.9	107.2	127.0	142.2	157.5
La-15000	x	-3500.00	104.0	120.9	143.2	160.3	177.5
La-18500	x	0.00	107.8	125.4	148.7	166.5	184.4
La+00000	1	0.00	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
La+01000	13	1080.30	12.7	13.3	14.2	14.8	15.5
La+03242	39	3242.00	16.1	17.8	20.1	21.8	23.6
La+03552	40	3546.80	39.0	41.0	43.5	45.4	47.3
La+07848	70	7847.85	43.0	47.0	51.6	55.0	58.7
La+09363	80	9362.70	47.1	53.0	60.8	60.5	58.7
La+11949	95	11664.70	55.0	64.4	65.0	65.1	65.1
La+13880	106	13875.40	67.7	80.9	83.9	84.2	84.6
La+16409	126	16409.15	69.0	82.4	86.7	87.7	88.6
La+19089	144	19089.10	71.1	85.0	91.2	93.2	95.1
La+22982	172	22972.40	78.0	93.5	105.3	110.3	114.9
La+25480	195	25479.30	81.7	98.0	112.6	119.3	125.5
La+26063	201	26057.70	87.0	104.6	121.4	129.4	136.9
La+28706	220	28706.20	89.6	107.8	125.9	134.7	142.9
La+30378	235	30376.70	99.7	117.9	136.2	145.0	153.4

Tabella 13

Come si nota la formazione degli invasi possibili e ritenuti economicamente e ambientalmente compatibili consente una ulteriore riduzione delle portate al colmo pari al 14% ($T = 100$ anni).

Come detto, in allegato C sono riportate le onde di piena relative a le diverse sezioni e ai tempi di ritorno analizzati. In figura 7 è riportato il confronto tra le onde alla sezione di Villasanta per $T = 100$ anni.

Al termine della presentazione dei risultati emersi ed assunti alla base dei calcoli idraulici si riportano le seguenti considerazioni relative al confronto con i risultati emersi dal modello OTTHYMO del "Piano Lambro":

- nel bacino prelacuale il modello approntato dagli scriventi evidenzia piene che presentano valori di contributo più elevati rispetto a quelli emersi nel bacino sublacuale. Tale fatto è sicuramente imputabile alle caratteristiche montane del bacino che, a differenza delle zone vallive collinari della Brianza, presenta elevate pendenze e tempi di corrivazione ridotti pur non essendo soggetto ad urbanizzazione elevata. La portata centennale calcolata presenta contributi di piena pari a oltre $2 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ a fronte di contributi stimati nel "Piano Lambro" di circa $1,0 \text{ m}^3/\text{s km}^2$;
- la portata defluente a valle del lago di Pusiano non risulta superiore, per la taratura eseguita con il modello di moto permanente descritto in Relazione Idraulica, a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ a fronte dei circa $20 \text{ m}^3/\text{s}$ stimati nel "Piano Lambro";
- a seguito di tale risultato la zona immediatamente sublacuale del fiume Lambro risulta strettamente correlata, in termini di deflusso di piena, agli eventi che caratterizzano il bacino del torrente Bevera di Molteno; gli eventi di piena nel torrente tuttavia risultano influenzati dalla particolare conformazione dell'alveo dell'affluente stesso (modellizzato esso stesso)

Project: Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998
 Customer: Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S.
 Contractor: Studio Pacetti Ingegneri Associati
 T = 100 anni

Confronto profili alla sezione di chiusura:

- senza esondazioni naturali
- con esondazioni naturali
- con interventi di progetto generale

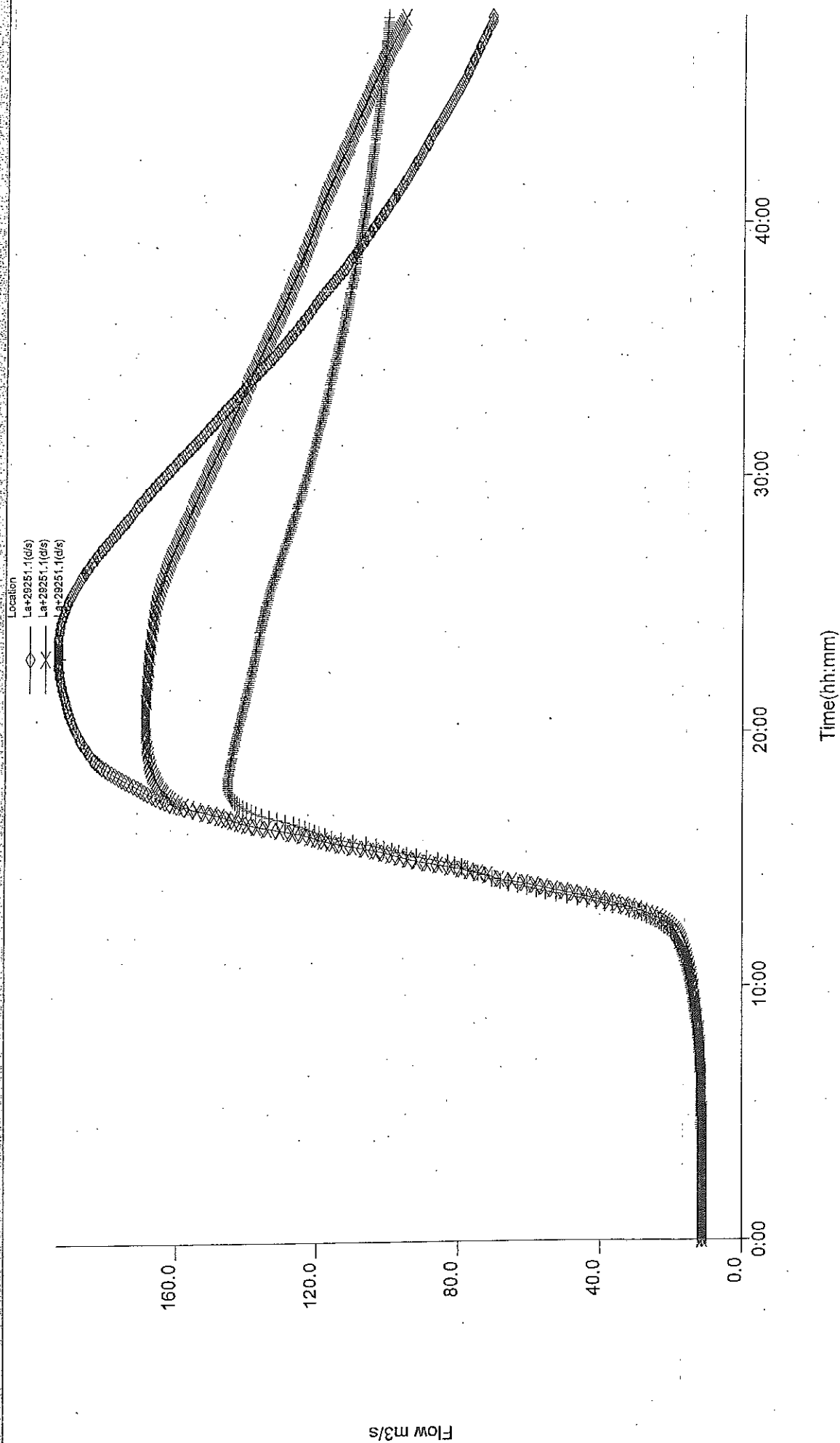


FIGURA 7

nell'attraversamento di Molteno. La situazione attuale infatti presenta, come detto in precedenza, un alveo ristretto che non risulta in grado di convogliare le portate di massima piena al colmo relative agli eventi più intensi. Per conseguenza le piene del torrente Bevera di Molteno alla confluenza del fiume Lambro risultano decapitate nel loro colmo ma allungate come forma a causa dell'effetto di laminazione naturale indotta. Tale effetto, simulato puntualmente, determina la differenza di portata centennale emersa nel "Piano Lambro" rispetto a quella dell'attuale studio ($59,0 \text{ m}^3/\text{s}$ a fronte di $47,0 \text{ m}^3/\text{s}$);

- la simulazione con il modello approntato consente di ricostruire l'andamento della portata lungo l'asta del fiume con continuità. Nel tratto compreso tra la confluenza con la Bevera di Molteno e la confluenza con la Bevera di Renate la valle del Lambro è caratterizzata, come detto, da vaste zone di esondazione a causa delle quali la simulazione evidenzia la sostanziale stazionarietà del colmo di piena (se non la riduzione) per effetto delle laminazioni naturali ad oggi presenti e di importanza fondamentale per la salvaguardia delle aree di valle. Tale situazione non risultava evidenziata nel "Piano Lambro";
- a valle della confluenza della Bevera di Renate la valle si restringe e pertanto gli effetti di laminazione dovuti alle occasionali esondazioni si esauriscono; in tale tratto la portata riprende a crescere progressivamente (salvo nei punti di immissione concentrata di affluenti) raggiungendo a Villasanta (Ponte S. Giorgio) un valore centennale di $168,50 \text{ m}^3/\text{s}$ inferiore al valore di $189,70 \text{ m}^3/\text{s}$ emerso dal modello "Piano Lambro". Tale minor

valore è dovuto ai citati effetti di laminazione naturale nelle aree di monte come avvenuto anche recentemente (novembre 1996).

Il confronto tra i risultati emersi dal modello approntato dagli scriventi ed il modello "Piano Lambro" potrebbe ritenersi chiuso pertanto alla sezione di Villasanta. Tuttavia la difficoltà connessa alla riduzione dei colmi di piena, il sacrificio in termini di vincoli al territorio che la realizzazione di casse di espansione induce e il riflesso che le scelte progettuali di monte hanno sulla dinamica del corso d'acqua nel territorio milanese spingono ad ampliare verso valle il confronto. In particolare un dato risulta contrastante con quanto rilevato: nel "Piano Lambro" la portata alla sezione di Villasanta ($189,7 \text{ m}^3/\text{s}$) subisce un primo incremento ($64,4 \text{ m}^3/\text{s}$) per l'immissione del bacino relativo alle zone tra Villasanta e Monza ($\sim 34 \text{ km}^2$) ed un secondo incremento di notevolissima portata ($260,2 \text{ m}^3/\text{s}$) per l'immissione del bacino allacciato tramite i collettori del Consorzio di Bonifica dell'Alto Lambro ($121,30 \text{ km}^2$). Quest'ultimo bacino, costituito prevalentemente dalla fascia ad ovest del fiume tra Giussano e Monza, presenta una lieve pendenza in direzione sud-ovest e risulta tributario del fiume Lambro unicamente tramite il reticolo dei collettori consortili.

Pertanto la portata recapitata nel fiume Lambro da tale bacino risulta vincolata alla capacità di deflusso dei collettori consortili ed in particolare degli scolmatori finali di piena. In base ai dati reperiti presso il Consorzio stesso la portata massima scaricata dai manufatti risulta pari a $63,2 \text{ m}^3/\text{s}$ e cioè notevolmente inferiore ai $260,2 \text{ m}^3/\text{s}$ indicati.

Risulta pertanto evidente la necessità di una verifica delle portate di massima piena del fiume Lambro a valle di Villasanta al fine di poter correttamente

valutare l'incidenza degli interventi messi in atto a monte per la riduzione delle piene. Gli interventi proposti nel presente Progetto Preliminare, infatti, nel caso realmente la portata del bacino in oggetto fosse pari a $260,2 \text{ m}^3/\text{s}$, avrebbero unicamente valore locale senza riflessi sul regime a valle di Villasanta, governato unicamente dai deflussi urbani dovuti ai collettori consortili. Altra verifica è legata alle previsioni di P.R.R.A. e quindi alla riduzione delle portate connessa con la formazione di laminazioni urbane che di fatto potrebbero ridurre gli attuali $70 \text{ m}^3/\text{s}$ circa scaricati a giudizio degli scriventi.

5. VALUTAZIONE DEL REGIME IDROMETRICO MEDIO DEL FIUME LAMBRO

5.1 PREMESSA

La stima dei deflussi medi nel fiume Lambro ha interesse per gli scopi del presente progetto al fine di consentire un primo inquadramento e fornire i dati generali alla base delle considerazioni che verranno sviluppate nel successivo capitolo 6 in merito alla problematica del trasporto solido. Se l'analisi dei deflussi medi riveste caratteristiche di elevata problematicità in situazioni naturali, poiché condizionata da fattori locali quali ad esempio la geologia del bacino e la morfologia del corso d'acqua, nel caso del fiume Lambro tale problematicità è acuita da due fattori tra loro legati: la presenza dei laghi di Segrino, Alserio e Pusiano e la regolazione di quest'ultimo alla sezione di Merone. E' evidente che l'analisi approfondita di tali fattori porterebbe assai lontano dagli scopi del presente progetto. Ci si limita pertanto nel presente capitolo a raccogliere i dati esistenti sottolineando come la problematica

relativa alla regolazione del lago di Pusiano abbia notevole interesse anche in merito al deflusso delle piene come descritto in Relazione Generale.

5.2 LE STAZIONI DI MISURA DELLE PORTATE

Le registrazioni idrometriche utilizzabili per la stima del regime medio sono quelle effettuate dalle stazioni del Servizio Idrografico Italiano e pubblicate nei relativi annali (Lambro a Lambrugo 1955 – 1970 e Bevera a Colombaio 1938 – 1970) e quelle effettuate dalla stazione A.D.A.L. di S. Giorgio (1984 – 1996). Da tali dati occorre desumere il regime medio sia nel tratto sublacuale sia nel tratto prelacuale. Mentre il tratto sublacuale risulta monitorato dalle tre stazioni per il tratto prelacuale occorrerebbe ricorrere a stime che inevitabilmente risentono delle condizioni locali dell'alveo (è frequente ad es. rilevare l'alveo in asciutta sia a valle di Barni sia nel tratto cittadino a Erba).

Poiché a monte del lago di Pusiano i fenomeni di trasporto solido risultano caratterizzati unicamente dagli eventi di piena non si sono applicati per tali zona complessi modelli afflussi-deflussi che risulterebbero affetti da gravi difficoltà modellistiche legate al notevole numero di parametri necessari per tenero conto sia della complessità orografica e geomorfologica del bacino oggetto di studio (formato dalla confluenza di bacini distinti principali), sia dalle caratteristiche prealpine dello stesso con influenza dei deflussi originati dalle precipitazioni a carattere nevoso.

In allegato D sono riportati i dati nelle tre sezioni dotate di misuratore: Bevera a Colombaio (bacino 39,0 km²), Lambro a Lambrugo (bacino 170,0 km²) e Lambro a S. Giorgio (bacino 270,0 km²).

L'analisi dei dati, come già sottolineato, mostra una tendenza al rapido esaurimento dei bacini di più modesta entità, mentre una maggiore persistenza delle portate a valle del lago di Pusiano a seguito della regolazione dello stesso.

6. TRASPORTO SOLIDO NEL BACINO DEL FIUME LAMBRO

6.1 PREMESSA

L'obiettivo del presente capitolo è la determinazione delle dinamiche di trasporto solido e di conseguente mutamento del fondo alveo dell'asta fluviale. Le valutazioni in oggetto rivestono notevole importanza sia ai fini del dimensionamento delle opere e della verifica delle condizioni di trasporto solido, sia ai fini di una corretta stima degli oneri di manutenzione connessi con la situazione attuale e con la situazione di progetto.

Le conseguenze dei processi erosivi in atto nei bacini idrografici e l'analisi del trasporto solido in alveo sono oggetto di studio approfonditi da parte di molti ricercatori.

Nel seguito del presente capitolo, tenendo presente la finalità specifica del progetto, si farà distinzione tra la zona a monte del lago di Pusiano e la zona di valle. Infatti le due zone di bacino presentano una ben diversa dinamica; mentre per la zona di monte la stima del trasporto solido risulta importante al fine di quantificare gli apporti in alveo e pertanto il potenziale interrimento dell'alveo stesso o dei bacini di accumulo realizzati lungo l'asta, per la zona di valle, poiché il lago risulta formare una sorta di sconnessione con monte, è fondamentale verificare, data anche la notevole antropizzazione del profilo

(caratterizzato da numerose soglie), le eventuali modificazioni del fondo dovute ad erosioni o sovralluvionamenti indice di uno squilibrio tra apporti ed asportazioni di materiale.

Per quanto concerne la zona di monte si farà riferimento alle seguenti metodologie:

- calcolo della produttività media annua di trasporto solido;
- stima della capacità di trasporto al fondo dell'asta fluviale, basata su procedure idrologiche ed idrauliche;
- valutazione del trasporto in sospensione tramite dati di letteratura.

Occorre tuttavia sottolineare sin da ora come le particolari condizioni del bacino, privo di ghiacciai e quindi con possibili fenomeni di secca, inducono il depositarsi del materiale trasportato la cui movimentazione avviene essenzialmente durante gli eventi di piena.

Per quanto concerne viceversa i fenomeni a valle, attingendo all'informazione topografica relativa al 1986 ("Piano Lambro") e alla nuova livellazione (Regione Lombardia, 1998), si è condotto un confronto nelle tratte di alveo comprese tra due soglie successive.

6.2 METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DEI VOLUMI DI SEDIMENTO AFFLUENTI AL LAGO DI PUSIANO

La valutazione dei volumi di sedimento nel bacino di monte è stata effettuata secondo la seguente metodologia che si fonda sullo studio del bacino idrografico di formazione come produttore di sedimento e dell'asta fluviale come collettore e vettore del sedimento stesso. Tali sistemi sono stati studiati separatamente in modo da determinare, rispettivamente, la capacità di

produzione di sedimenti del bacino (par. 6.2.1) e la capacità di trasporto potenziale dell'asta fluviale (par. 6.2.2).

6.2.1 Stima della produzione distribuita di sedimento nel bacino

Il trasporto solido nei bacini montani, quale quello in esame, è costituito essenzialmente da due componenti: la parte grossolana, dovuta alla disgregazione delle rocce e veicolata dal reticolo idrografico come trasporto al fondo e quella più fine, prodotta dall'erosione del suolo sui versanti e trasportata generalmente in sospensione.

La prima, prodotta dall'azione del gelo e, più in generale, dell'escursione termica, oltre che dall'azione chimica e meccanica della pioggia, è trasportata a valle da meccanismi gravitativi di massa e si immette nel reticolo idrografico primariamente in specifici punti di recapito, generalmente localizzati alla base delle conoidi di deiezione. E' alquanto arduo, tuttavia, pensare di stimare quantitativamente e in maniera affidabile tali afflussi concentrati.

La frazione fine, prodotta per la maggior parte dalla ablazione del suolo da parte dell'azione erosiva della pioggia, viene recapitata al reticolo di drenaggio in maniera diffusa durante gli eventi meteorici. La valutazione quantitativa della perdita di spessore di suolo costituisce un tema largamente dibattuto specialmente per quanto attiene ai problemi di conservazione del suolo. La letteratura sull'argomento indica numerose formule che, alle diverse scale di interesse, consentono di stimarne l'entità. Queste metodologie si basano essenzialmente su modelli empirici, che vengono tarati in base alle caratteristiche geomorfologiche, litologiche, climatiche e di uso del suolo dell'area considerata. L'affidabilità del risultato è variabile e dipende dalla congruenza tra le condizioni locali considerate e quelle di taratura del modello.

L'obiettivo che si è inteso raggiungere nel presente capitolo è la determinazione di larga massima dei volumi solidi producibili dal bacino in termini medi annui.

Le conseguenze dei processi erosivi in atto nei bacini idrografici e l'analisi del trasporto solido in alveo sono oggetto di studi approfonditi da parte di molti ricercatori. Le metodologie di indagine sono molteplici e differenti pur risentendo della difficoltà oggettiva di effettuare o reperire misurazioni dirette in special modo durante gli eventi intensi.

Tra i vari metodi trova applicazione quello proposto da Gavrilovic-Zemljic.

Il modello adottato da Gavrilovic è di tipo empirico: prendendo in considerazione alcuni parametri (di tipo geomorfologico, climatico, litologico, vegetazionale), fornisce una previsione della produzione netta annua di sedimenti nell'ambito di un bacino idrografico. Attraverso un coefficiente di riduzione è quindi possibile passare dalla stima teorica del volume di materiale prodotto per erosione in un bacino idrografico alla determinazione della quantità di detriti trasportati dai corsi d'acqua alla sezione di chiusura del bacino stesso.

La valutazione quantitativa dell'erosione è basata sulla relazione:

$$W = T h \pi \sqrt{(Z^3)} F \quad (7)$$

dove:

W = quantità annuale media di materiale prodotto per erosione (in m^3);

T = coefficiente di temperatura dato dalla $\sqrt{[(t'/10)+0.1]}$; con t' = isoterma annuale media;

h = altezza di pioggia (in mm) annuale media;

F = area del bacino (in km^2);

Z rappresenta il coefficiente di erosione relativa e viene determinato nel modo seguente: $Z = X Y (\Phi + \sqrt{I})$

dove:

X = fattore di protezione del suolo ad opera della vegetazione;

Y = fattore di erodibilità del suolo;

Φ = coefficiente che esprime grado e tipologia dei processi erosivi;

I = pendenza media percentuale del bacino.

Il valore ottenuto mediante la formula rappresenta la quantità media annua di materiale prodotto per erosione nel bacino. Per risalire alla quantità (G) di materiale trasportato sino alla sezione di chiusura si rende necessario moltiplicare il valore W per un fattore R di riduzione dato dalla:

$$R = \left[\sqrt{(O D)} (L + L_i) \right] / (L + 10) F \quad (8)$$

dove:

O = perimetro del bacino in km;

D = altezza media, espressa mediante la curva ipsometrica, in km;

F = superficie del bacino in km^2 ;

L = lunghezza dell'asta principale in km;

L_i = lunghezza complessiva degli affluenti in km.

L'applicazione del metodo al bacino del fiume Lambro a Erba consente di ottenere un valore medio annuo di materiale solido trasportato dal Lambro alla sezione di Erba, al netto della rideposizione interna, pari a 37.000 m^3 circa, con un conseguente valore di contributo specifico di materiale trasportato pari a $0,50 \text{ mm/anno}$ circa.

Il valore di 0,50 mm/anno è stato quindi utilizzato per stimare il possibile contributo dato dai bacini tributari nella zona delle opere (per la quantificazione dei volumi di eventuali bacini di accumulo).

• **Bacini tributari nella zona di monte**

- T. Lambretto	Volume 750 m ³ /anno;
- T. Foce	Volume 2.500 m ³ /anno;
- T. Valle di Rezzago	Volume 3.000 m ³ /anno;
- T. Ravella	Volume 6.500 m ³ /anno;
- T. Bistonda	Volume 3.000 m ³ /anno;
- T. Bova	Volume 5.000 m ³ /anno.

L'applicazione del metodo descritto ai bacini oggetto delle opere di cui al presente progetto ha consentito di stimare il volume di materiale solido medio annuo trasportato dalla corrente dei corsi d'acqua alle sezioni d'interesse.

Il valore trovato può essere affetto da incertezze dovute ad eventuali siti di cava in alveo nel bacino di monte.

Si segnala sin da ora pertanto la necessità di acquisire dati circa l'attività dei cavatori e di verificare gli eventuali tratti di alveo utilizzati come sede di scarica dei materiali di scarto delle lavorazioni.

6.2.2 Stima della capacità di trasporto potenziale al fondo

Il tratto fluviale di interesse nello studio in esame è quello cittadino di Erba dalla confluenza del torrente Bova al lago di Pusiano.

Valutazione della capacità di trasporto

Preliminarmente è stato analizzato il tratto di alveo in esame, basandosi sulla cartografia disponibile in scala 1:2.000.

La capacità di trasporto tratto per tratto è stata calcolata attraverso la metodologia proposta da Meyer-Peter e Muller per la valutazione del trasporto solido al fondo. La scelta di una formula di trasporto al fondo è basata sulla considerazione delle caratteristiche del fiume e della granulometria dei sedimenti trasportati per il caso in esame, che porta a ritenere essenzialmente corretta una schematizzazione nella quale il trasporto al fondo costituisca la quota preponderante del materiale trasportato dalla corrente. Tra le formule di trasporto al fondo, quella di Meyer-Peter e Muller è senz'altro una delle più collaudate. Essa mostra inoltre un ottimo accordo con i risultati forniti da altre formule a base concettuale; tra tutte quella di Einstein.

Una integrazione per i volumi trasportati in sospensione è stata comunque effettuata mediante utilizzo di risultati sperimentali su bacini alpini.

La formula di Meyer-Peter e Muller è una relazione empirica ricavata per moto permanente, quasi-uniforme e piano. I test sperimentali con i quali essa è stata calibrata corrispondono agli intervalli delle variabili sotto indicati:

$$0,01 \leq h \leq 1,2 \text{ m};$$

$$0,0004 \leq i \leq 0,02;$$

$$0,4 \text{ mm} \leq D \leq 30 \text{ mm};$$

$$0,25 \leq \frac{\gamma_s}{\gamma} \leq 3,2$$

Introdotta la velocità d'attrito della corrente v_* e la densità del fluido ρ , tale formula si può scrivere nella forma:

$$\Phi = 8 (Y - Y_{cr})^{3/2} \quad (9)$$

dove Φ e Y sono numeri adimensionali definiti come:

$$Y = \frac{\rho v_*^2}{\gamma_s D} \quad (10)$$

$$\Phi = \frac{q_s \rho^{0.5}}{(\gamma_s D)^{3/2}} \quad (11)$$

dove q_s è la portata solida per unità di larghezza, espressa come peso immerso, e Y_{cr} corrisponde al valore Y di soglia per il quale si ha l'inizio del moto dei sedimenti. Nello studio seguente si è assunto per Y_{cr} il valore 0.05, come indicato dagli studi di *Shields*.

Fissata la portata liquida Q che transita in alveo, l'equazione di moto uniforme:

$$Q = \chi(h) A(h) \sqrt{R(h) J} \quad (12)$$

determina l'altezza della corrente h e quindi il raggio idraulico $R(h)$. Da questi dati è possibile valutare la velocità di attrito:

$$v_* = \sqrt{g R i} \quad (13)$$

Una volta specificati la curva granulometrica e il peso specifico dei sedimenti, il valore della velocità d'attrito permette di calcolare quello di Y , in base al quale è possibile calcolare il valore di Φ e, quindi, q_s .

Nei calcoli si è seguita la linea risolutiva sopra esposta. In particolare, si è assunta la sezione tipica rilevata di magra di forma rettangolare con larghezza 2÷4 m e si è valutato il coefficiente di resistenza di *Chezy* χ tramite la formula di *Strickler*:

$$\chi(h) = K_s(h) R(h)^{1/6}$$

cui si è attribuito un coefficiente di conduttanza $K_s = 35$ costante con il raggio idraulico.

La valutazione della pendenza media i del fondo alveo rispetto ad un piano orizzontale è stata effettuata mediante rilevazione sulla esistente cartografia 1:2.000.

Per ciò che riguarda l'applicazione della formula a miscele di sedimenti caratterizzati da una data curva granulometrica, nella applicazione della formula di Meyer-Peter e Muller si fa uso del diametro D_{50} , dedotto da osservazioni in sito.

Nel caso in esame il diametro D_{50} corrisponde alla misura di 3 cm, come risulta dai dati disponibili. Al materiale trasportato si è attribuito il valore di densità 2700 kg/m^3 . E' opportuno inoltre precisare che il valore q_s fornito dalla formula di Meyer Peter e Muller è una portata in peso immerso. Conseguentemente, per passare al dato volumetrico di diretto interesse nel presente studio, si è reso necessario dividere i valori di portata solida calcolati per il peso specifico immerso γ_s dei sedimenti trasportati.

La determinazione del volume solido convogliabile dal fiume nel tratto considerato su scala annua è valutata a partire dai dati di portata media annua e dalle curve di durata.

Considerando la curva delle portate liquide e i dati geometrici corrispondenti al tratto di asta fluviale, a ognuna delle portate liquide si è fatto corrispondere, con il procedimento sopra esposto, una portata solida. L'integrale della curva così ottenuta, opportunamente diviso per γ_s , fornisce il volume solido movimentabile in alveo dalla piena.

E' del resto evidente che la portata solida transitante per il tratto perviene al lago di Pusiano solo nel caso in cui ogni tratto di asta abbia una capacità di trasporto maggiore o uguale rispetto a quella di monte. In caso contrario si

potrebbe avere nei tratti intermedi il verificarsi di deposito del materiale solido. Data l'uniformità di caratteristiche geometriche ed idrauliche dell'asta del fiume Lambro in Erba si è verificato tutto il tratto con analoghe caratteristiche ottenendo che l'alveo risulta in grado di trasportare quanto potenzialmente prodotto dal bacino. Risulta pertanto che la città di Erba non è interessata da rischi di sovralluvionamento, mentre la presenza del lago di Pusiano indurrà un potenziale deposito di circa 37.000 m³/anno.

Il risultato ottenuto evidenzia come i possibili rischi dovuti al trasporto solido siano connessi alle zone di confluenza degli affluenti.

6.3 EQUILIBRIO DELL'ALVEO A VALLE DEL LAGO DI PUSIANO E STIMA DEL TRASPORTO SOLIDO IN SOSPENSIONE

Come anticipato la problematica relativa al trasporto solido nella zona a valle del lago di Pusiano comporta, data la conformazione del bacino, una stima della dinamica d'alveo nelle tratte comprese tra due successive opere trasversali ed una stima del trasporto in sospensione.

In tabella 14 è riportata l'elencazione delle traverse rilevate, con il codice numerico del rilievo 1997÷1998, il codice numerico del rilievo 1986, il dislivello a monte ed a valle dal coronamento rilevato nelle due campagne.

A partire da tali informazioni si sono dedotti i comportamenti, nei 10 anni trascorsi, delle tratte di fiume comprese tra due briglie successive. Nelle tavole 6.1 e 6.2 e in tabella 15 sono evidenziati i risultati ottenuti in termini di variazione di pendenza di ogni singolo tratto. In particolare si nota come in tutta la porzione di fiume Lambro appena a valle del lago di Pusiano e sino alla sezione 160 -161 (briglia in Comune di Carate Brianza) il profilo del

BRIGLIE FIUME LAMBRO

<i>Numerazione 1997</i>	<i>Numerazione 1986</i>	<i>Tipo di briglia</i>	<i>Comuni</i>	<i>Distivello monte 1997 (m)</i>	<i>Distivello monte 1986 (m)</i>	<i>Distivello valle 1997 (m)</i>	<i>Distivello valle 1986 (m)</i>
Briglia 15/16	s. n.	Laterale	MERONE	-0.50	-	-1.47	-
Briglia 23/24	45	Perp. al fiume	MERONE	-1.00	-1.31	-2.98	-2.46
Briglia 44/45	44	Laterale	MERONE	-0.53	-1.52	-2.13	-2.37
Briglia 60/61	43	Obliqua	COSTA MASNAGA	-0.46	-0.65	-1.51	-1.51
Briglia 72/73	42	Laterale	INVERIGO - NIBIONNO	-0.41	-1.26	-1.96	-1.92
Briglia 110/111	41	Obliqua	BRIOSCO	-0.53	-1.19	-0.87	-1.58
Briglia 119/120	40	Obliqua	BRIOSCO	-0.69	0.00	-2.72	-2.50
Briglia 128/129	39	Laterale	GIUSSANO - BRIOSCO	-0.73	-0.89	-2.40	-2.33
Briglia 141/142	38	Obliqua	VERANO BRIANZA	-0.46	-0.89	-2.16	-2.07
Briglia 146/147	37	Perp. al fiume	CARATE BRIANZA	-0.49	0.00	-0.76	-0.25
Briglia 160/161	36	Perp. al fiume	CARATE BRIANZA	-0.28	-0.65	-0.39	-1.94
Briglia 169/170	35	Perp. al fiume	ALBIATE - TRIUGGIO	-0.37	-0.44	-0.98	-1.24
Briglia 177/178	103 D	Perp. al fiume	SOVICO - TRIUGGIO	-0.47	-	-0.62	-
Briglia 179/180	s. n.	Perp. al fiume	SOVICO - TRIUGGIO	-0.43	-	-0.49	-
Briglia 182/183	s. n.	Perp. al fiume	SOVICO - TRIUGGIO	-0.35	-	-0.69	-
Briglia 188/189	s. n.	Obliqua	SOVICO - TRIUGGIO	-0.87	-	-1.54	-
Briglia 196/197	34	Obliqua	MACHERIO - TRIUGGIO	-0.27	-0.47	-0.83	-1.02
Briglia 202/203	33	Obliqua	MACHERIO - LESMO	-0.36	-0.30	-1.24	-1.06
Briglia 205/206	32	Obliqua	BIASSONO - LESMO	-0.48	-0.18	-0.74	-1.08
Briglia 217/218	31	Perp. al fiume	BIASSONO - ARCORE	-0.18	-0.20	-0.52	-1.33
Briglia 224/225	30	Perp. al fiume	BIASSONO - ARCORE	-0.41	-0.18	-0.60	-0.24
Briglia 227/228	29	Perp. al fiume	BIASSONO - VILLASANTA	-0.37	-0.08	-0.71	-0.68
Briglia 231/232	28	Perp. al fiume	VILLASANTA	-0.27	-0.25	-2.77	-2.38

Tabella 14

fiume ha evidenziato la tendenza ad una generalizzata riduzione di pendenza che in alcune tratte (tra le sezioni: 24 e 44; 73 e 110; 147 e 160) raggiunge il 12-15% della pendenza residua. Tale riduzione di pendenza è dovuta, per lo più, ad un abbassamento immediatamente a valle della briglia ed un innalzamento a monte della briglia successiva.

Nella tratta analizzata si registrano due zone puntuali (tra le sezioni 111 e 119 in corrispondenza del ponte sulla S.P. 102 tra Briosco e Arosio; tra le sezioni 142 e 146 in corrispondenza del ponte di Agliate) con funzionamento difforme e cioè tendenza all'aumento di pendenza dovuto ad un abbassamento del fondo alveo generalizzato o più accentuato a valle. Tale dinamica, in tratte che sottendono ponti di notevole rilevanza viabilistica, merita approfondimenti.

Dalla sezione 161 e sino al termine del tratto indagato (ponte S. Giorgio a Villasanta) l'alveo al fiume Lambro manifesta tendenza alla stabilità o al lieve aumento della pendenza per abbassamento del fondo verso valle.

La maggior variazione di pendenza si registra tra le sezioni 161/169 e tra le sezioni 218/224.

L'analisi condotta evidenzia pertanto due diverse tratte con tendenza all'erosione a monte ed accumulo a ridosso delle briglie (primo tratto) e con tendenza all'erosione a ridosso delle briglie (secondo tratto).

Di tali dinamiche si è tenuto conto nello studio degli interventi di progetto come documento in Relazione Generale.

Tabella 15

<i>Tratto (num, 1997)</i>	<i>Variazione dislivello (m)</i>
23/24 - 44/45	- 1,51
44/45 - 60/61	+ 0,05
60/61 - 72/73	- 0,85
72/73 - 110/111	- 0,70
110/111 - 119/120	+ 1,40
119/120 - 128/129	- 0,38
128/129 - 141/142	- 0,50
141/142 - 146/147	+ 0,40
146/147 - 160/161	- 0,88
160/161 - 169/170	+ 1,48
169/170 - 196/197	+ 0,06
196/197 - 202/203	+ 0,25
202/203 - 205/206	+ 0,12
205/206 - 217/218	+ 0,32
217/218 - 224/225	+ 1,04
224/225 - 227/228	- 0,07
227/228 - 231/232	- 0,01
TOTALE	0,22

Al termine del presente capitolo si riporta la stima del trasporto solido in sospensione che caratterizza il fiume Lambro nel tratto sublacuale.

Come precisato nel paragrafo precedente, i valori forniti dalla formula di Meyer-Peter e Muller sono riferiti al peso di sedimento trasportato dalla corrente al fondo.

Alcuni autori sulla base di campagne di rilevazione hanno tentato di approssimare i dati rilevati, in verità molto dispersi, con leggi di tipo esponenziale, che stabiliscano una correlazione tra portate torbide e portate liquide del tipo:

$Q_{s,sosp.} = 0,21e^{0,03Q}$ dove la portata solida in sospensione è da leggersi in kg/m^3 di portata liquida.

La formula approssimante è stata applicata alla curva di durata delle portate, ottenendo i valori integrali di trasporto solido in sospensione. Assumendo che

la frazione in sospensione sia essenzialmente costituita da sedimenti limosi e argillosi, il valore volumetrico di trasporto solido in sospensione risulta essere di circa 10.000 m^3 alla sezione di Villasanta.

Milano, luglio 1998

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

Dott. Ing. Giuseppe Floreale

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

ALLEGATO A

Dati pluviometrici: ASSO - COSTA MASNAGA - CARATE BRIANZA

TABELLA N.

Stazione Pluviometrica del S.I.I.
1031 ASSO- (Quota: 427 m s.m.)

SERIE STORICA DEI MASSIMI ANNUALI DELLE PIOGGE (in mm) DELLA DURATA
1 ore, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore,

ANNO	1 ore	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1949	54.0	65.6	68.2	86.6	143.8
1950	30.6	52.4	58.4	87.6	151.4
1951	71.0	76.0	77.6	127.0	193.0
1953	41.0	68.0	79.0	83.4	105.0
1954	22.2	36.8	56.2	81.4	95.2
1955	58.2	62.8	63.0	89.6	114.0
1956	39.0	52.4	66.0	83.0	112.0
1957	30.8	40.0	62.4	92.4	129.8
1958	28.2	50.4	94.8	105.0	107.6
1959	24.0	31.6	65.0	103.0	160.0
1960	46.6	59.2	78.0	101.0	152.0
1961	44.0	52.2	52.2	64.0	88.6
1962	29.8	32.2	46.0	69.4	103.0
1964	66.8	68.0	68.0	69.0	93.6
1965	37.4	59.0	94.0	111.0	141.0
1966	42.6	59.4	62.2	66.4	93.2
1967	42.0	42.8	47.6	61.2	92.2
1968	43.0	53.4	62.0	64.0	91.2
1969	24.0	27.6	32.2	44.2	58.0
1970	45.2	81.6	101.0	141.8	141.8
1971	34.6	46.4	51.0	63.8	70.6
1972	35.0	47.0	52.6	67.6	94.8
1973	20.6	39.0	55.6	64.2	98.8
1974	17.9	32.1	50.8	83.4	91.2
1975	36.9	57.9	71.2	91.0	94.8
1976	45.4	54.8	81.0	100.4	130.0
1977	35.2	41.8	57.2	59.1	100.2
1978	25.2	45.5	59.5	100.9	120.6
1979	34.2	54.4	88.9	117.3	219.2
1980	27.9	59.3	69.2	79.9	94.6
1981	34.4	56.8	66.3	107.0	155.2
1982	45.7	70.6	108.6	123.0	153.3
1983	31.6	44.2	48.0	57.2	74.2
1984	35.8	48.5	83.7	98.8	114.2
NDAT	34	34	34	34	34
MED.	37.67	52.05	66.98	86.61	117.00
SQM.	12.20	13.03	17.09	22.67	34.77

TABELLA N.

Stazione Pluviometrica del S.I.I.
1035 COSTA MASNAGA - (Quota: 318 m s.m.)

SERIE STORICA DEI MASSIMI ANNUALI DELLE PIOGGE (in mm) DELLA DURATA
1 ore, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore,

ANNO	1 ore	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1950	38.4	39.0	55.2	79.6	100.2
1951	38.0	39.0	59.0	99.0	149.0
1952	26.8	32.8	38.0	47.6	62.6
1953	33.8	35.2	42.4	54.6	65.6
1954	69.0	80.0	100.0	100.4	102.2
1955	42.4	46.2	46.2	52.4	78.0
1956	51.4	52.4	63.6	80.0	80.0
1957	35.6	69.2	89.6	99.0	100.0
1958	26.8	30.6	34.6	45.2	58.4
1959	40.8	51.6	51.6	52.0	64.2
1960	50.0	79.0	82.6	93.6	125.0
1961	29.6	55.2	57.2	80.8	97.0
1962	46.8	49.2	56.2	56.6	78.2
1963	80.0	116.0	124.0	165.0	172.0
1964	20.8	36.4	41.0	44.8	56.8
1965	20.6	31.4	34.4	36.0	51.0
1966	41.6	65.0	96.4	170.0	229.0
1967	20.8	41.0	42.2	45.2	54.0
1968	41.0	112.0	171.2	171.2	171.2
1970	29.4	57.2	67.0	68.0	92.0
1971	15.8	18.2	20.4	32.2	47.0
1972	10.0	23.4	38.6	43.2	49.8
1973	7.2	16.5	27.7	38.1	66.1
1974	17.7	24.5	26.2	34.1	63.0
1975	10.2	18.3	33.3	37.0	60.0
1976	37.9	55.8	71.4	93.2	113.4
1977	27.7	32.8	49.8	74.8	100.2
1978	17.8	25.7	33.2	48.6	74.0
1979	18.4	19.8	27.3	40.2	80.4
1980	10.9	16.4	22.2	38.9	69.0
1981	21.7	23.4	23.8	37.5	75.0
NDAT	31	31	31	31	31
MED.	31.58	44.94	55.69	69.64	89.82
SQM.	16.85	25.66	33.18	39.49	41.79

TABELLA N.

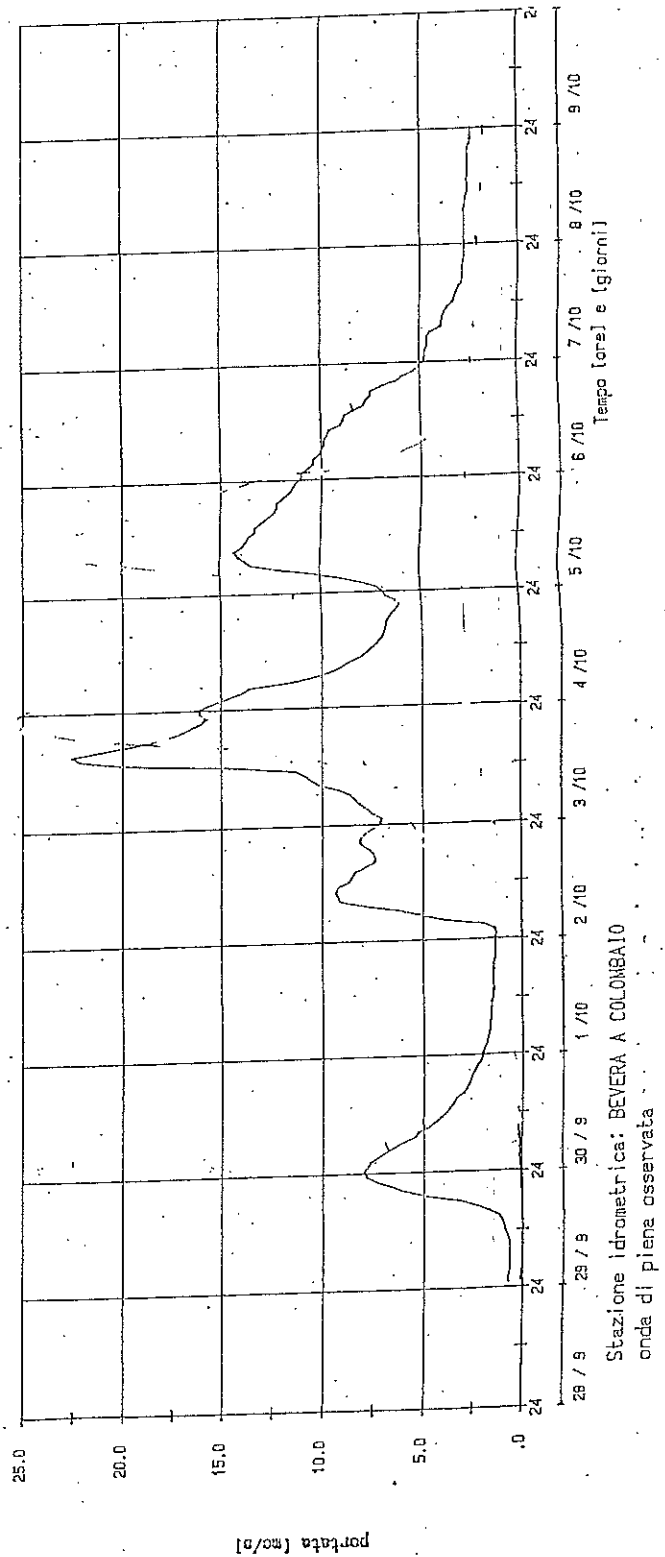
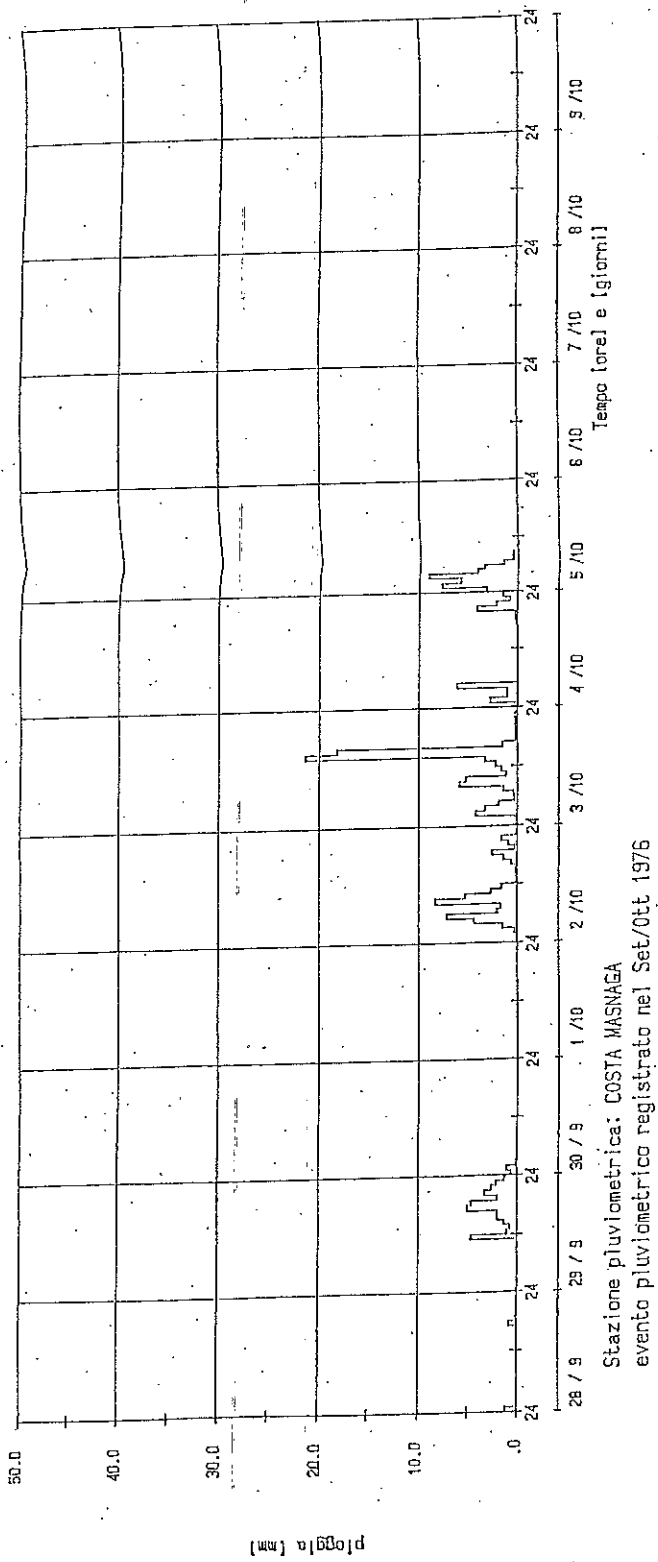
Stazione Pluviometrica del S.I.I.
1037 CARATE BRIANZA - (Quota: 255 m s.m.)

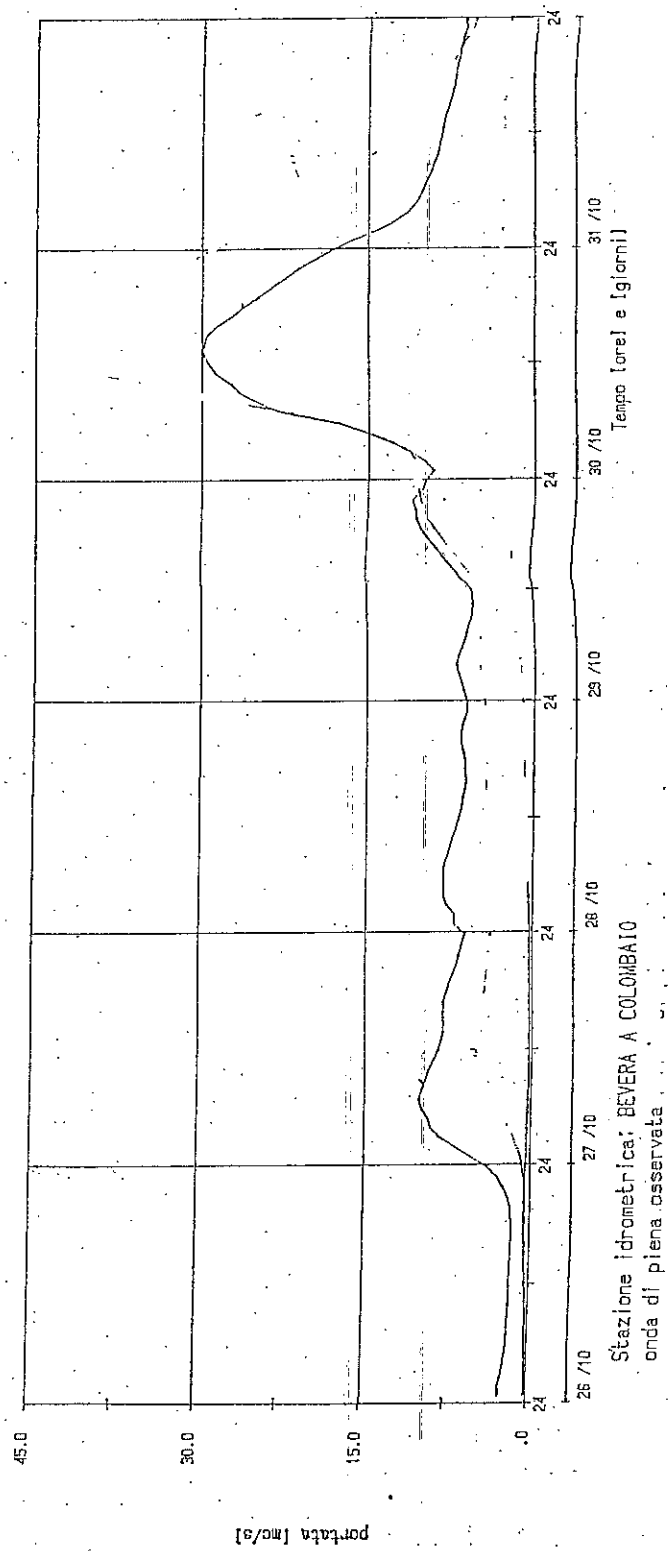
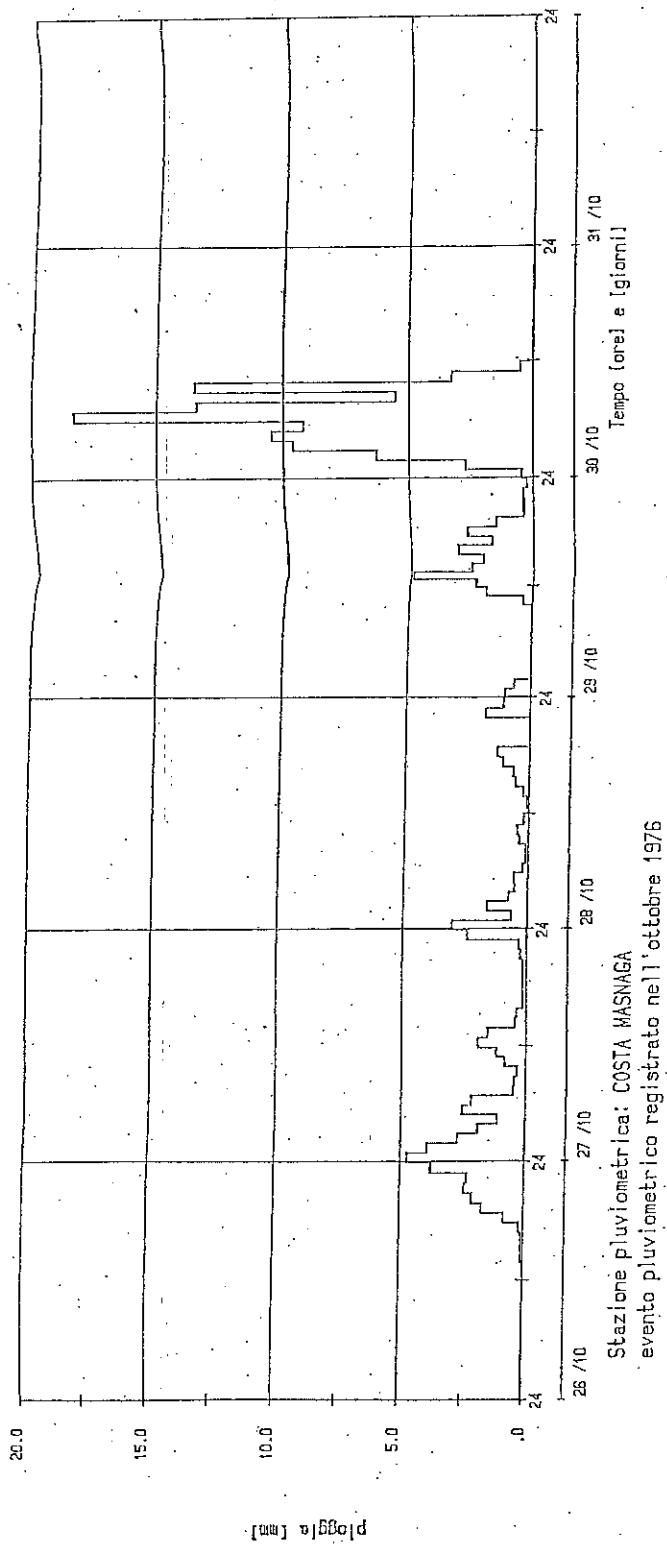
SERIE STORICA DEI MASSIMI ANNUALI DELLE PIOGGE (in mm) DELLA DURATA
1 ore, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore,

ANNO	1 ore	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1951	31.6	41.0	64.8	116.0	155.0
1952	21.2	29.2	32.0	40.0	70.0
1954	54.0	56.6	56.6	56.6	70.4
1956	28.0	37.4	37.4	61.6	73.0
1957	37.0	43.8	66.6	80.0	85.0
1958	57.0	58.0	58.0	70.8	70.8
1959	39.0	39.0	43.6	60.0	84.6
1960	48.8	94.6	109.0	141.0	150.0
1961	42.0	65.2	65.6	66.0	94.6
1962	37.4	67.4	110.0	123.0	127.0
1963	51.0	58.6	66.4	84.4	113.0
1967	36.0	44.0	68.0	93.0	103.6
1968	26.0	41.6	53.0	55.6	76.2
1971	25.0	37.0	40.0	58.0	71.2
1972	25.5	38.5	53.5	54.0	56.5
1973	24.1	27.2	34.4	59.8	70.6
1974	27.0	30.0	31.8	38.6	60.4
1975	23.2	25.4	29.2	46.1	63.0
1976	52.1	74.9	85.0	107.2	132.9
1977	17.2	19.0	25.9	35.0	70.0
1978	23.7	24.0	33.2	64.6	110.9
1979	10.0	19.6	28.2	41.1	82.3
1980	4.0	12.0	24.0	48.0	48.0
1981	30.9	46.1	59.8	73.5	79.4
1983	7.6	15.0	25.9	40.8	71.9
1984	37.7	53.8	54.1	56.2	95.2
NDAT	26	26	26	26	26
MED.	31.42	42.27	52.15	68.11	87.90
SQM.	14.11	19.79	23.65	27.75	28.23

ALLEGATO B

Eventi registrati alla Stazione S.I.I. di Colombaio





ALLEGATO C

Risultati simulazioni

Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

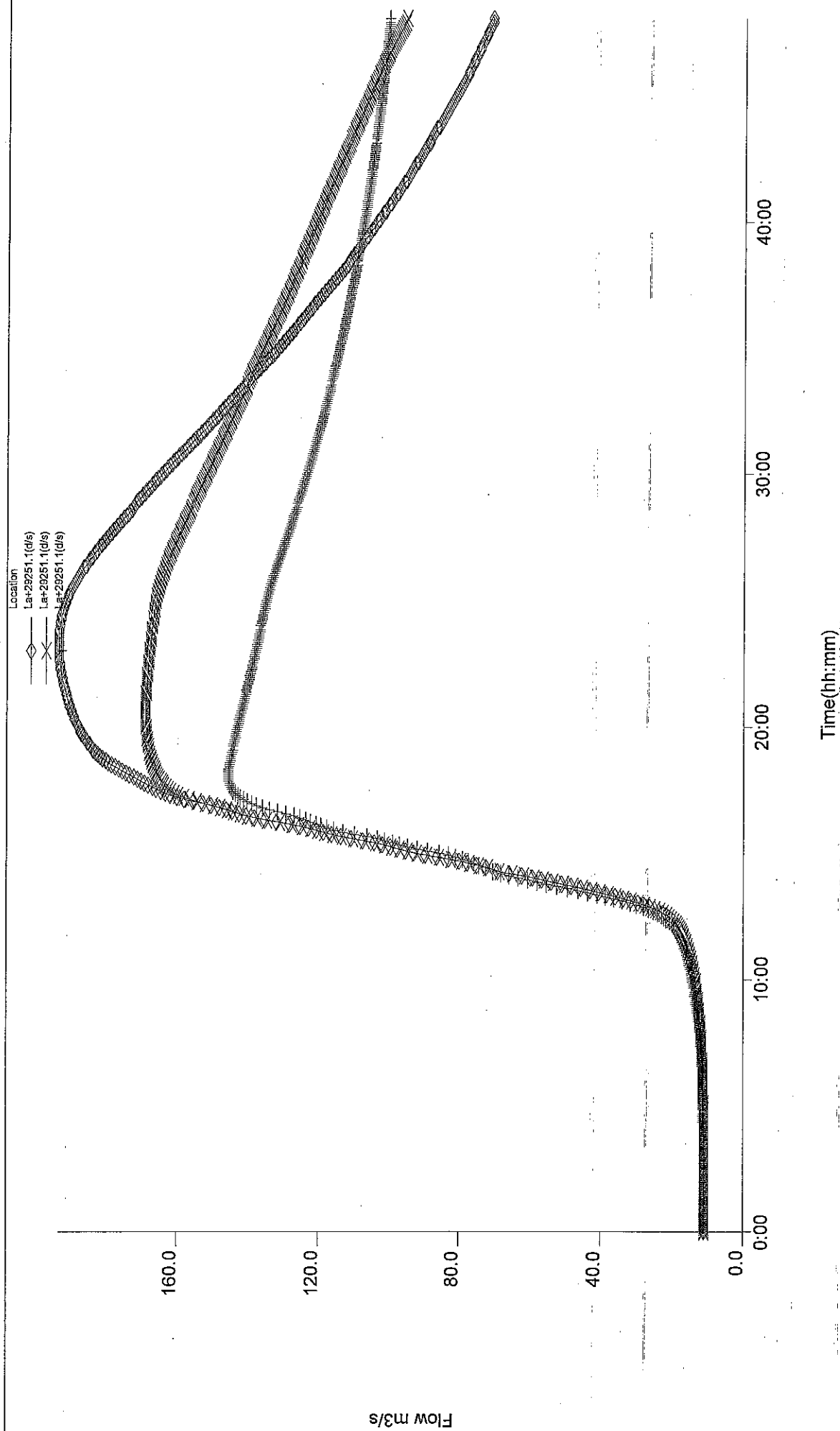
Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 100 anni

Confronto profili alla sezione di chiusura:

- senza esondazioni naturali
- con esondazioni naturali
- con interventi di progetto generale

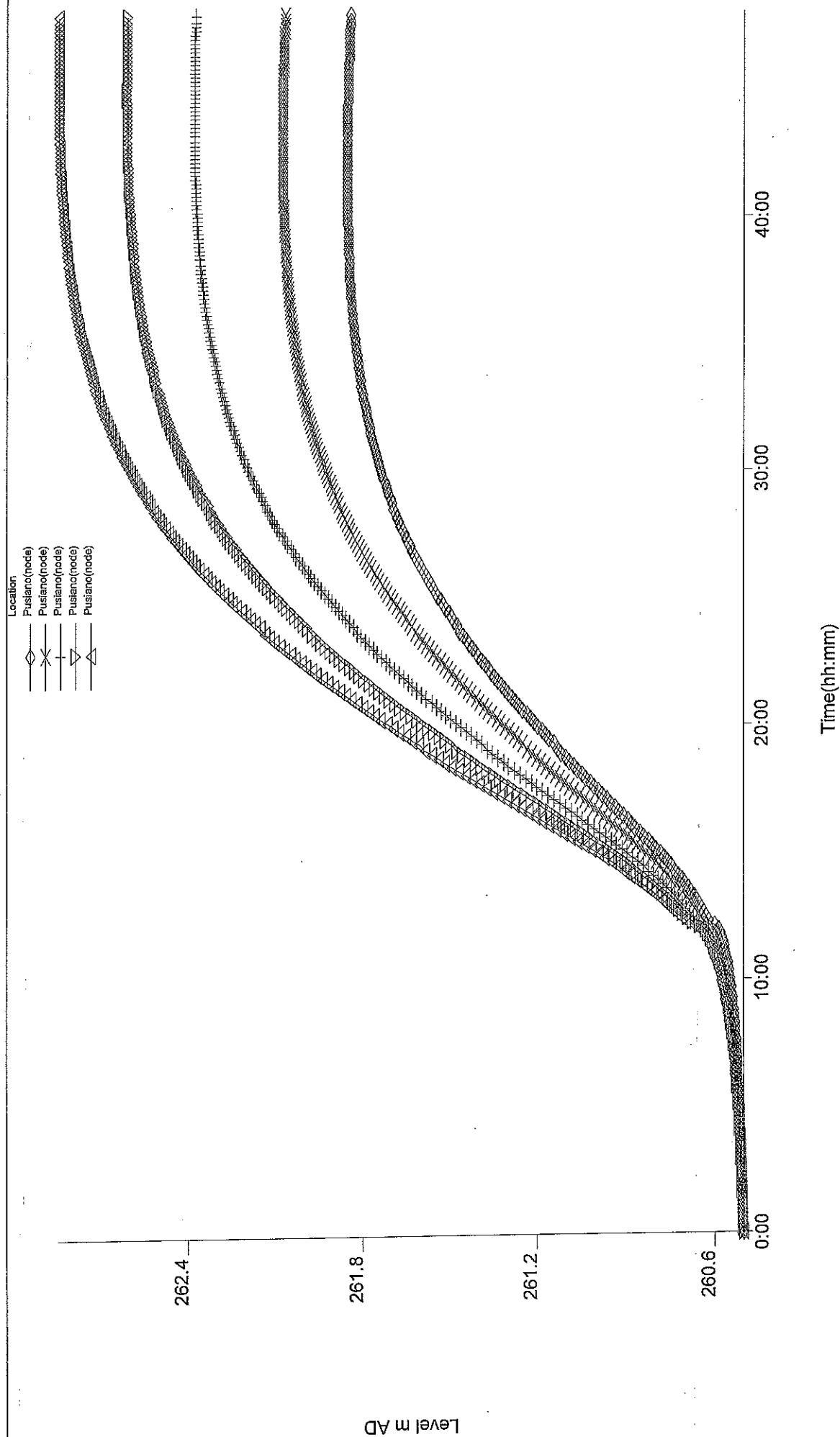


Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

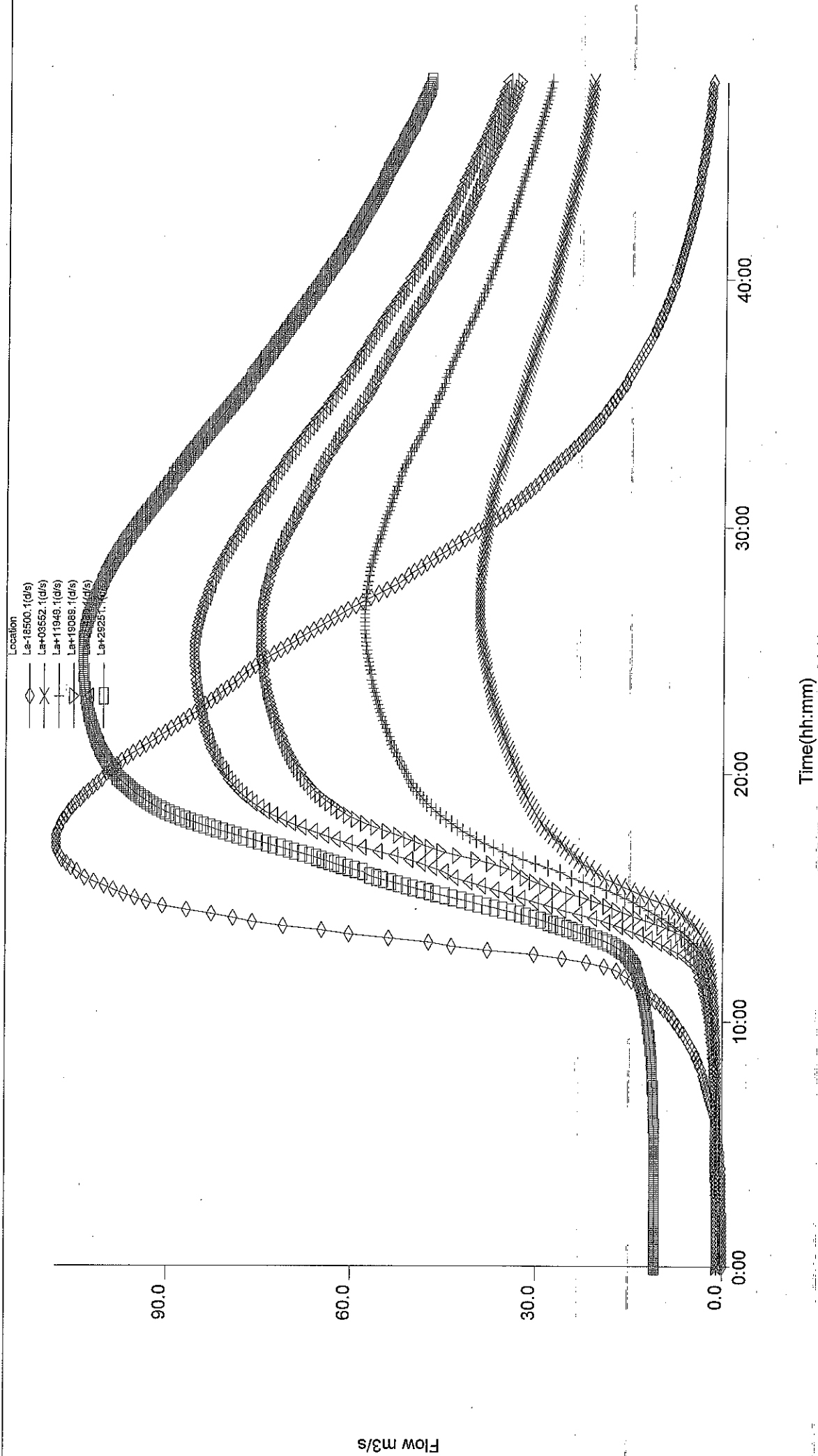
Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

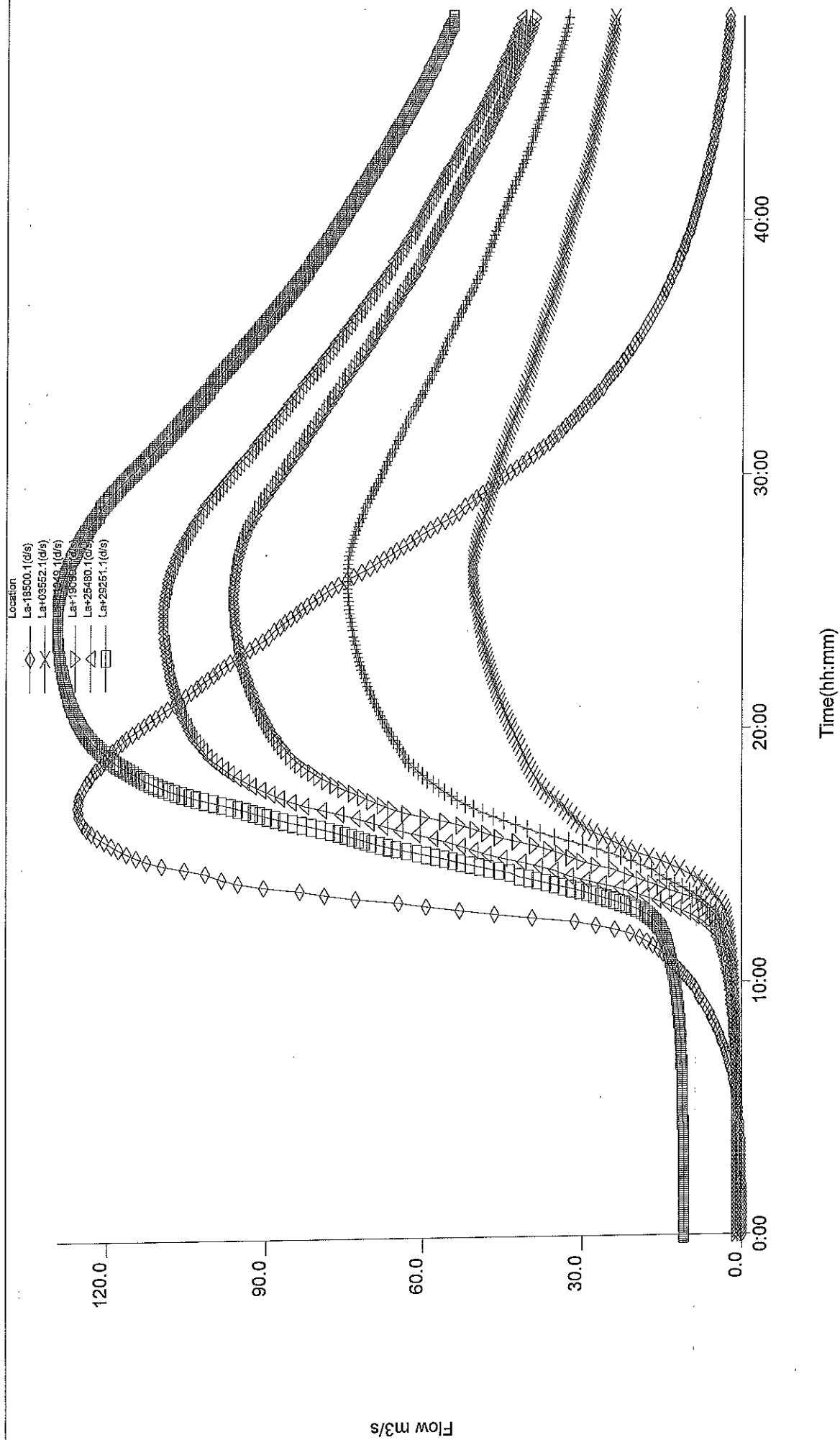
Confronto livelli lago di Pusiano per T = 10-200 anni



Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998
 Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..
 Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati
 T = 10 anni - Profilo attuale senza esondazioni naturali



Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998
 Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..
 Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati
 T = 20 anni - Profilo attuale senza esondazioni naturali

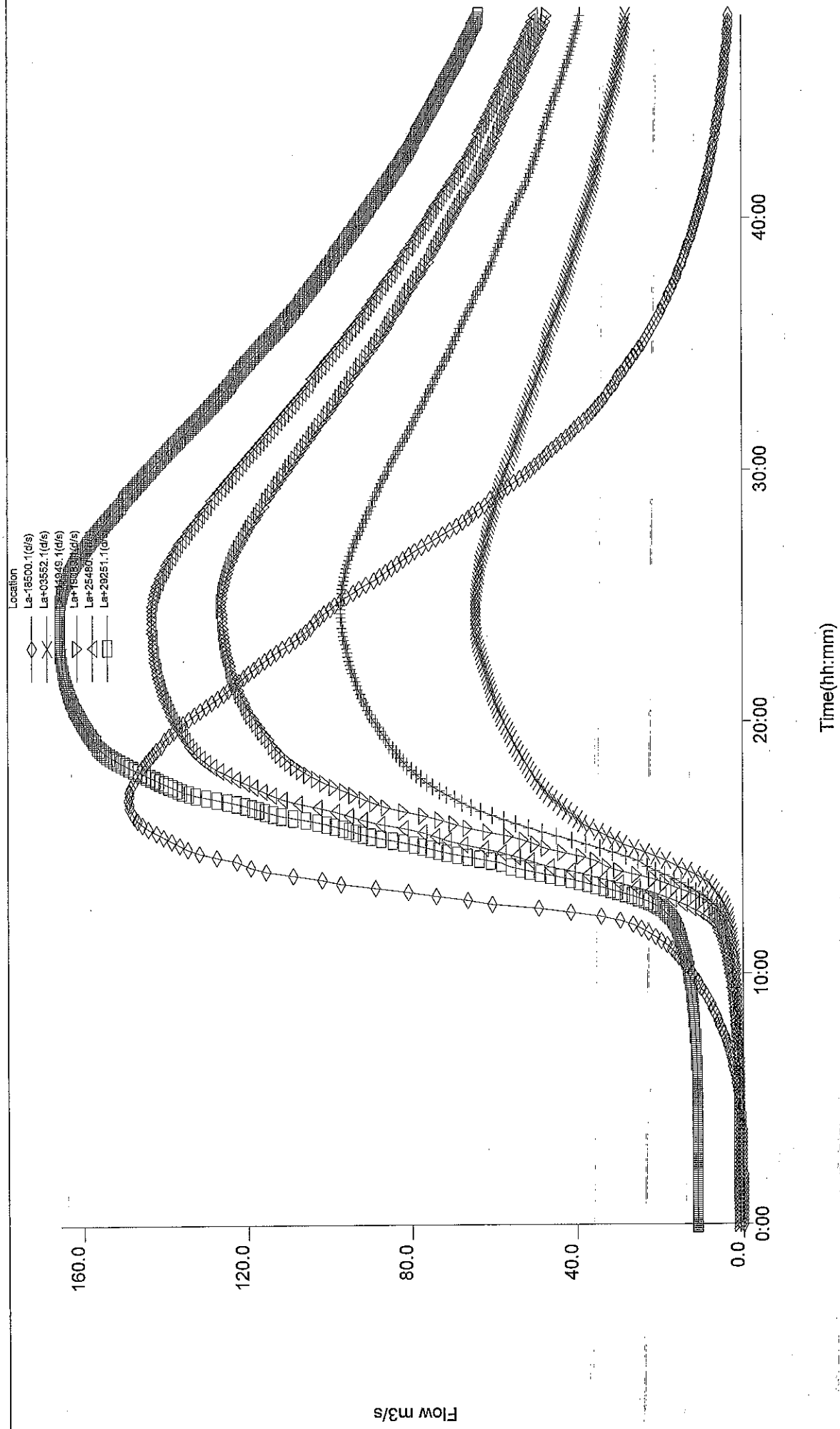


Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 50 anni - Profilo attuale senza esondazioni naturali



Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998
 Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..
 Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati
 T = 100 anni - Profilo attuale senza esondazioni naturali

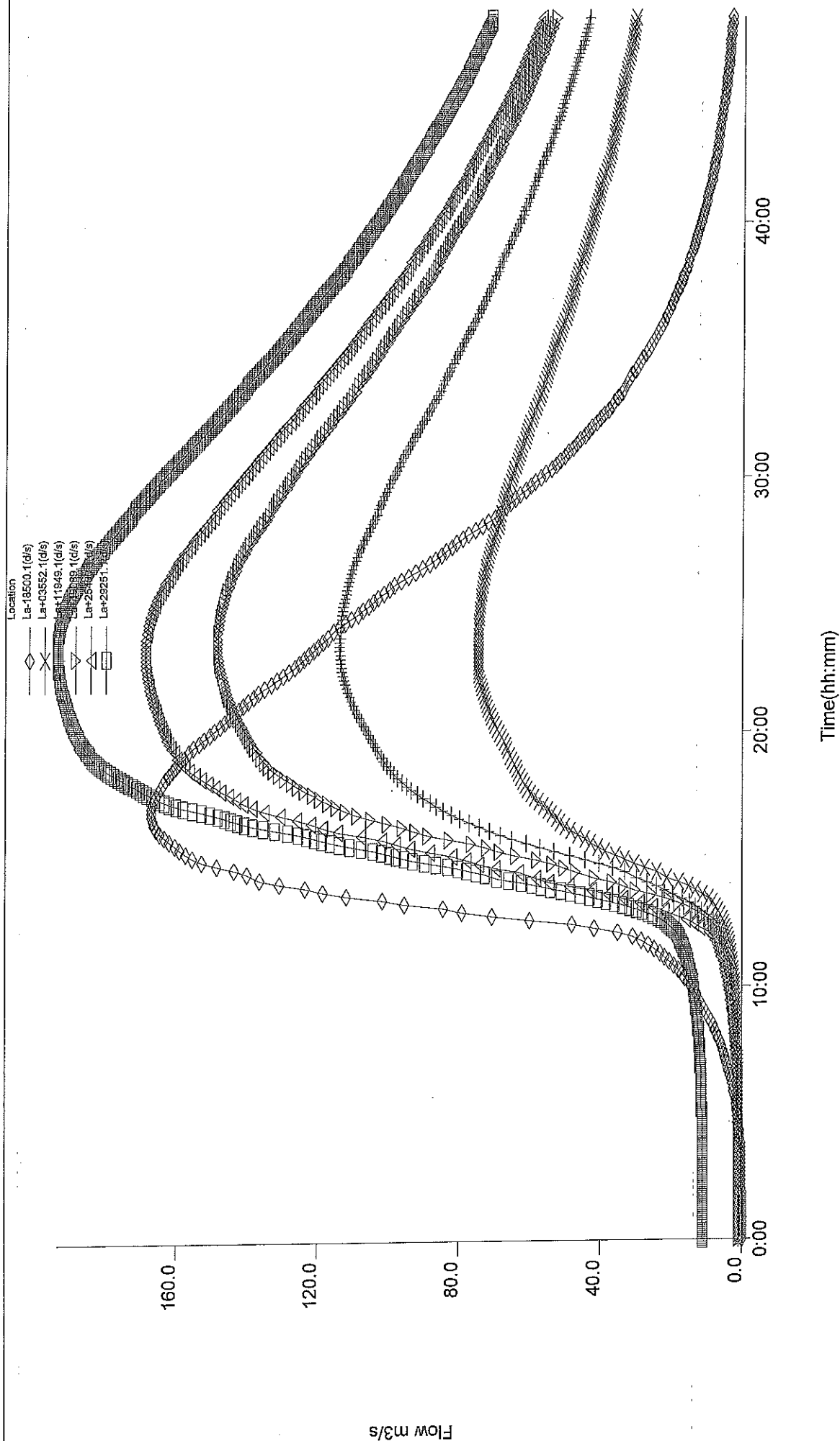
10/10/1998

10/10/1998

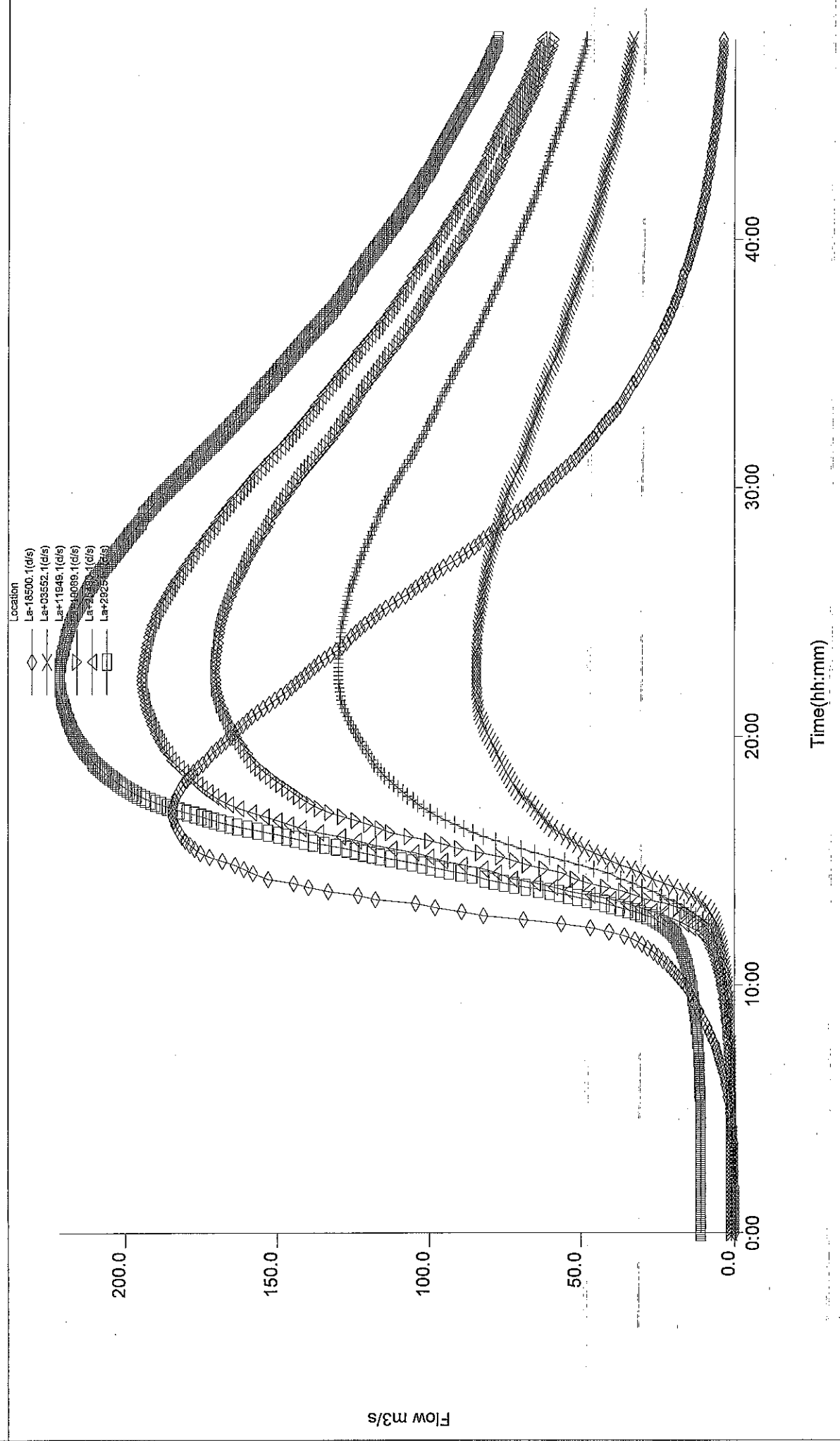
10/10/1998

10/10/1998

10/10/1998



Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998
Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..
Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati
T = 200 anni - Profilo attuale senza esondazioni naturali

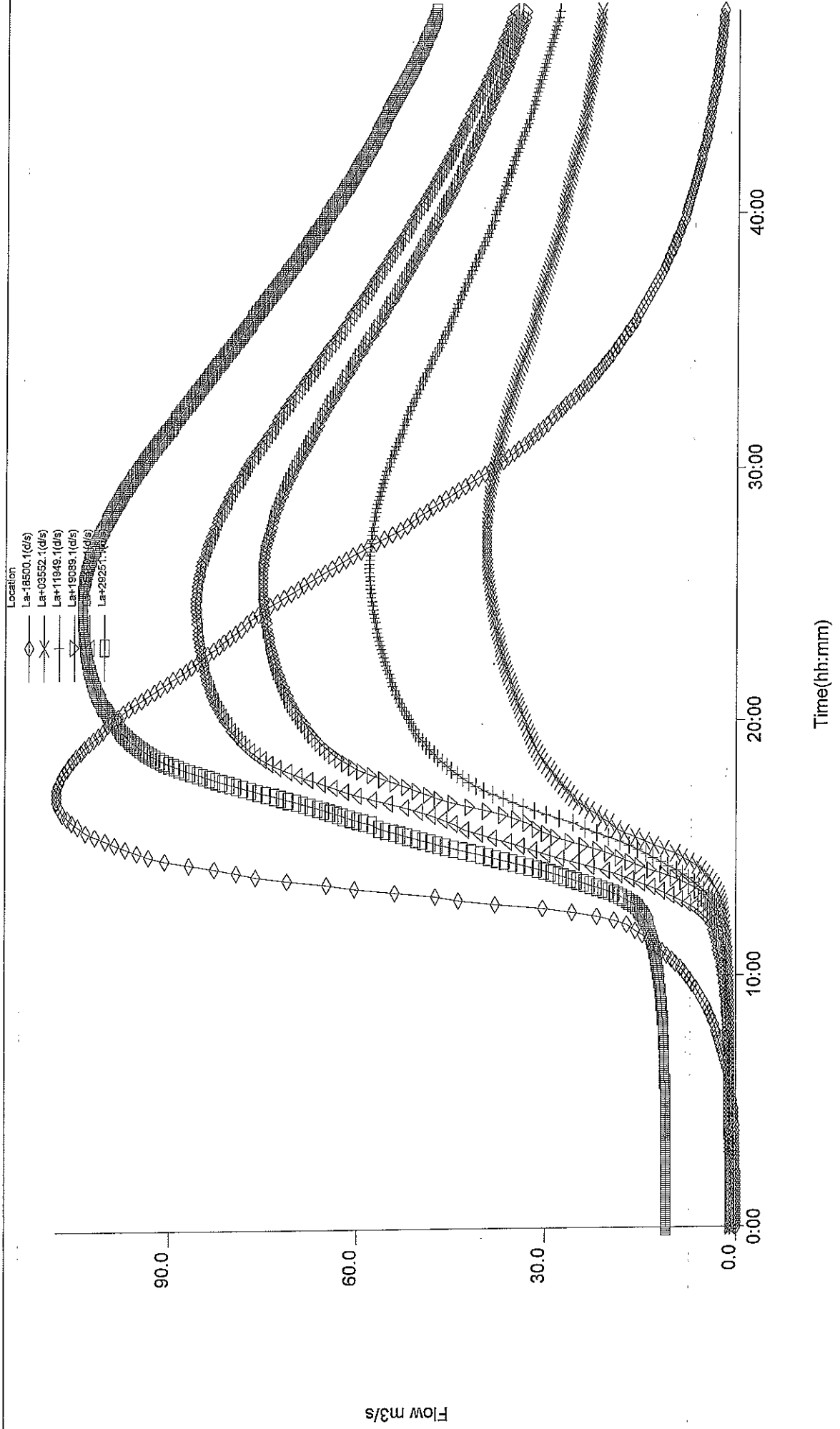


Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 10 anni - Profilo attuale con esondazioni naturali

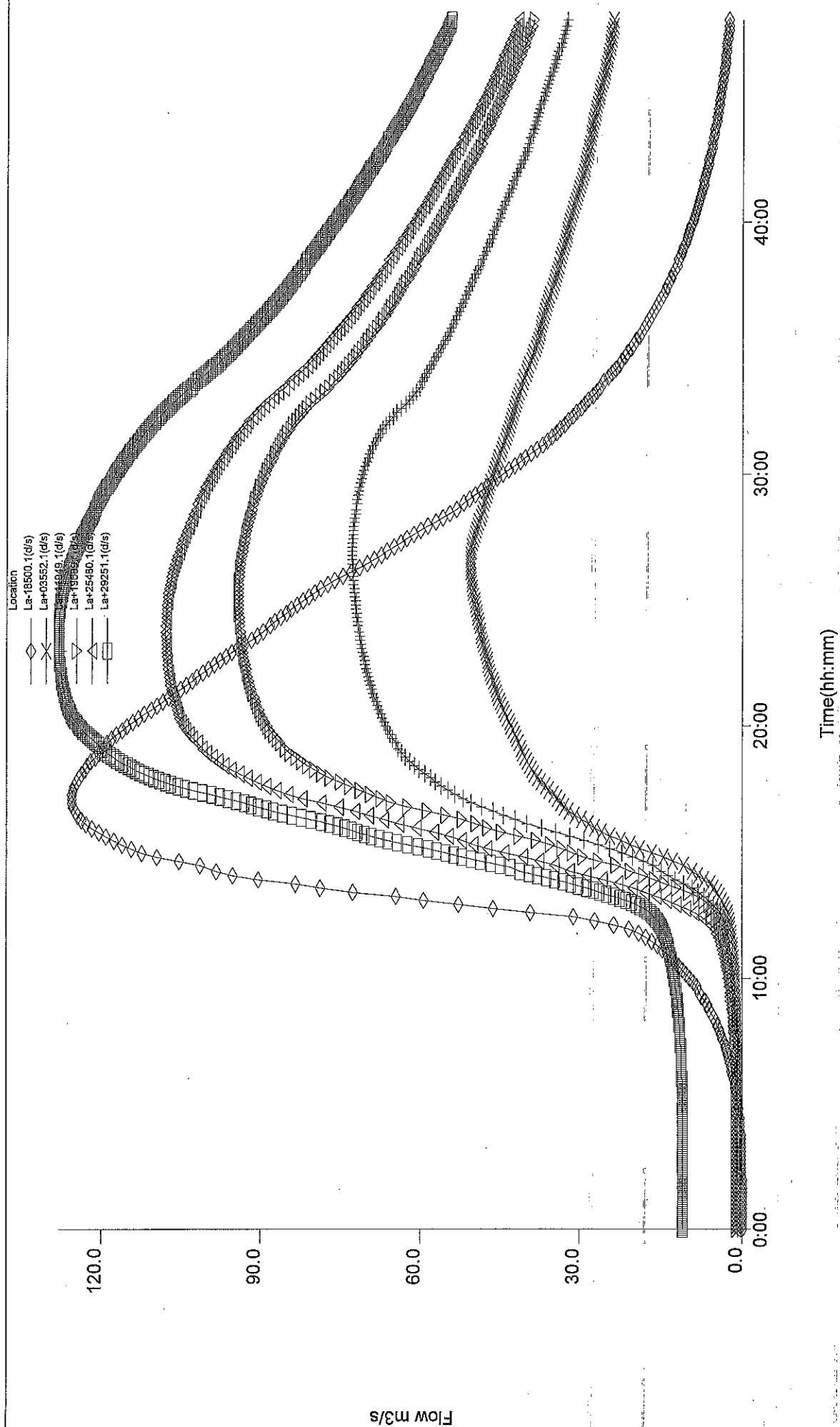


Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

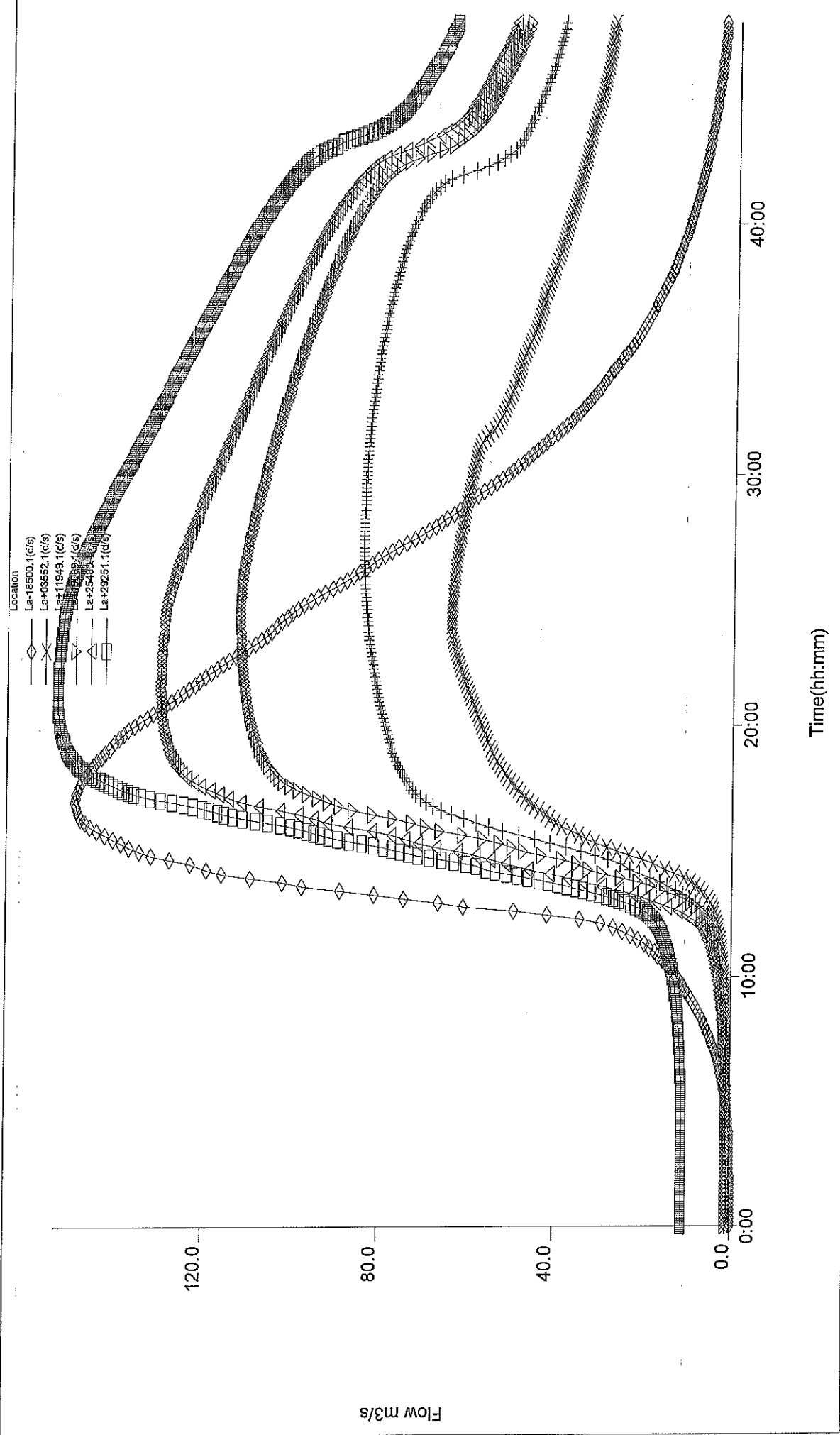
Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 20 anni - Profilo attuale con esondazioni naturali



Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998
 Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..
 Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati
 T = 50 anni - Profilo attuale con esondazioni naturali

Scale: 1:10000 (vertical), 1:10000 (horizontal)

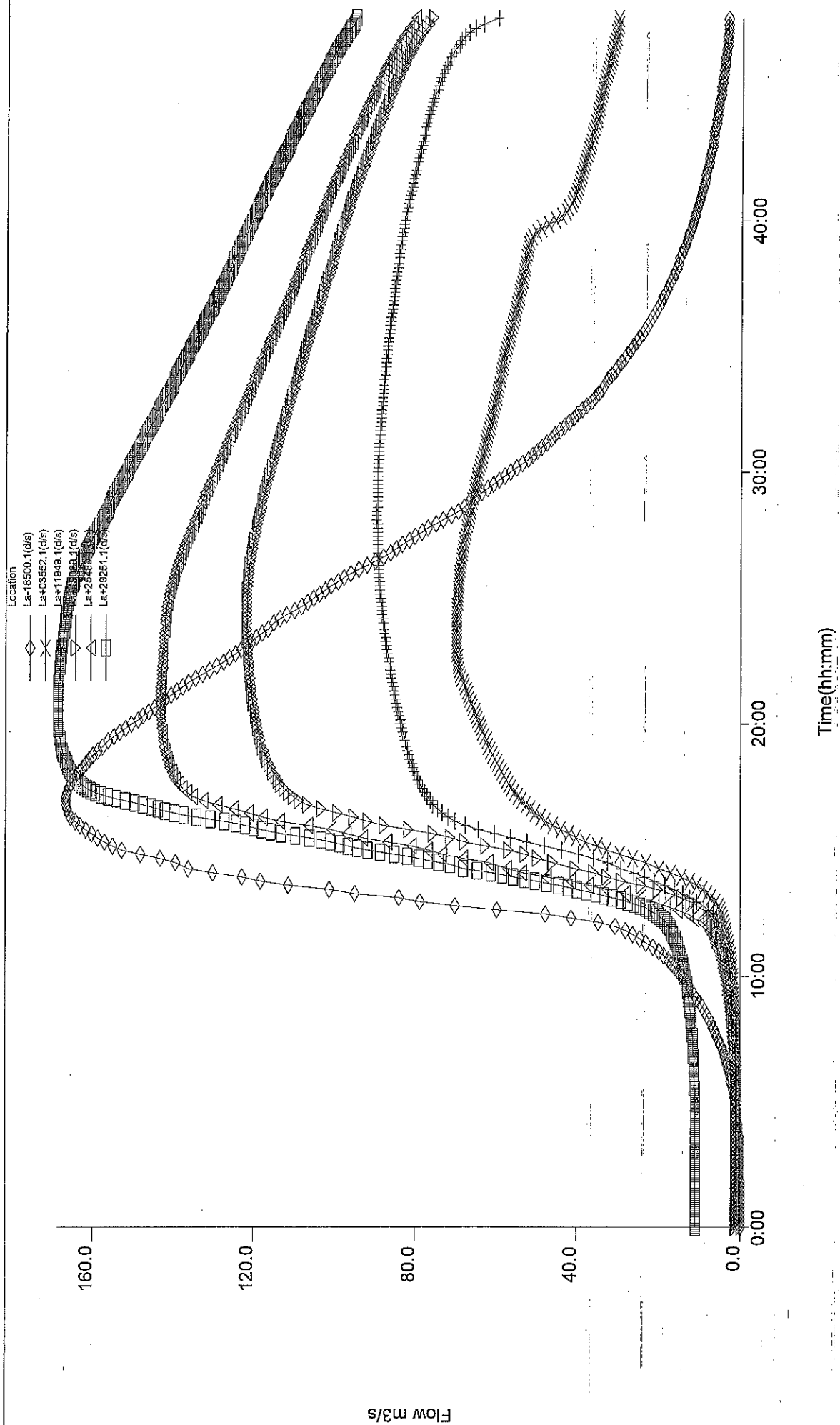


Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 100 anni - Profilo attuale con esondazioni naturali

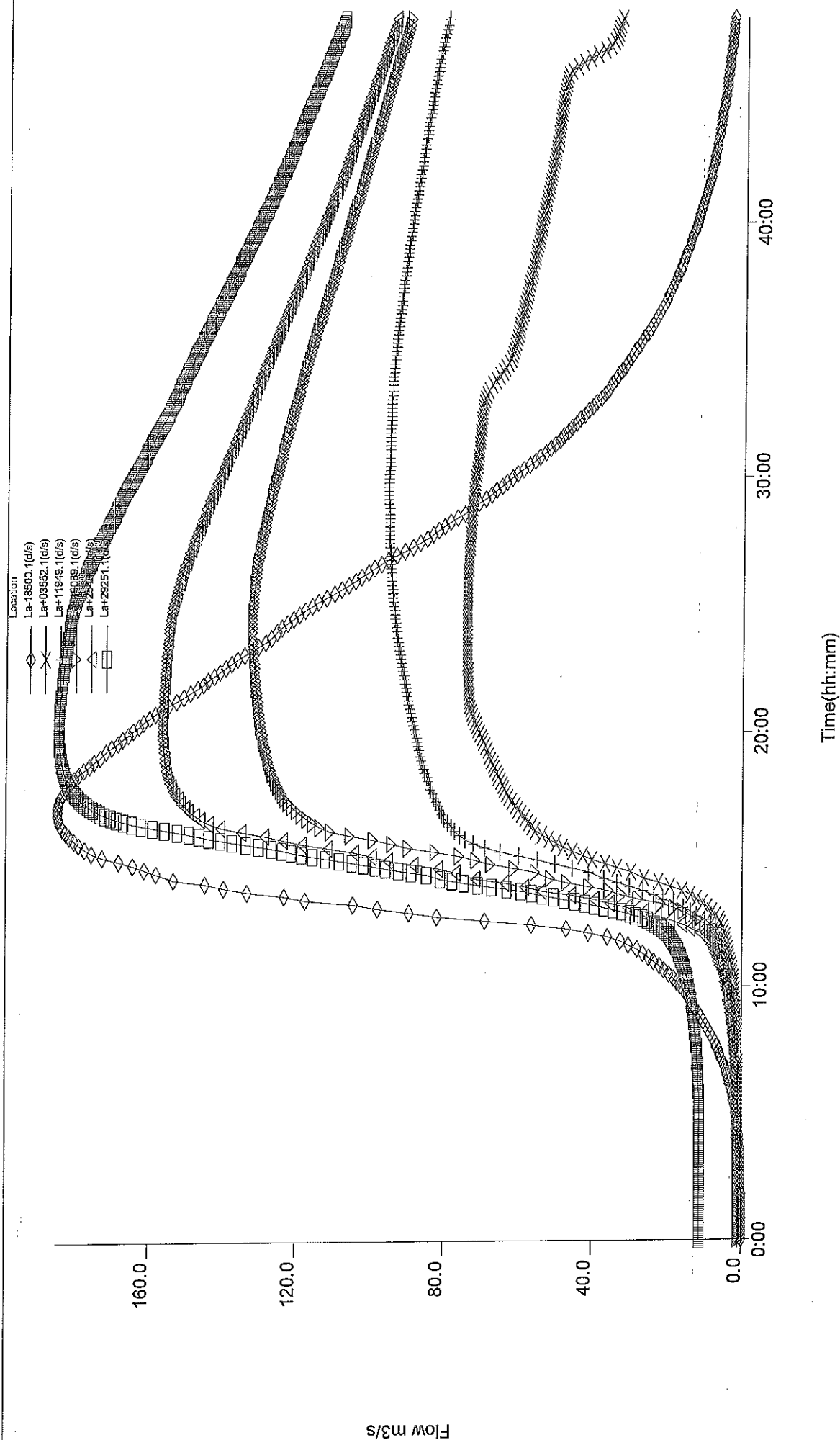


Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 200 anni - Profilo attuale con esondazioni naturali



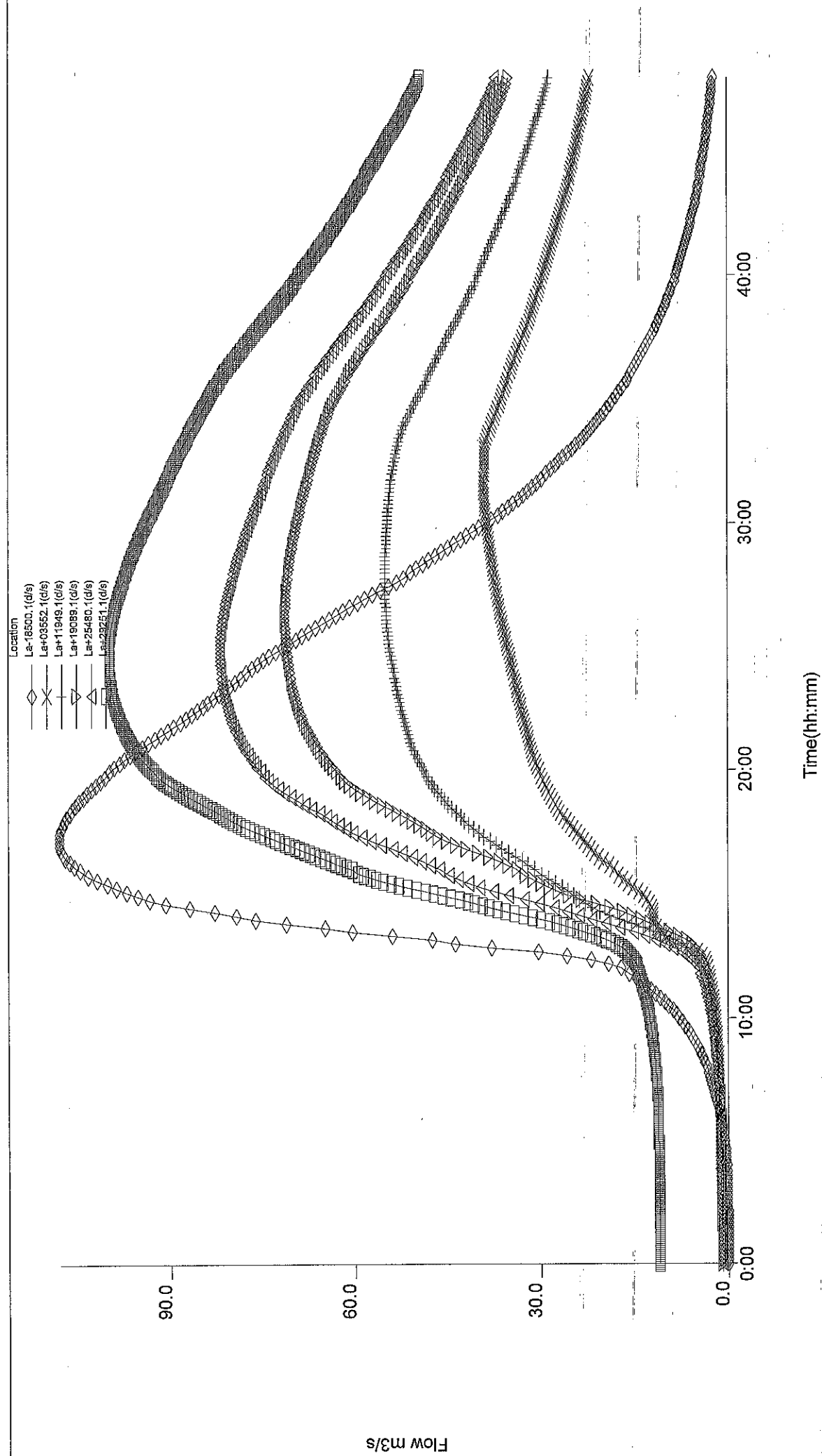
Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 10 anni - Profilo di progetto generale con:

- casse Molteno
- cassa Merone
- cassa Fornaci di Briosco
- regolazione zona Merone - Veduggio



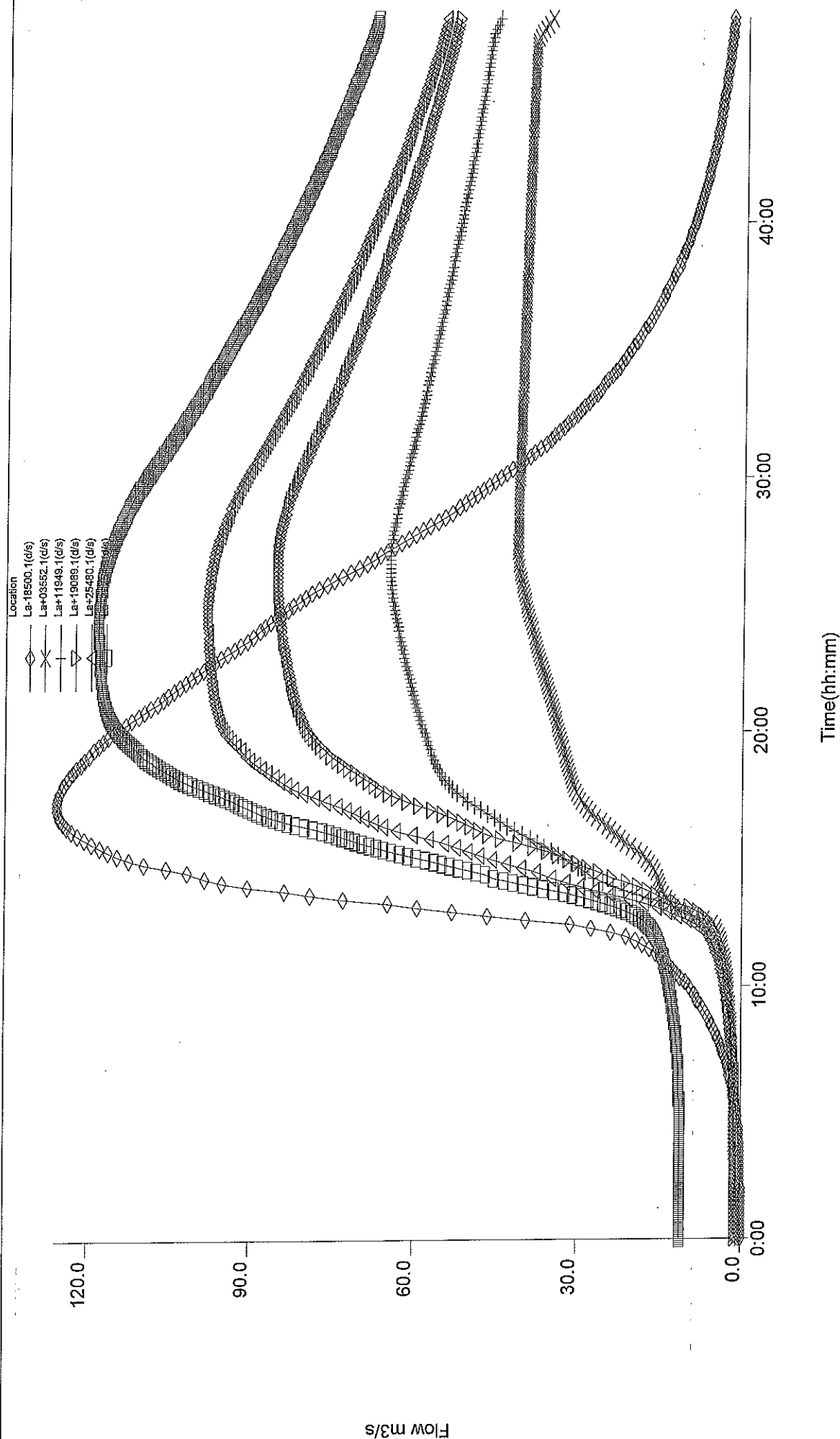
Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 20 anni - Profilo di progetto generale con:

- casse Molteno
- cassa Merone
- cassa Fornaci di Briosco
- regolazione zona Merone - Veduggio



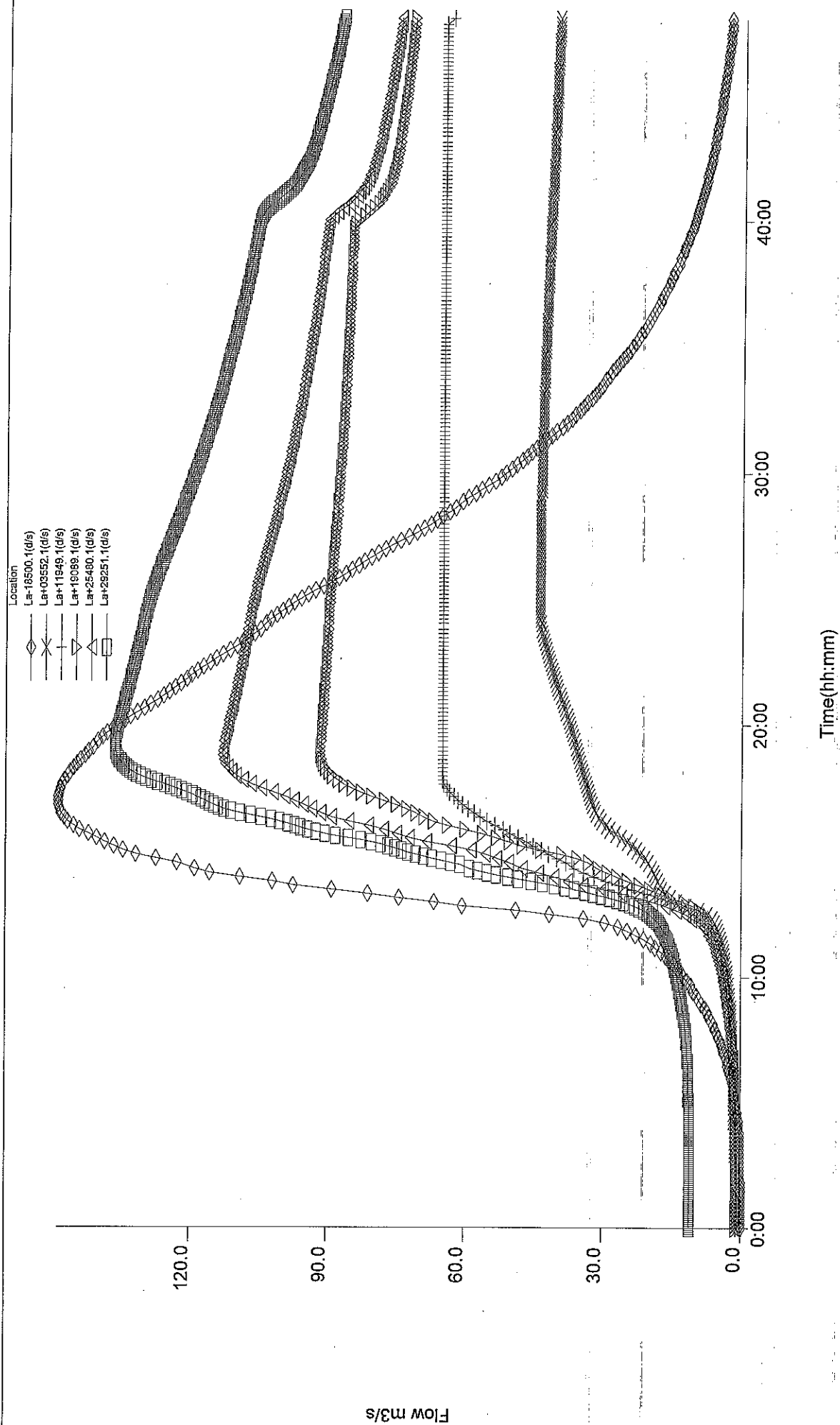
Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 50 anni - Profilo di progetto generale con:

- casse Molteno
- cassa Merone
- cassa Fornaci di Briosco
- regolazione zona Merone - Veduggio



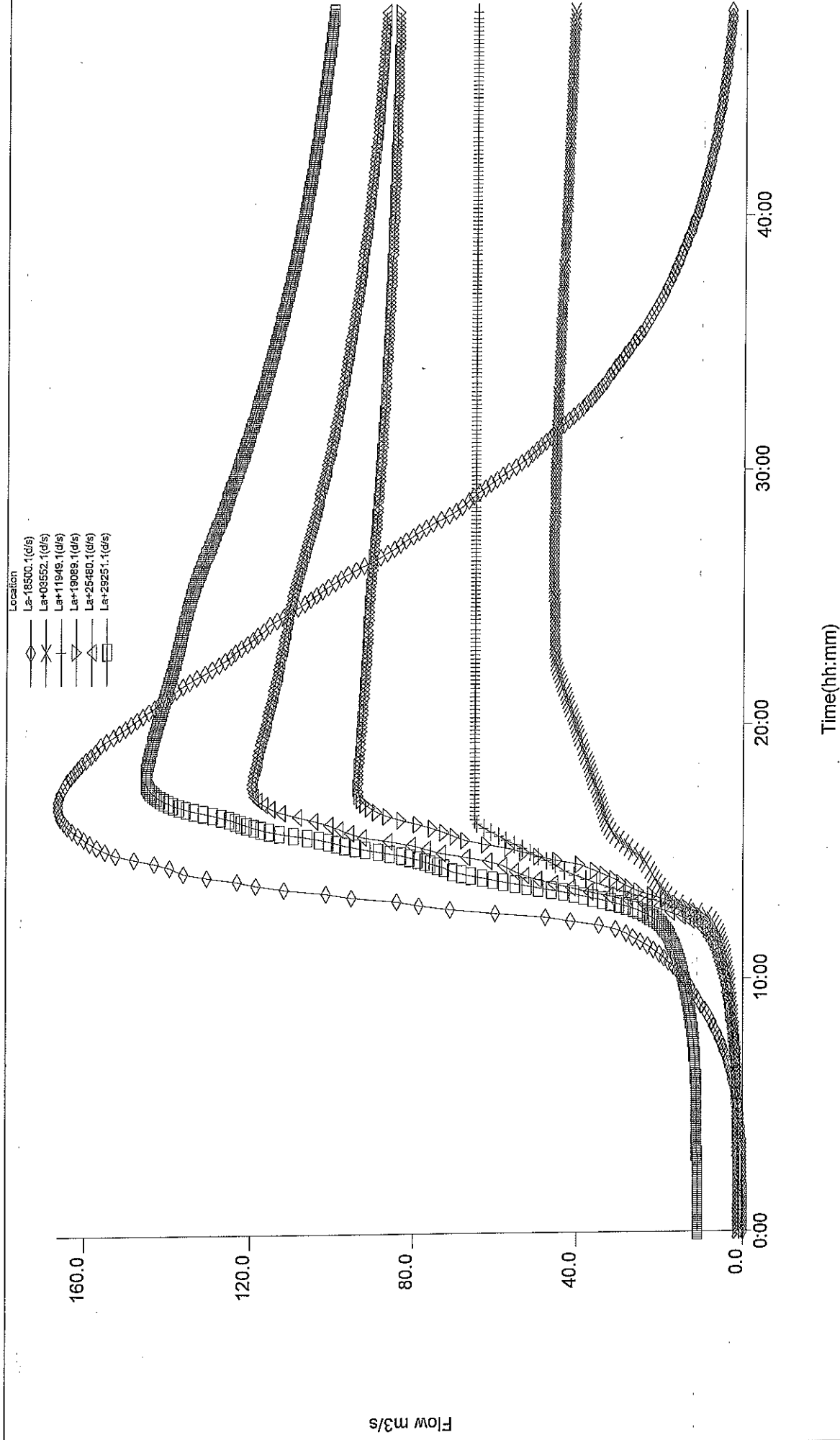
Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 100 anni - Profilo di progetto generale con:

- casse Molteno
- cassa Merone
- cassa Fornaci di Briosco
- regolazione zona Merone - Veduggio



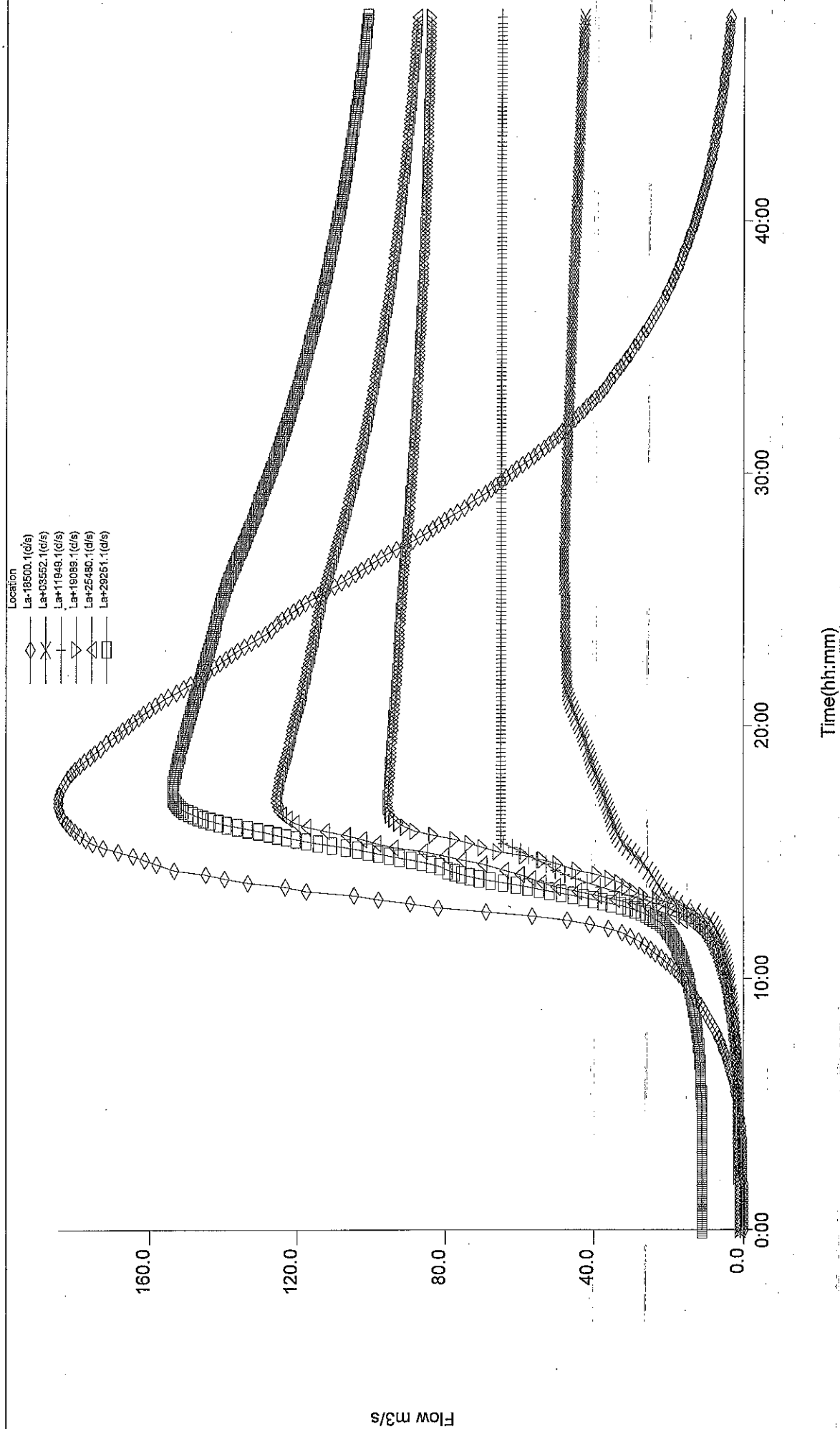
Project : Progetto Preliminare Generale Fiume Lambro - luglio 1998

Customer : Regione Lombardia - Servizio O.I.D.S..

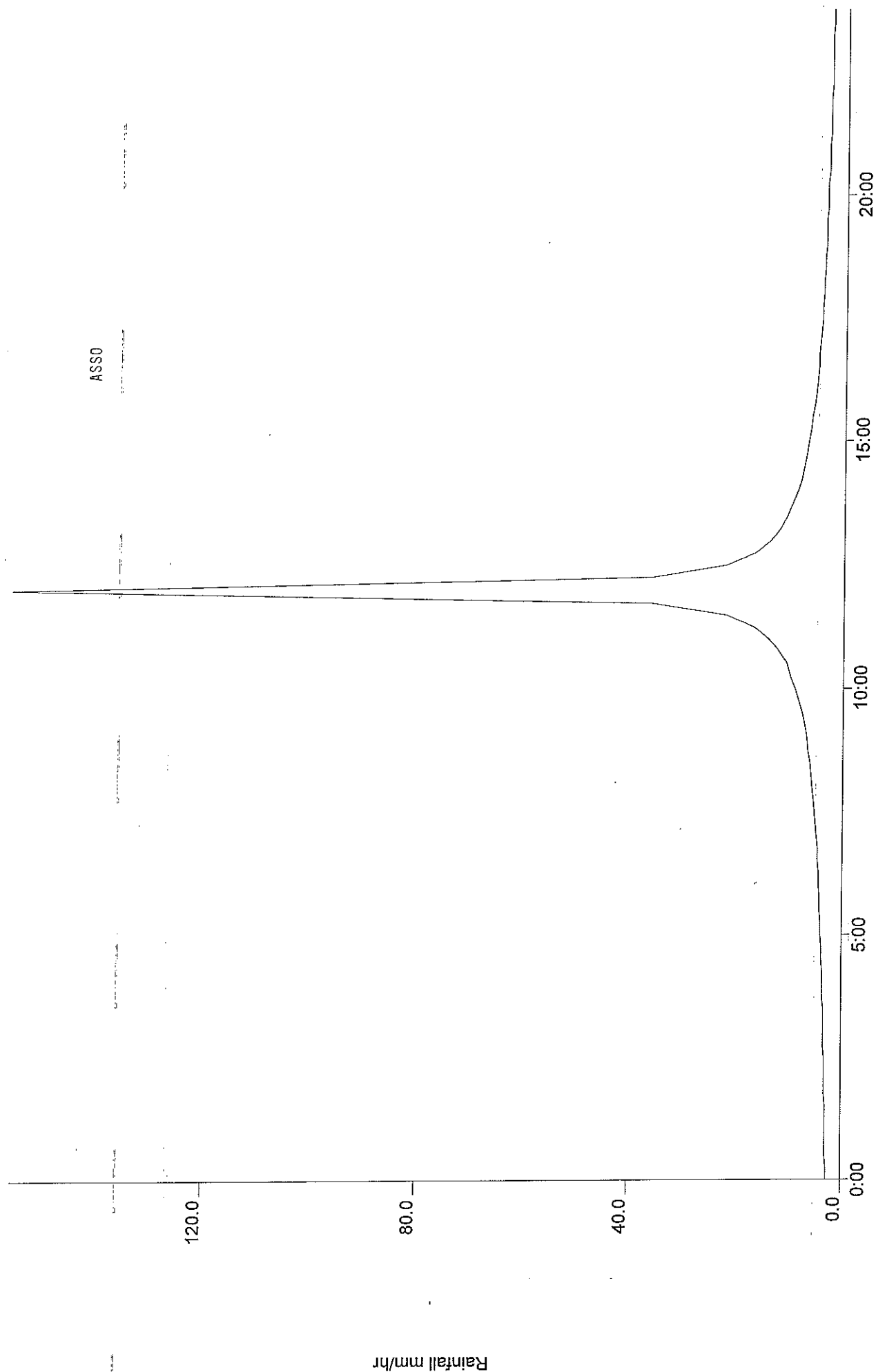
Contractor : Studio Paoletti Ingegneri Associati

T = 200 anni - Profilo di progetto generale con:

- casse Molteno
- cassa Merone
- cassa Fornaci di Briosco
- regolazione zona Merone - Veduggio



ASS0



200.0

150.0

100.0

50.0

0.0

0:00

5:00

10:00

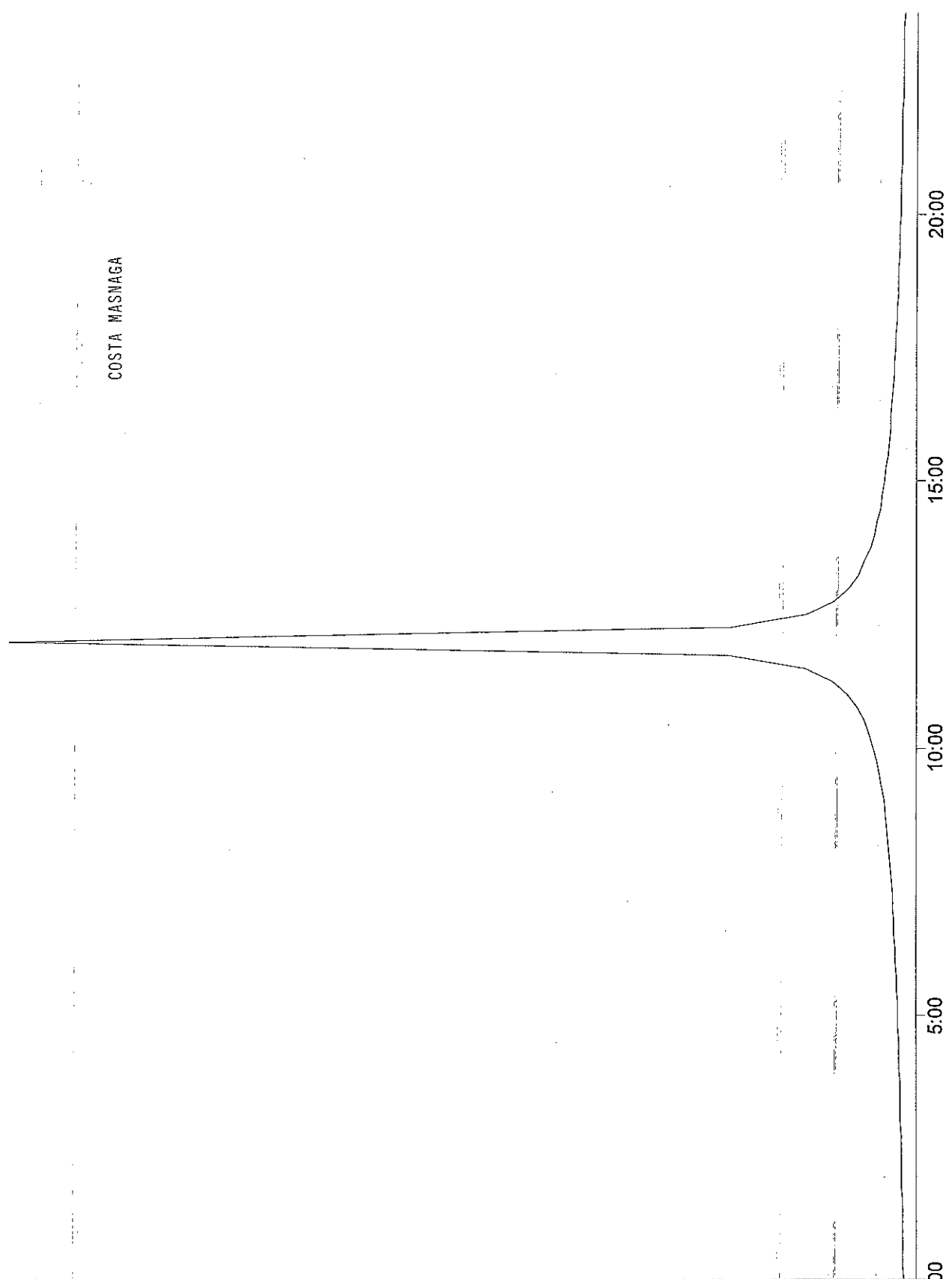
15:00

20:00

COSTA MASNAGA

Rainfall mm/hr

Time(hh:mm)



ALLEGATO D

Portate giornaliere a S.Giorgio

Tab. 1: Fiume Lambro. Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono). Portate medie giornaliere (m^3/s).
Anno 1984.

Giorno	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1	2,17	1,96	5,94	9,30	4,88	18,58	6,58	2,47	2,92	3,06	4,50	6,16
2	2,07	1,86	4,88	14,27	4,60	16,34	5,94	2,47	2,47	7,87	4,33	16,23
3	2,17	1,75	5,02	14,27	10,40	16,57	5,78	2,08	2,92	6,28	3,99	9,42
4	2,07	1,63	3,78	10,80	47,06	47,50	5,16	1,98	2,92	8,31	3,99	9,20
5	1,96	1,63	3,62	11,40	26,22	46,28	4,88	1,89	3,99	15,66	4,16	8,31
6	1,86	1,86	3,62	18,62	17,06	39,48	4,46	2,08	7,35	12,27	9,20	7,69
7	1,65	1,96	3,18	13,58	14,73	43,23	4,04	2,18	2,62	11,54	7,64	7,02
8	1,65	2,17	3,06	11,40	13,35	30,45	3,78	2,92	2,47	9,12	6,09	6,46
9	1,65	2,17	3,42	10,60	12,43	24,04	3,54	6,28	2,09	8,75	5,54	6,28
10	1,65	1,75	2,94	10,02	11,20	20,56	3,42	3,06	2,62	8,09	5,18	6,28
11	1,65	1,60	2,70	13,81	10,20	17,04	3,30	2,98	2,77	7,64	4,54	6,09
12	1,75	1,62	2,52	12,20	9,66	15,88	3,30	2,33	2,62	7,20	4,67	5,91
13	1,63	1,65	2,52	10,60	8,94	14,27	3,18	5,01	2,18	6,83	4,67	5,72
14	1,62	1,63	2,70	9,66	8,58	19,89	3,42	6,28	2,18	6,09	4,33	5,54
15	1,62	1,63	2,70	8,94	8,25	11,80	3,18	5,18	7,20	6,09	7,27	5,35
16	1,63	1,63	2,59	8,35	9,84	10,80	3,26	4,16	7,02	5,91	13,00	5,01
17	1,63	1,62	2,59	9,84	14,96	9,84	3,18	5,72	3,99	5,56	23,60	5,01
18	1,63	1,60	2,59	8,25	12,43	8,94	3,62	3,82	4,33	5,35	12,51	6,28
19	1,65	1,62	3,18	8,10	22,30	8,40	3,18	3,50	5,91	5,18	11,07	13,00
20	1,63	1,63	2,94	7,35	28,60	7,95	3,18	4,16	4,16	5,35	10,13	8,31
21	1,62	1,63	2,70	6,74	34,45	7,50	3,06	3,50	3,22	5,01	9,02	7,42
22	1,62	1,65	2,59	6,31	29,71	6,90	3,42	3,82	6,65	4,84	8,98	6,83
23	1,65	1,75	2,59	5,94	34,45	6,42	4,33	3,65	4,33	4,67	8,31	6,46
24	1,75	1,63	2,38	5,66	29,34	5,94	4,10	4,72	4,16	4,50	7,87	6,28
25	1,63	2,49	7,50	5,16	25,90	5,62	3,99	3,99	3,99	4,50	7,42	6,09
26	1,63	6,10	9,12	4,88	32,30	5,62	3,65	5,54	3,65	5,91	7,20	5,72
27	1,62	10,20	5,56	4,60	30,82	5,46	3,31	3,65	3,65	6,16	8,09	5,72
28	1,96	7,35	5,02	4,36	33,16	8,40	2,77	3,99	3,21	5,18	6,93	5,72
29	1,96	5,62	16,34	3,99	31,56	9,66	2,47	3,65	2,77	5,02	6,65	5,54
30	1,86		13,98	4,88	26,22	7,20	2,12	3,21	2,47	4,40	6,28	5,18
31	1,96		10,40		21,14		2,33	3,06		4,20		5,18
media	1,76	2,53	4,67	9,13	20,15	16,55	3,74	3,66	3,76	6,66	7,57	6,95
max	2,17	10,20	16,34	18,62	47,06	47,50	6,58	6,28	7,35	15,66	23,60	16,23

Tab. 2: Fiume Lambro. Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono). Portate medie giornaliere (m^3/s). Anno 1985.

Giorno	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1	5,18	6,83	9,19	9,65	4,84	7,42	3,35	1,78	1,59	1,39	1,16	2,32
2	5,01	7,20	24,41	9,42	5,01	9,19	3,35	2,18	1,59	1,39	1,12	2,08
3	4,67	9,19	35,80	8,97	5,35	7,42	3,06	1,49	1,78	1,29	1,12	1,98
4	4,33	10,60	17,10	8,53	4,50	11,54	2,91	1,59	1,69	1,29	1,08	1,78
5	4,16	10,12	20,08	8,53	4,33	15,36	2,91	1,59	1,59	1,29	1,12	1,78
6	3,65	9,89	23,60	11,54	4,84	10,36	3,06	6,27	1,59	1,20	1,16	1,69
7	3,35	9,65	38,84	12,50	12,50	9,65	2,91	3,20	1,59	1,20	1,12	1,59
8	3,50	9,65	24,41	15,36	29,32	9,65	2,76	1,78	1,59	1,20	1,12	1,59
9	3,65	9,65	19,48	15,36	20,43	7,64	2,91	1,59	1,49	2,91	1,12	2,08
10	3,65	10,36	17,39	13,96	14,78	6,83	3,35	1,49	1,39	1,98	1,08	3,06
11	3,50	10,60	15,36	13,48	12,99	6,46	2,91	1,39	1,29	1,49	1,08	3,20
12	3,82	9,89	14,21	15,65	12,26	6,09	2,91	1,49	1,29	1,39	1,29	2,62
13	3,65	9,42	13,72	13,48	29,32	5,90	2,76	1,49	1,29	1,29	4,84	2,18
14	3,50	9,19	12,26	12,50	27,27	5,53	2,62	1,59	2,91	1,12	2,47	2,08
15	3,35	8,53	11,54	12,02	19,48	5,35	2,47	1,59	1,78	1,16	1,69	2,08
16	3,50	8,08	12,26	10,83	17,39	5,01	3,35	1,78	10,12	1,12	1,59	1,98
17	3,65	7,86	11,78	10,36	15,36	4,84	3,99	2,32	3,20	1,12	1,59	1,98
18	3,65	8,08	10,36	9,89	13,96	5,01	2,91	1,59	2,18	1,12	1,39	1,88
19	3,65	7,86	9,65	9,42	12,99	4,67	2,76	1,39	1,98	1,12	1,39	1,88
20	3,65	7,20	9,19	8,75	16,23	6,83	2,62	1,29	1,88	1,08	2,08	1,88
21	3,82	7,01	10,12	8,08	19,48	5,18	3,50	1,29	1,78	1,08	4,16	1,78
22	5,18	6,83	20,78	7,64	15,36	5,35	2,62	1,39	1,69	1,08	5,90	1,78
23	8,75	6,64	17,99	7,20	13,72	5,18	2,47	1,39	1,59	1,08	13,09	1,78
24	11,07	6,64	13,23	6,83	12,75	4,50	2,32	5,72	1,59	1,04	8,08	1,78
25	9,42	6,46	11,78	6,46	11,54	4,16	2,32	1,98	1,59	1,04	5,01	1,06
26	7,86	7,01	11,54	6,09	10,60	4,16	2,18	4,50	1,49	1,04	3,99	3,35
27	7,20	7,64	13,72	5,90	9,65	3,99	2,08	3,62	1,49	1,08	3,20	2,91
28	7,42	7,86	14,21	5,72	9,19	4,16	2,08	1,98	1,49	1,08	2,76	3,82
29	7,42		11,54	5,35	8,75	3,65	1,88	1,88	1,49	1,04	2,47	7,01
30	7,01		10,60	5,18	10,83	3,50	2,62	1,78	1,39	1,20	2,47	6,09
31	6,83		10,12		8,31		1,78	1,69		1,78		7,20
media	5,13	8,43	16,01	9,82	13,33	6,49	2,77	2,13	1,98	1,28	2,72	2,59
max	11,07	10,60	38,84	15,65	29,32	15,36	3,99	6,27	10,12	2,91	13,09	7,20

Tab. 3: Fiume Lambro. Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono). Portate medie giornaliere (m^3/s). Anno 1986.

Giorno	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1	5,72	40,48	5,35	5,01	20,43	7,20	2,76	2,91	2,18	1,69	1,59	1,59
2	5,01	30,15	6,09	4,67	17,99	6,28	2,76	1,78	2,08	1,69	1,59	1,69
3	4,50	17,39	6,28	4,67	16,81	7,86	2,76	1,69	2,08	1,69	1,49	1,69
4	4,33	15,07	6,09	8,08	18,59	8,53	2,62	1,59	1,98	1,69	1,49	1,69
5	3,65	12,99	5,91	8,53	22,54	8,53	2,62	1,79	1,88	1,59	1,49	1,69
6	3,65	11,07	5,72	7,42	19,48	6,46	2,47	1,59	1,78	1,59	1,49	1,69
7	3,50	10,13	5,72	10,83	17,10	6,64	7,20	1,49	1,69	1,59	1,49	1,69
8	3,35	9,19	5,54	13,48	15,90	5,54	2,76	1,78	1,69	1,59	1,49	1,69
9	3,82	8,31	5,35	29,32	14,21	5,18	2,62	1,59	1,69	1,59	1,49	1,69
10	3,99	7,42	5,54	26,86	12,99	4,84	2,62	1,49	3,06	1,59	1,49	1,59
11	3,65	6,83	5,35	20,78	12,50	4,67	2,47	1,49	2,62	1,59	1,59	1,59
12	3,50	6,28	5,54	22,89	11,32	4,67	2,47	2,91	1,88	1,49	1,59	1,59
13	3,50	6,09	7,64	24,41	10,60	4,16	3,06	2,08	1,78	1,49	1,59	1,59
14	3,35	5,91	7,01	15,65	9,65	3,82	5,54	1,69	1,69	1,59	2,18	1,59
15	3,35	5,72	6,64	16,52	9,20	3,82	2,91	1,59	1,69	1,49	3,50	1,69
16	3,82	5,54	6,28	15,94	8,75	8,97	2,76	1,49	1,69	1,49	2,08	1,69
17	3,50	5,72	6,28	15,94	7,86	7,42	2,76	1,49	1,59	1,49	1,78	1,59
18	3,20	5,72	6,28	16,81	7,20	5,90	2,76	1,78	1,98	1,49	1,78	1,59
19	2,91	1,83	6,28	15,36	6,83	5,70	2,62	4,67	4,33	1,49	1,78	1,49
20	2,91	10,36	6,09	13,48	6,65	5,18	2,47	1,88	3,35	1,39	1,78	1,49
21	2,91	8,97	6,09	12,99	6,09	4,67	2,47	1,59	2,18	1,29	2,91	1,49
22	2,91	8,08	5,91	13,23	6,90	4,16	2,18	1,49	2,08	1,29	2,18	1,49
23	2,91	7,20	5,54	16,52	5,54	3,99	2,08	2,91	2,08	1,29	2,47	1,59
24	2,91	7,01	5,54	25,23	5,18	4,33	2,08	3,20	1,98	1,20	2,32	1,59
25	2,47	6,83	6,09	31,80	7,01	5,01	2,08	2,08	1,98	1,29	1,98	1,59
26	2,18	6,09	5,72	35,30	5,35	3,65	1,98	1,59	1,88	1,69	1,88	1,59
27	2,32	5,54	5,35	33,30	5,01	3,50	1,88	3,20	1,88	1,59	1,78	1,59
28	2,18	5,35	5,18	37,82	7,42	3,35	1,59	2,47	1,78	1,59	1,78	1,49
29	2,32		5,54	30,15	19,48	3,20	1,49	2,18	1,69	1,69	1,69	1,49
30	3,65		6,09	24,00	15,36	2,91	1,52	2,08	1,69	1,69	1,69	1,59
31	21,01		5,01		8,75		2,18	1,98		1,59		1,59
media	3,97	9,90	5,90	18,57	11,57	5,34	2,66	2,05	2,06	1,53	1,85	1,60
max	21,01	40,48	7,64	37,82	22,54	8,97	7,20	4,67	4,33	1,69	3,50	1,69
min	2,18	1,83	5,01	4,67	5,01	2,91	1,49	1,49	1,59	1,20	1,49	1,49
media anno	5,58											

Tab. 4: Fiume Lambro. Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono). Portate medie giornaliere (m³/s).
Anno 1987.

Giorno	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AUG	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1,59	1,61	5,19	5,02	3,60	6,00	5,18	3,75	4,39	2,00	6,65	7,01
2	1,49	1,61	5,34	4,86	3,46	5,67	4,86	3,46	4,07	2,00	6,32	6,49
3	1,49	1,61	5,56	5,18	4,07	5,34	4,86	3,18	3,75	1,90	6,00	6,16
4	1,39	1,61	5,34	5,50	9,64	5,67	4,39	3,18	3,60	1,90	5,57	6,09
5	1,29	1,61	5,18	6,00	5,67	5,02	4,23	3,04	3,75	2,76	5,50	8,90
6	1,29	1,71	5,02	7,21	5,34	4,86	4,07	2,90	6,00	6,00	5,34	18,90
7	1,29	1,71	4,86	6,16	4,70	4,54	3,91	2,76	3,46	3,32	5,02	12,65
8	1,20	1,80	4,70	6,16	4,23	5,02	3,65	2,62	2,90	2,76	4,84	10,06
9	1,20	1,71	4,39	7,81	3,91	6,49	4,07	2,76	2,90	2,62	4,39	9,01
10	1,29	2,20	4,39	31,35	3,75	5,83	3,32	2,34	2,90	2,34	4,39	8,40
11	1,29	9,22	4,23	14,74	3,60	5,67	2,90	2,34	2,76	11,40	4,23	7,81
12	1,39	19,55	4,23	11,90	4,07	5,50	2,76	2,76	2,76	14,70	4,23	7,41
13	1,49	18,33	4,07	10,69	8,20	5,18	2,62	2,34	2,62	8,60	4,23	6,82
14	1,49	8,60	3,91	9,64	4,54	5,34	2,62	1,90	2,10	6,49	4,07	6,65
15	1,39	6,65	3,91	8,80	3,91	5,34	2,48	1,71	1,90	12,15	3,75	6,49
16	1,88	10,82	3,75	8,20	4,23	6,32	4,86	1,51	1,90	20,86	3,60	6,16
17	1,88	17,20	3,60	7,61	3,46	5,50	4,70	1,22	1,90	15,81	3,60	6,00
18	1,78	15,27	3,46	7,01	11,65	5,34	5,83	1,15	1,71	17,20	3,46	5,67
19	1,69	18,90	3,46	6,16	30,94	5,83	8,20	0,97	1,71	14,20	3,18	5,34
20	1,59	15,81	3,32	5,83	16,92	6,49	7,81	0,84	1,80	12,90	3,04	5,02
21	1,59	13,66	3,18	5,67	13,94	5,34	8,40	0,84	2,00	11,90	2,90	4,70
22	1,69	9,85	3,04	5,34	12,40	5,02	7,61	0,72	2,34	11,15	2,62	4,70
23	1,69	7,67	2,75	5,02	10,90	4,84	6,82	0,91	2,76	12,15	2,76	4,70
24	1,59	6,82	2,76	4,70	10,06	4,70	6,32	15,81	2,62	11,40	10,27	4,54
25	1,59	6,49	2,76	4,54	8,80	4,54	5,83	25,58	2,62	10,90	21,52	4,39
26	1,59	6,00	3,04	4,23	8,40	9,01	6,00	6,32	2,20	9,85	11,15	4,23
27	1,59	5,50	2,90	4,13	9,01	7,01	5,02	5,50	2,10	9,01	8,60	4,07
28	1,59	5,34	5,83	3,91	9,85	5,83	4,70	4,86	2,00	8,20	7,41	3,91
29	1,59		6,82	3,91	9,22	5,50	4,39	3,91	1,90	8,00	8,00	3,91
30	1,69		5,34	3,75	7,41	5,34	5,02	4,59	2,10	8,00	7,21	3,91
31	1,59		5,02		6,55		4,39	4,39		7,21		3,91
media	1,52	7,82	4,24	7,37	7,95	5,60	4,90	3,88	2,72	8,70	5,80	6,58
max	1,88	19,55	6,82	31,35	30,94	9,01	8,40	25,58	6,00	20,86	21,52	18,90
min	1,20	1,61	2,75	3,75	3,46	4,54	2,48	0,72	1,71	1,90	2,62	3,91
media anno	5,59											

Tab. 5: Fiume Lambro. Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono). Portate medie giornaliere (m^3/s). Anno 1988.

Giorno	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1	3,75	11,65	5,34	7,61	4,07	8,07	8,56	1,53	1,64	1,12	5,12	2,96
2	3,46	11,65	5,18	4,54	4,07	6,02	9,07	1,42	3,26	1,03	4,82	10,95
3	3,18	10,69	5,02	3,75	6,82	4,64	6,67	1,42	2,39	1,12	4,64	5,41
4	3,18	10,06	5,84	3,46	5,67	4,09	6,45	2,12	1,87	1,32	4,27	3,75
5	3,18	9,85	5,02	3,46	6,16	45,42	5,21	1,53	1,87	1,42	4,09	3,26
6	3,75	10,27	4,84	3,91	5,34	33,00	4,64	1,32	1,87	1,42	3,75	2,96
7	5,67	19,88	4,54	10,90	5,02	22,89	4,27	1,32	1,76	1,53	3,58	2,52
8	4,39	16,08	4,23	10,27	5,18	16,57	3,92	1,22	1,64	1,32	3,42	2,39
9	3,91	13,93	3,91	6,49	5,34	13,31	3,92	1,22	1,53	1,22	3,26	2,39
10	3,75	12,40	3,75	7,21	5,50	11,81	3,75	1,12	1,53	1,22	3,11	2,25
11	3,75	11,40	3,75	6,65	6,82	10,12	3,42	1,03	1,42	2,25	2,96	2,12
12	3,75	12,15	3,60	7,61	5,67	11,23	3,26	0,94	1,32	17,26	2,81	2,12
13	3,75	10,90	3,46	14,46	5,67	10,39	4,09	0,94	1,53	19,42	2,81	2,25
14	8,80	9,64	3,60	9,85	5,67	9,32	3,11	0,94	1,53	20,93	2,52	2,25
15	36,36	9,22	3,60	7,81	10,90	9,85	7,12	0,94	1,53	26,63	2,25	2,12
16	15,00	8,80	3,46	7,01	11,15	8,07	3,75	0,94	1,42	15,89	2,00	2,00
17	10,48	8,60	3,46	6,65	13,15	8,31	2,96	0,86	1,32	12,70	2,00	1,87
18	9,64	8,20	3,32	6,49	10,69	18,69	2,66	0,78	1,22	11,23	2,00	2,00
19	9,01	7,81	3,18	6,00	25,58	8,31	2,39	0,78	1,22	14,25	2,00	1,87
20	9,43	7,41	3,18	5,50	28,20	6,90	2,12	0,98	1,32	14,89	1,87	1,87
21	11,15	7,41	2,76	5,34	14,25	6,67	2,12	0,86	1,42	13,00	1,87	1,76
22	13,40	7,41	3,60	5,02	11,52	6,02	2,00	2,81	1,42	10,67	1,64	1,76
23	10,27	7,61	2,62	4,70	8,81	5,41	1,87	1,76	1,32	9,59	1,53	1,76
24	9,01	6,82	2,34	4,54	6,02	9,59	3,11	1,32	1,32	8,56	1,53	1,64
25	9,43	6,32	2,20	4,23	5,01	18,69	3,26	1,22	1,22	8,31	1,42	1,53
26	9,64	5,83	2,00	4,23	4,09	7,83	1,76	1,03	1,12	7,59	1,42	1,53
27	9,22	5,67	1,90	4,07	3,75	7,35	1,64	1,32	1,22	7,12	1,42	1,53
28	9,64	5,83	2,48	4,07	13,62	7,12	1,53	1,32	1,22	6,67	1,32	1,53
29	19,88	5,67	2,30	4,07	11,23	6,67	1,53	1,53	1,22	6,02	1,42	1,53
30	17,49		2,76	3,91	14,57	5,82	1,87	2,39	1,22	5,41	1,53	1,42
31	12,90		9,22		8,31		1,53	1,76		5,40		1,42
media	9,04	9,63	3,76	6,13	8,96	11,61	3,66	1,31	1,53	8,27	2,61	2,47
max	36,36	19,88	9,22	14,46	28,20	45,42	9,07	2,81	3,26	26,63	5,12	10,95
min	3,18	5,67	1,90	3,46	3,75	4,09	1,53	0,78	1,12	1,03	1,32	1,42
media anno	5,75											

Tab. 6: Fiume Lambro. Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono). Portate medie giornaliere (m^3/s).
Anno 1989.

giorno	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1	1,42	1,12	6,45	2,12	14,25	2,52	2,96	2,81	1,76	1,12	1,53	1,12
2	1,32	1,03	5,61	2,12	12,40	2,66	3,75	2,39	2,12	1,12	1,53	1,12
3	1,42	1,03	5,61	2,25	10,67	3,42	3,11	2,25	2,39	1,12	2,05	1,12
4	1,42	1,03	5,01	8,81	9,59	6,67	10,39	2,12	3,11	1,03	3,58	1,12
5	1,42	1,03	4,45	52,94	7,56	7,83	7,83	2,00	2,81	1,03	2,25	1,12
6	1,53	1,03	3,92	20,17	7,59	4,82	4,09	2,52	2,12	1,03	4,09	1,12
7	1,42	1,03	3,58	16,57	6,02	3,42	3,42	2,12	1,76	1,03	3,42	1,12
8	1,42	1,03	3,42	17,26	5,82	2,96	10,12	2,12	1,32	1,12	2,52	1,12
9	1,42	1,03	3,11	38,97	5,21	2,66	4,45	2,52	0,86	1,03	2,39	1,03
10	1,42	1,03	2,81	19,42	4,82	2,39	4,82	2,25	0,78	0,78	2,39	1,03
11	1,42	0,94	2,66	15,89	4,45	2,12	6,45	3,42	2,00	0,70	2,12	1,03
12	1,42	0,94	2,52	14,89	4,45	2,00	6,90	2,25	4,09	0,70	2,00	1,03
13	1,42	0,94	2,39	42,67	8,56	2,12	4,27	2,25	3,75	0,70	1,87	1,03
14	1,42	1,03	2,39	32,52	13,00	2,12	3,75	2,00	4,82	0,70	1,76	1,03
15	1,32	1,03	2,25	20,93	6,90	2,00	3,26	2,25	3,42	0,63	1,64	1,12
16	1,32	1,03	2,12	16,23	5,61	1,87	2,96	1,87	3,11	0,56	1,76	1,22
17	1,42	1,03	2,66	22,10	5,21	1,76	2,66	2,25	2,96	0,49	1,64	1,42
18	1,32	0,94	2,81	17,97	4,64	1,64	2,39	2,00	2,52	0,49	1,64	1,53
19	1,32	0,94	2,96	15,55	4,45	1,76	2,12	3,11	2,12	0,70	1,53	2,39
20	1,32	0,94	2,66	19,79	4,45	7,35	2,00	2,52	2,00	1,03	1,42	2,12
21	1,42	1,03	4,45	33,00	3,75	1,42	1,87	2,12	1,87	1,03	1,42	2,00
22	1,42	1,03	3,42	37,94	3,42	3,26	1,76	2,12	1,87	1,03	1,53	2,25
23	1,42	2,00	2,96	24,94	5,82	33,00	1,76	3,26	1,87	1,12	1,42	3,26
24	1,32	8,07	2,66	19,05	3,75	4,64	1,87	2,39	2,12	1,32	1,32	2,25
25	1,32	15,55	2,52	16,91	3,11	2,81	6,02	2,12	2,96	1,32	1,32	2,12
26	1,22	22,49	2,25	23,29	3,11	3,26	7,59	2,25	3,42	1,32	1,22	2,12
27	1,32	9,59	2,25	30,65	3,11	10,67	6,45	2,25	2,00	1,22	1,22	2,00
28	1,32	7,35	2,25	25,78	2,39	7,83	4,45	2,12	1,53	1,22	1,32	2,00
29	1,22		2,12	20,55	3,11	5,82	3,11	1,87	1,32	1,42	1,22	1,87
30	1,03		2,12	17,26	2,81	4,45	2,96	1,64	1,32	1,42	1,12	1,87
31	1,12		2,12		2,39		3,42	1,53		1,53		1,76
media	1,36	3,12	3,18	21,62	5,88	4,71	4,29	2,28	2,34	1,00	1,87	1,56
max	1,53	22,49	6,45	52,94	14,25	33,00	10,39	3,42	4,82	1,53	4,09	3,26
min	1,03	0,94	2,12	2,12	2,39	1,42	1,76	1,53	0,78	0,49	1,12	1,03
media anno	4,43											

Tab. 1: Fiume Lambro. Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono). Portate medie giornaliere (m³/s).
Anno 1990.

giorno	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1	1,71	2,52	1,42	1,12	3,75	1,53	5,82	0,15	1,03	0,43	4,64	5,61
2	1,71	2,39	1,32	1,12	3,42	1,42	7,35	0,15	0,94	0,43	4,09	4,82
3	1,71	2,39	1,32	2,01	2,26	1,64	14,25	0,15	0,86	0,37	8,81	4,64
4	1,64	2,25	1,22	5,61	2,81	1,42	12,41	0,11	0,86	1,12	5,21	4,45
5	1,64	2,12	1,42	2,39	2,66	2,66	6,67	0,08	1,32	1,87	4,09	4,09
6	1,64	2,12	1,53	2,25	2,25	3,75	5,61	0,18	0,86	0,86	3,75	3,58
7	1,53	2,12	1,53	4,45	2,39	3,58	4,82	1,03	1,03	0,78	3,42	3,42
8	1,76	2,01	1,42	4,09	2,25	24,01	4,27	0,71	1,64	0,94	3,11	3,11
9	1,87	2,01	1,87	26,69	2,61	11,23	4,09	0,56	0,78	0,86	2,96	5,61
10	1,87	1,87	1,64	9,59	1,76	8,07	3,92	0,56	0,71	0,86	2,81	30,19
11	1,87	2,12	1,42	5,61	1,64	6,82	3,42	0,49	0,71	0,78	2,52	13,31
12	1,76	2,25	1,42	4,45	1,42	7,35	3,11	0,49	0,63	0,78	2,39	9,07
13	1,76	2,12	1,42	3,92	1,64	6,67	2,81	0,63	0,56	0,86	2,39	7,59
14	1,76	1,87	1,32	3,75	2,66	5,82	2,52	0,71	0,49	0,71	2,39	6,67
15	1,64	1,76	1,22	4,27	1,76	6,24	2,25	1,12	0,49	0,63	2,52	5,82
16	1,64	1,64	1,22	3,75	1,53	6,67	2,25	1,42	0,49	1,32	2,39	5,41
17	1,64	1,64	1,21	3,42	1,42	5,61	2,01	2,96	0,71	4,45	2,25	4,64
18	1,64	1,53	1,21	4,82	1,42	7,12	1,87	1,42	0,49	4,09	2,12	4,45
19	1,53	1,64	1,21	4,64	1,76	7,59	1,64	1,03	0,43	7,35	2,12	4,27
20	1,53	1,87	1,21	4,27	1,64	7,83	1,53	1,03	0,43	5,21	2,01	4,09
21	1,53	1,76	1,03	5,21	1,53	17,26	1,42	1,03	0,43	4,27	2,25	3,92
22	1,53	1,64	1,03	6,24	3,11	9,32	1,32	0,86	0,43	4,09	11,52	3,75
23	1,53	1,64	1,03	11,25	3,26	9,59	0,86	0,86	0,43	4,27	4,64	4,27
24	1,53	1,64	1,12	8,81	7,59	7,12	0,63	0,78	0,65	4,09	3,58	3,92
25	1,53	1,64	1,03	7,59	4,64	5,82	0,63	0,78	0,49	3,75	20,93	3,75
26	1,53	1,64	1,12	6,67	2,81	5,01	0,43	1,12	0,49	3,92	14,25	3,26
27	1,64	1,64	1,32	6,02	2,39	4,27	0,43	3,11	0,43	4,64	9,07	3,26
28	1,87	1,53	1,32	5,21	2,25	8,07	0,37	1,32	0,43	3,92	8,07	2,25
29	2,52		1,32	4,64	2,12	6,02	0,32	1,03	0,43	8,81	7,12	2,12
30	3,11		1,22	4,27	1,87	5,61	0,27	0,94	0,43	5,61	6,45	2,01
31	2,81		1,22		1,64		0,23	1,03		4,64		2,01
max	3,11	2,52	1,87	26,69	7,59	24,01	14,25	3,11	1,64	8,81	20,93	30,19
min	1,53	1,53	1,03	1,12	1,42	1,42	0,23	0,08	0,43	0,37	2,01	2,01
media	1,77	1,91	1,31	5,61	2,46	6,84	3,21	0,91	0,67	2,81	5,13	5,46
media anno	3,17											

Tab. 2: Fiume Lambro. Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono). Portate medie giornaliere (m^3/s). Anno 1991.

giorno	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1	2,12	2,52	1,32	3,26	2,96	1,42	1,42	1,64	0,27	5,41	2,39	2,12
2	2,12	2,39	1,32	2,96	4,82	1,42	1,42	0,78	0,27	4,09	2,25	2,01
3	2,01	2,12	1,22	2,81	5,82	1,42	1,32	0,78	0,27	3,42	2,25	1,87
4	2,12	2,01	1,22	2,81	5,01	5,41	1,22	0,78	0,23	3,11	2,68	1,76
5	3,42	2,12	1,22	2,81	9,55	3,92	1,22	0,71	0,23	2,81	2,52	1,76
6	2,52	2,12	1,53	3,58	6,91	3,58	1,12	0,71	0,18	2,52	2,25	1,64
7	2,16	2,01	3,26	3,11	5,52	4,45	1,03	0,63	0,23	4,64	2,01	1,53
8	2,12	2,01	2,96	2,52	4,45	3,11	0,56	0,63	0,18	5,01	1,87	1,42
9	2,01	2,01	11,62	2,52	4,09	2,52	1,22	0,63	0,23	3,42	1,87	1,87
10	1,87	2,01	13,01	2,39	6,91	1,87	0,94	0,63	0,23	2,96	1,64	1,32
11	1,87	2,51	6,91	2,25	6,91	1,57	0,86	0,56	0,23	3,11	1,53	1,32
12	2,52	2,12	6,24	2,12	6,24	1,64	0,56	0,56	0,27	9,59	1,53	1,22
13	7,59	2,01	5,82	2,01	5,21	1,64	0,78	0,56	4,45	10,12	1,64	1,22
14	16,54	1,87	5,41	1,76	4,64	1,53	1,87	0,71	0,86	13,93	13,93	1,22
15	8,31	1,76	5,01	2,01	4,27	1,42	1,22	0,63	0,27	10,95	6,45	1,03
16	6,24	1,64	4,64	2,01	3,92	1,42	1,03	0,49	0,32	8,07	5,21	1,12
17	4,82	1,53	4,09	3,26	3,58	3,42	0,94	0,49	0,32	7,35	4,27	1,22
18	4,09	1,64	4,09	3,42	3,26	3,75	0,94	0,49	0,32	7,35	4,09	1,22
19	3,15	1,76	4,27	2,25	2,96	3,11	0,56	0,49	0,32	6,45	4,52	1,22
20	3,42	1,76	4,09	2,12	2,51	2,96	0,94	0,49	0,32	6,02	6,45	1,22
21	3,26	1,64	3,26	1,87	2,52	2,81	0,56	0,43	0,32	5,61	4,27	2,12
22	3,26	1,76	3,42	1,87	2,25	2,39	1,22	0,43	0,37	5,01	3,95	1,08
23	3,11	1,64	3,42	1,87	2,12	2,12	0,94	0,43	1,42	4,45	3,42	1,03
24	3,58	1,64	4,09	2,12	2,01	2,25	6,02	0,43	0,71	4,27	3,26	1,03
25	3,42	1,53	3,92	2,39	1,57	2,25	6,45	0,43	0,63	4,09	2,96	0,94
26	3,11	1,42	4,27	2,39	1,64	2,01	3,11	0,43	1,22	3,75	2,81	0,94
27	2,96	1,32	3,92	2,39	1,63	2,01	1,03	0,37	0,94	2,66	2,66	0,94
28	2,96	1,32	3,75	3,26	1,64	2,01	0,94	0,32	0,63	2,66	2,52	0,94
29	2,81		3,58	3,42	1,76	2,01	0,86	0,32	2,66	2,66	2,39	0,94
30	2,66		3,42	3,26	1,64	1,64	0,78	0,32	9,32	2,52	2,25	0,86
31	2,52		2,52		1,53	1,53	1,76	0,32		2,52		0,86
max	16,54	2,52	13,01	3,58	9,55	5,41	6,45	1,64	9,32	13,93	13,93	2,12
min	1,87	1,32	1,22	1,76	1,53	1,42	0,56	0,32	0,18	2,52	1,53	0,86
media	3,69	1,86	4,15	2,56	3,86	2,43	1,44	0,56	0,94	5,18	3,39	1,32
media anno	2,62											

Tab. 3: Fiume Lambro. Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono). Portate medie giornaliere (m^3/s).
Anno 1992.

giorno	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1	0,78	1,32	1,29	8,07	3,26	12,70	4,27	3,11	9,39	17,26	5,41	2,25
2	0,78	1,32	1,32	4,82	3,11	5,82	3,92	2,96	1,53	37,94	6,91	2,52
3	0,78	1,22	1,42	3,92	2,82	5,21	3,58	2,81	1,32	42,67	5,41	4,82
4	0,78	1,12	1,32	10,67	2,81	4,82	4,82	2,39	1,22	38,97	5,01	6,02
5	0,78	1,03	1,47	19,05	3,11	5,41	13,31	2,25	1,12	21,32	4,82	42,67
6	0,71	1,12	1,42	18,33	2,81	14,57	50,57	2,25	1,03	36,93	4,64	21,32
7	0,71	1,03	1,42	15,89	2,66	9,59	14,89	2,01	0,94	24,94	4,45	10,95
8	0,71	1,03	1,32	14,89	2,52	13,01	15,22	1,87	0,86	3,58	4,27	13,93
9	0,78	1,03	1,42	14,89	2,39	10,95	13,93	1,87	1,22	2,52	4,09	12,71
10	5,21	1,22	1,42	11,81	2,25	9,32	10,67	8,07	23,71	3,11	4,09	10,95
11	2,81	1,22	1,42	10,39	2,25	9,07	45,98	2,52	40,01	2,96	3,92	9,59
12	1,53	1,12	1,42	8,56	2,12	10,12	20,55	1,87	12,11	14,57	3,75	8,81
13	1,42	1,32	1,53	7,83	2,01	9,85	15,55	1,87	9,55	11,52	3,58	7,83
14	1,76	7,12	1,42	7,12	1,87	9,32	13,31	1,76	8,81	10,39	3,42	7,35
15	1,87	2,52	1,32	10,67	1,76	7,35	11,52	1,76	7,81	9,59	3,42	6,67
16	1,76	1,87	1,32	10,39	1,76	6,67	10,95	1,62	7,12	9,07	3,42	6,45
17	1,61	1,76	1,42	7,59	1,64	6,91	10,95	1,64	6,24	12,41	4,27	5,21
18	1,53	1,64	1,53	6,45	1,32	6,24	8,81	1,53	5,61	11,52	3,58	4,82
19	1,53	1,53	1,42	5,82	1,32	22,10	8,07	1,42	5,01	9,85	3,11	4,82
20	1,42	1,42	1,42	5,41	1,76	17,26	7,35	1,32	11,64	9,85	3,11	4,82
21	1,32	1,42	1,42	5,01	1,42	9,85	6,91	1,32	4,64	9,32	2,96	4,82
22	1,42	1,32	1,42	4,64	1,22	10,95	7,35	1,22	4,82	9,07	2,81	4,64
23	1,42	1,32	1,64	4,27	1,32	9,32	6,45	1,22	8,07	8,07	2,81	4,45
24	1,42	1,32	2,25	4,09	1,12	12,40	5,41	1,12	14,25	7,59	2,81	4,27
25	1,42	1,42	1,53	3,58	1,12	9,07	5,01	1,12	7,35	7,12	2,68	4,09
26	1,53	1,32	1,42	3,26	1,03	11,52	4,64	1,03	6,02	6,67	2,66	3,92
27	1,42	1,32	1,42	2,96	3,11	6,45	4,09	0,94	6,82	6,02	2,52	3,75
28	1,42	1,32	1,32	2,96	1,42	6,24	4,09	0,86	22,10	5,82	2,52	3,75
29	1,42	1,22	1,22	6,02	2,12	5,61	3,75	0,94	15,22	5,41	2,52	3,58
30	1,42		1,64	3,75	2,39	4,45	3,51	1,12	15,55	5,41	2,39	3,42
31	1,42		4,09		3,42		3,26	1,53		5,21		3,42
max	5,21	7,12	4,09	19,05	3,42	22,1	50,57	8,07	40,01	42,67	6,91	42,67
min	0,71	1,03	1,22	2,96	1,03	4,45	3,26	0,86	0,86	2,52	2,39	2,25
media	1,45	1,55	1,53	8,10	2,10	9,40	11,05	1,91	8,47	13,12	3,71	7,70
media	anno	5,84										

F. LAMBRO - Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono)
Portate medie giornaliere (m3/s) - 1993

giorno	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1	3.26	2.00	4.09	2.66	4.64	2.66	4.27	2.66	3.42	26.63	10.39	3.92
2	3.26	2.00	3.92	2.66	4.27	3.26	3.92	2.52	3.11	42.14	10.39	3.75
3	3.11	2.00	3.75	2.52	3.75	3.26	3.42	2.52	3.11	75.21	9.32	3.58
4	2.66	2.00	3.26	2.66	3.26	2.66	3.11	2.39	2.96	38.97	8.81	3.42
5	2.66	2.00	2.96	3.26	3.11	2.39	3.26	2.25	2.81	34.45	10.12	3.42
6	2.66	2.00	2.81	2.66	3.11	2.25	3.26	2.25	2.96	44.31	16.91	3.26
7	2.66	1.57	2.66	2.52	3.11	3.26	2.96	2.25	2.66	36.93	19.79	3.11
8	2.66	1.57	2.52	2.52	5.41	1.76	2.82	7.12	2.66	44.86	14.25	3.11
9	2.66	1.57	2.66	2.39	4.52	1.76	2.66	3.92	3.58	42.67	12.70	2.96
10	2.66	1.57	2.66	2.96	4.45	8.81	3.92	3.42	4.45	33.00	11.81	2.96
11	2.66	1.57	2.66	3.58	4.09	13.00	29.73	2.96	7.35	29.28	10.95	2.51
12	2.66	1.70	2.52	2.96	4.45	4.27	8.56	2.51	4.52	25.36	10.95	2.66
13	2.66	1.70	2.52	4.27	8.31	3.58	5.82	2.51	5.01	22.10	10.95	2.66
14	2.51	1.64	2.39	3.58	6.45	3.11	5.21	2.66	6.24	23.70	9.59	3.26
15	2.66	1.64	2.39	3.75	5.84	2.52	4.82	2.66	4.64	19.05	8.56	3.26
16	2.66	1.64	2.39	3.26	5.61	2.12	4.45	2.25	4.09	17.26	8.31	2.96
17	2.52	1.64	2.39	3.11	6.02	2.12	4.27	2.12	3.75	16.91	8.31	2.66
18	2.52	1.64	2.39	2.96	7.12	1.87	4.09	2.00	3.58	14.25	7.12	2.66
19	2.52	1.64	2.39	2.57	7.50	1.76	4.27	2.12	3.26	14.89	6.02	2.52
20	2.39	1.53	2.25	2.51	8.81	1.76	8.56	2.00	3.26	13.93	6.02	2.89
21	2.39	1.42	2.25	2.66	14.57	1.87	7.59	2.00	3.26	14.57	6.02	2.52
22	2.39	1.42	2.25	2.62	12.70	3.58	6.01	2.00	4.09	34.94	6.02	2.39
23	2.39	1.42	2.39	2.66	4.92	14.57	4.45	1.87	33.96	24.52	5.21	2.12
24	2.39	1.42	3.92	2.66	4.64	13.31	4.09	2.52	75.21	22.10	5.21	2.52
25	2.20	1.42	6.90	3.92	4.27	4.82	3.75	5.41	75.21	22.59	5.01	2.66
26	2.00	1.42	3.92	4.45	4.09	4.09	3.58	9.07	75.21	17.26	4.64	2.25
27	2.00	1.42	3.26	3.11	3.75	3.58	3.47	35.43	75.21	15.22	4.45	2.25
28	2.00	1.64	3.11	2.87	3.75	3.75	3.26	9.59	37.94	13.62	4.21	2.12
29	2.00		2.96	4.27	4.64	3.75	3.11	4.64	35.47	12.10	4.09	2.12
30	2.00		2.66	4.09	3.58	7.12	3.11	4.09	24.11	10.95	4.09	2.00
31	2.00		2.66		3.11		2.96	3.92		10.12		2.00

max	3.26	2.00	6.90	4.45	14.57	14.57	29.73	35.43	75.21	75.21	19.79	3.92
min	2.00	1.42	2.25	2.39	3.11	1.76	2.66	1.87	2.66	10.12	4.09	2.00

media	2.52	1.68	2.96	3.01	5.40	4.28	4.92	4.38	17.12	26.25	8.66	2.79
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	------	------

media anno	6.98
------------	------

F. Lambro - Stazione idrometrografica di S. Giorgio (Biassono)

Portate medie giornaliere (m3/s) - 1994

giorno	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1	2,39	5,21	43,70	5,21	3,42	5,61	2,52	1,53	1,90	6,45	4,45	3,92
2	2,39	5,01	22,10	4,64	3,26	5,41	2,39	1,53	17,81	5,82	4,27	3,75
3	2,25	5,01	13,93	3,58	3,75	5,01	2,25	1,42	5,41	15,89	4,82	3,58
4	2,25	6,45	11,81	3,26	3,58	4,82	2,25	1,42	3,42	11,23	7,59	3,42
5	2,39	5,82	10,95	3,11	3,58	4,45	5,61	1,32	2,66	7,59	13,62	3,58
6	13,31	13,62	10,67	2,96	3,26	3,92	14,57	1,32	2,39	6,45	57,84	3,58
7	17,26	8,81	9,59	2,96	3,26	3,58	7,35	1,32	2,12	5,61	30,19	3,58
8	20,17	10,67	8,81	2,81	2,96	3,42	5,82	3,26	5,41	5,21	16,23	3,42
9	30,65	8,31	8,31	3,11	3,26	6,24	5,21	1,53	10,39	4,64	13,93	3,26
10	21,70	7,35	8,07	3,11	2,96	4,45	5,21	1,32	4,27	4,45	20,93	3,26
11	26,21	6,45	7,59	2,96	3,42	4,27	5,21	1,22	3,26	4,27	16,57	3,11
12	19,05	5,02	7,12	2,81	3,26	4,45	6,24	2,66	3,11	4,09	13,62	3,11
13	15,55	5,82	6,90	2,66	3,41	3,75	6,24	1,22	3,11	3,75	12,10	3,11
14	13,31	5,82	6,45	2,81	4,45	3,42	5,41	1,22	11,23	3,58	10,67	3,11
15	11,81	5,61	6,02	2,81	9,32	3,11	4,45	1,32	12,70	3,42	10,12	2,96
16	10,39	5,41	5,82	2,96	4,64	2,96	3,26	1,22	7,12	3,26	9,59	2,96
17	9,59	5,01	5,61	3,58	4,82	2,81	2,39	1,22	7,59	3,26	8,81	2,81
18	10,12	4,82	5,20	3,92	12,10	2,62	1,87	1,12	11,61	3,26	8,31	2,66
19	9,32	4,64	5,21	10,98	13,62	2,52	2,12	1,12	7,83	2,96	7,59	2,96
20	8,81	4,45	5,01	5,82	14,89	3,11	3,92	1,03	8,07	3,11	7,12	3,92
21	8,07	4,64	4,82	4,82	13,31	2,96	2,25	1,03	8,07	4,09	6,90	7,35
22	7,59	4,64	4,45	4,45	11,52	2,66	2,12	1,12	7,12	3,26	6,45	6,02
23	6,90	4,64	4,27	4,09	10,39	2,52	1,87	1,03	7,12	3,58	6,24	6,24
24	6,45	4,82	4,09	3,92	9,59	2,39	1,76	3,42	8,56	5,01	5,82	4,82
25	6,02	4,45	3,92	6,45	10,95	2,25	1,76	2,81	6,90	4,27	5,61	4,45
26	6,02	4,27	3,92	8,07	9,07	2,25	1,76	1,12	14,25	3,92	5,21	3,26
27	5,82	4,27	3,58	6,90	8,31	3,26	1,64	1,12	15,55	2,96	5,01	2,96
28	5,40	7,12	3,58	4,64	7,59	3,11	8,56	1,03	9,59	5,21	4,64	2,81
29	5,41	1,22	3,58	3,92	7,12	2,81	4,09	1,12	7,93	6,67	4,27	2,81
30	5,01		3,58	3,58	6,67	2,66	1,76	2,52	7,12	4,52	4,09	3,26
31	5,01		3,42		6,02		1,64	5,61		4,45		3,26

max	30,65	13,62	43,7	10,95	14,89	6,24	14,57	5,61	17,81	15,89	57,84	7,35
min	2,25	4,27	3,42	2,66	2,96	2,25	1,76	1,03	2,12	2,96	4,09	2,66

media	10,21	6,04	8,13	4,23	6,70	3,56	3,98	1,65	7,81	5,04	11,09	3,65
-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	------

media anno 6.003

1995

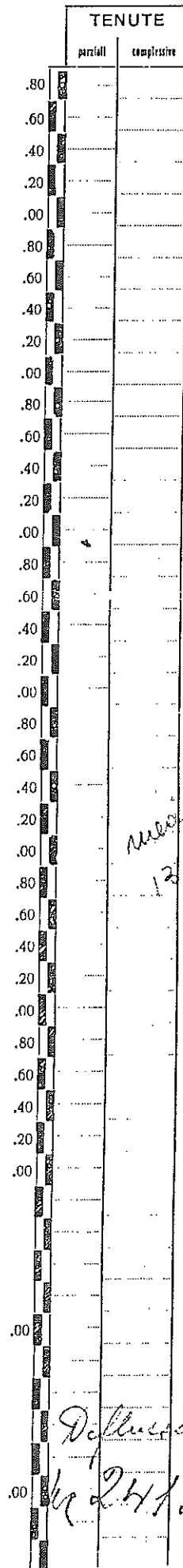
giorno	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1	2,96	2,81	6,24	3,42	5,61	10,39	3,92	1,32	0,94	4,64	2,01	2,96
2	2,66	2,81	5,82	3,42	5,21	8,31	3,75	1,22	1,03	4,64	1,76	2,81
3	2,66	2,66	5,61	3,42	4,82	9,07	4,09	1,22	0,86	4,27	1,64	2,66
4	2,52	2,66	12,72	3,26	4,64	12,41	4,09	1,12	3,42	4,27	1,53	2,66
5	2,25	2,52	8,31	3,26	4,27	13,93	4,45	1,22	1,32	4,64	1,42	2,66
6	2,25	2,62	7,35	3,11	4,09	11,81	4,09	3,92	1,42	5,41	1,53	2,81
7	2,12	2,52	6,67	3,11	3,75	9,32	3,75	1,64	3,42	5,21	1,53	2,66
8	2,12	2,66	6,91	2,96	3,92	8,31	3,42	5,61	2,81	4,45	1,53	2,52
9	2,25	2,52	8,81	2,81	3,92	7,35	3,41	4,64	1,53	4,09	1,64	2,52
10	2,39	2,39	7,35	3,25	3,75	9,32	2,96	3,42	1,42	3,92	1,64	2,39
11	2,39	2,39	6,67	3,26	9,07	20,55	2,81	3,11	1,32	3,75	2,39	2,25
12	2,12	2,39	6,02	3,26	38,97	22,10	2,66	3,26	1,32	3,58	3,75	2,39
13	2,12	3,26	5,82	2,96	26,63	19,42	2,66	3,11	3,58	3,42	3,26	2,39
14	2,01	6,67	5,61	2,81	14,25	14,25	2,52	1,64	9,59	3,42	2,52	2,52
15	2,96	4,64	5,41	2,66	11,23	11,81	2,39	2,25	3,42	3,26	2,39	3,11
16	2,39	4,27	5,21	2,66	9,59	10,95	2,25	2,81	5,61	2,81	2,96	3,42
17	5,61	3,92	5,01	2,39	10,67	9,85	2,25	2,12	5,21	2,39	3,11	2,81
18	6,24	5,82	4,82	2,39	9,32	9,07	3,11	2,01	3,21	2,39	2,39	3,92
19	4,09	1,64	4,64	2,81	10,39	8,81	1,87	1,76	9,59	2,25	2,12	3,58
20	4,82	3,92	4,45	2,66	9,07	8,31	2,01	1,32	7,35	2,25	2,01	3,26
21	5,01	3,58	4,45	3,42	7,83	7,59	1,76	1,76	6,67	2,12	2,12	3,26
22	4,27	3,75	4,45	4,82	7,59	7,12	2,81	2,12	10,12	2,01	2,71	3,26
23	2,81	10,67	4,27	3,92	7,12	7,12	2,39	2,66	7,12	1,87	2,01	8,07
24	6,45	7,83	4,27	5,01	6,45	6,45	1,64	1,53	6,07	1,87	2,01	4,82
25	4,82	6,67	4,27	8,07	6,24	5,82	1,64	2,12	8,56	1,87	1,87	4,64
26	4,09	9,32	4,27	7,12	6,02	5,21	1,64	1,32	7,59	1,76	1,87	5,82
27	5,01	9,07	4,27	6,67	13,01	5,21	1,53	1,22	7,35	1,76	2,96	5,21
28	3,92	6,91	3,92	6,02	8,07	4,82	1,42	1,12	7,12	1,64	8,31	5,01
29	3,42		3,75	4,09	6,91	4,64	1,42	1,03	6,67	1,64	3,92	5,01
30	3,26		3,58	5,21	7,59	4,27	1,32	0,94	5,41	2,12	3,21	4,82
31	3,11		3,42		16,57		1,32	0,94		2,12		4,82
max	6,45	10,67	12,71	8,07	38,97	22,11	4,45	5,61	10,12	5,41	8,31	8,07
min	2,01	2,39	3,42	2,39	3,75	4,27	1,32	0,94	0,86	1,64	1,42	2,25
media	3,39	4,49	5,62	3,81	9,24	9,78	2,61	2,11	4,71	3,09	2,44	3,58
media annua	4,642											

Anno 1996

Corso d'acqua: F. LAMBRO

Stazione: S. GIORGIO d. BIASSONNO

Giorno	ALTEZZE IDROMETRICHE											
	Genn.	Febb.	Marzo	Aprile	Magg.	Giug.	Lugl.	Agost.	Sett.	Ottob.	Nov.	Dic.
1	6.02	8.56	3.75	2.52	4.52	3.26	6.90	2.96	7.55	2.52	5.41	7.83
2	6.02	9.02	3.18	5.01	6.90	3.11	12.40	2.51	20.17	4.45	4.52	7.35
3	5.41	9.85	3.42	5.21	6.67	3.11	9.87	4.64	16.23	3.28	4.09	6.90
4	4.52	8.56	3.58	4.64	5.41	3.26	7.35	3.11	13.00	3.26	3.78	6.67
5	4.64	8.56	3.58	4.45	4.52	2.96	6.90	2.96	11.23	3.11	4.64	6.24
6	6.24	8.02	3.42	4.09	6.90	2.96	6.67	3.26	9.85	3.11	4.52	5.72
7	14.57	7.12	3.92	3.92	21.70	2.96	7.83	2.81	8.51	3.26	2.92	5.41
8	10.97	6.67	3.42	2.39	16.57	2.81	13.62	2.81	7.83	2.96	3.78	5.21
9	7.89	6.02	3.26	2.52	10.39	2.66	9.32	2.51	7.89	2.51	3.58	5.01
10	9.85	5.61	3.11	2.52	10.39	2.81	8.56	2.52	6.90	2.96	3.42	7.35
11	46.54	5.21	2.96	2.81	7.12	2.71	8.07	5.61	6.41	2.96	4.52	2.83
12	42.67	5.21	2.71	2.81	7.35	2.81	7.59	10.92	6.24	2.66	5.61	6.45
13	22.10	6.02	2.66	2.66	6.67	2.81	7.12	7.12	5.61	2.52	5.41	7.12
14	16.23	5.61	2.66	2.52	6.67	2.71	6.67	5.61	5.01	2.39	5.97	8.07
15	14.25	5.01	2.66	2.52	6.90	2.66	6.45	4.52	4.64	20.17	4.94	6.67
16	14.57	4.82	2.66	2.66	6.24	2.52	6.24	4.45	4.09	45.98	3.58	5.21
17	14.25	4.45	3.26	2.66	5.61	2.66	5.82	4.27	3.78	44.31	25.36	5.21
18	13.02	4.27	2.66	2.52	5.41	2.52	5.41	3.92	3.92	4.32	48.47	5.01
19	12.10	4.64	2.66	2.52	5.21	2.25	5.21	3.92	3.78	13.93	37.94	5.21
20	9.07	4.64	2.52	2.39	5.01	5.21	4.52	3.78	4.64	11.81	31.52	9.59
21	8.56	5.41	2.39	2.39	5.21	14.25	4.45	2.58	4.64	9.85	24.94	5.01
22	7.83	5.41	2.39	3.79	4.52	45.42	4.45	8.07	3.92	8.81	20.93	8.07
23	8.07	5.01	2.25	2.52	4.64	17.26	4.27	4.64	3.92	8.31	17.92	11.23
24	20.17	4.64	2.25	3.26	4.64	12.10	4.09	4.27	3.26	5.83	15.22	9.59
25	15.22	4.45	2.39	2.66	4.45	10.92	3.92	5.82	3.26	7.12	13.31	9.32
26	19.79	4.64	2.52	2.81	4.27	10.39	3.78	5.82	3.11	6.90	12.10	8.07
27	14.57	4.27	2.52	2.52	4.52	9.85	3.88	21.32	2.96	6.24	10.95	7.59
28	11.81	4.27	4.64	1.12	4.52	8.31	3.58	50.57	2.81	6.02	10.12	6.67
29	10.67	3.92	2.96	2.52	3.58	7.59	3.26	24.11	2.66	6.02	9.07	5.41
30	9.85		2.66	3.78	3.58	7.12	3.26	18.33	2.52	6.02	8.56	5.61
31	9.07		2.39		5.41		3.11	4.57		6.02		5.61
1° dec	14.57	9.85	3.68	5.21	21.70	3.26	13.62	4.64	20.17	4.45	5.41	7.83
2° dec	46.54	6.02	3.26	2.81	2.35	5.21	8.07	10.12	6.45	45.98	59.73	9.59
3° dec	20.17	5.41	4.64	3.78	5.21	45.42	4.45	50.57	4.64	9.85	24.94	11.23
1° dec.	7.61	7.89	3.45	3.72	9.25	2.89	8.91	3.06	11.98	3.20	4.22	6.37
2° dec.	20.47	4.98	2.78	2.60	6.21	2.89	6.34	5.38	4.76	16.80	31.98	6.63
3° dec.	13.12	4.66	2.66	2.59	4.38	14.31	3.79	14.52	3.72	7.19	14.31	7.62
1° dec.	4.24	5.61	3.11	2.39	4.82	2.66	6.67	2.52	6.90	2.51	3.42	5.01
2° dec.	9.07	4.27	2.52	2.39	5.01	2.25	4.52	3.78	3.92	2.39	4.52	5.01
3° dec.	7.83	3.92	2.25	1.12	3.42	7.12	3.11	3.58	2.52	6.02	8.56	5.41
Media mez.	13.43	5.86	2.94	2.97	6.62	6.73	6.26	7.97	6.71	8.91	16.54	6.91



Massima annua 59.73 Media annua 5.62 Minima annua 1.12

ALLEGATO 3: ESTRATTO DEI “DATI CARATTERISTICI DEI CORSI D’ACQUA ITALIANI”

BEVERA a Colombaio

Bacino km^2 40.2 - Altit. max 877 m s.m.; med. 444 m s.m.; zero idrom. 247.92 m s.m.; distanza dalla confluenza col F. Lambro km 1.7 circa - Inizio osserv. I (aprile 1937) Ir (aprile 1937) (con lacune dal gennaio 1943 al settembre 1953); inizio misure maggio 1937 - Alt. idr. max m 2.52 (14 giugno 1963); min. m 0.00 (Luglio 1967 - 21 luglio 1968) - Portata max m^3/s 54.6 (19 sett. 1960); min. m^3/s 0.02 (21 marzo e 1-5 set. 1940)



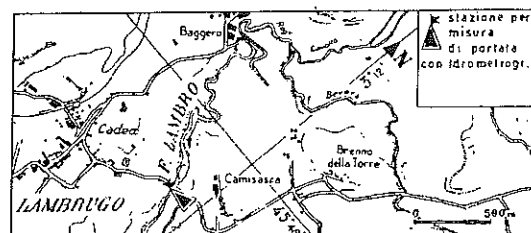
ANNI	Portate annue		PORTATE MENSILI (m^3/s)											
	$l/s \cdot km^2$	m^3/s	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
1938-1960	18.4	0.74	0.60	0.63	0.71	0.79	0.77	0.86	0.63	0.39	0.70	0.86	0.96	0.96
1961	21.9	0.88	1.14	0.95	0.48	1.08	1.24	2.36	0.69	0.22	0.17	0.25	1.25	0.83
1962	17.7	0.71	1.15	0.41	0.93	1.37	0.81	1.69	0.49	0.25	0.17	0.17	0.76	0.31
1963	37.3	1.50	1.27	0.42	0.87	1.62	1.18	2.99	0.85	1.94	2.04	0.66	3.10	1.12
1964	16.9	0.68	0.42	0.67	1.81	1.81	0.53	0.93	0.20	0.26	0.14	0.40	0.45	0.61
1965	16.4	0.66	0.59	0.45	0.74	0.33	0.55	1.25	0.42	0.34	1.41	0.62	0.73	0.44
1966	19.9	0.80	0.20	0.87	0.21	1.07	0.99	0.23	0.20	0.47	0.30	2.64	1.83	0.55
1967	9.95	0.40	0.22	0.48	0.76	0.75	0.12	0.13	0.06	0.63	0.32	0.34	0.81	0.16
1968	22.1	0.89	0.06	1.46	0.35	0.37	0.60	0.81	0.09	1.28	0.82	0.64	3.81	0.47
1969	13.7	0.55	0.52	1.13	1.36	0.78	0.35	0.28	0.10	0.59	0.41	0.24	0.58	0.33
1970	14.7	0.59	1.45	0.59	0.70	0.66	0.92	0.58	0.20	0.37	0.16	0.15	0.97	0.36
1961-1970	19.1	0.77	0.70	-0.74	0.82	0.98	0.73	1.13	0.33	0.64	0.59	0.61	1.43	0.52

ANNI	BILANCIO IDROLOGICO				PORTATE (m^3/s)									
	Afflusso meteor. mm	Deflusso mm	Perdita appar. mm	Coeff. di deflusso	corrispondenti alle durate di giorni					Minima	Massima			
					10	91	182	274	355		giornaliera m^3/s	$l/s \cdot km^2$	al colmo m^3/s	$l/s \cdot km^2$
1938-1960	1424	579	845	0.41	3.52	0.75	0.43	0.25	0.10	0.02	17.60	438	34.60	861
1961	1420	693	727	0.49	3.68	0.94	0.55	0.30	0.13	0.10	9.38	233	10.40	408
1962	1175	556	619	0.47	3.10	0.77	0.44	0.25	0.16	0.13	11.00	274	21.80	542
1963	1911	1179	732	0.62	6.12	1.71	0.85	0.49	0.27	0.21	13.60	338	33.00	821
1964	1177	538	639	0.46	2.96	0.76	0.41	0.24	0.13	0.08	7.44	185	12.40	308
1965	1305	514	791	0.39	3.96	0.62	0.41	0.31	0.10	0.08	6.57	163	10.90	271
1966	1694	625	1069	0.37	4.42	0.88	0.38	0.17	0.05	0.03	9.17	228	11.70	291
1967	1066	311	755	0.29	2.34	0.39	0.20	0.11	0.03	0.01	6.87	171	9.99	249
1968	1550	698	852	0.45	6.72	0.86	0.42	0.25	0.05	0.02	10.40	259	14.30	356
1969	1151	432	719	0.38	2.63	0.57	0.33	0.23	0.07	0.04	4.57	114	7.45	185
1970	1220	465	755	0.38	2.92	0.63	0.42	0.20	0.13	0.09	6.06	151	10.40	259
1961-1970	1367	601	766	0.43	4.64	0.78	0.42	0.23	0.07	0.01	13.60	338	33.00	821
1938-1970	1398	589	809	0.40	3.79	0.77	0.43	0.24	0.08	0.01	17.60	438	34.60	861

ELEMENTI CARATTERISTICI	VALORI RIASSUNTIVI PER IL PERIODO 1938 + 1942 e 1954 + 1970												
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
Q max (m^3/s)	17.60	8.66	7.76	7.35	7.65	9.38	12.10	8.27	7.44	17.60	9.17	13.60	2.11
Q med. (m^3/s)	0.75	0.65	0.68	0.76	0.88	0.75	0.98	0.49	0.50	0.65	0.74	1.17	0.76
Q min. (m^3/s)	0.01	0.04	0.06	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.08	0.05
q ($l/s \cdot km^2$)	18.70	16.20	17.10	18.80	21.80	18.60	24.40	12.40	12.50	16.30	18.50	29.10	18.90
Deflusso (mm)	589	43	41	50	57	50	63	33	33	42	50	76	51
Afflus. meteor. (mm)	1398	67	69	86	123	151	166	128	141	103	133	154	77
Perdite app. (mm)	809	23	28	36	70	101	103	95	108	61	83	78	26

LAMBRO a Lambrugo

Bacino km^2 170 [aree lacuali nat. 3.82% (escurs. max 3.35 m)] - Altit. max 1456 m s.m.; med. 545 m s.m.; zero idrom. 237.94 m s.m.; distanza dalla confluenza col Po km 92 circa - Inizio osserv. I (aprile 1937) Ir (aprile 1937); inizio misure aprile 1937 - Alt. idr. max m 2.99 (14 giugno 1963); min. m 0.32 (25 marzo 1953) - Portata max m^3/s 82.6 (14 giugno 1963); min. m^3/s 0.06 (25 marzo 1951)



ANNI	Portate annue		PORTATE MENSILI (m^3/s)											
	$l/s. km^2$	m^3/s	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
1955-1960	32.0	5.44	4.26	4.20	5.41	6.92	3.96	5.29	4.38	3.70	4.61	6.98	8.14	7.51
1961	24.2	4.11	6.14	3.63	2.90	3.42	4.48	10.70	4.03	3.10	1.55	1.86	4.49	3.08
1962	20.3	3.45	3.31	1.88	3.02	5.46	4.27	7.03	3.61	2.62	2.25	2.44	2.98	2.54
1963	43.4	7.37	4.02	3.23	3.55	6.84	7.41	13.30	6.31	6.76	10.70	5.17	14.50	6.75
1964	25.3	4.30	3.66	3.64	5.89	9.61	4.39	5.35	4.27	3.16	2.87	2.84	2.65	3.26
1965	21.3	3.62	2.88	2.80	3.22	2.26	2.37	4.34	1.79	2.09	8.40	7.74	3.04	2.59
1966	40.6	6.90	2.25	3.87	3.47	6.26	6.62	3.80	4.63	5.84	5.26	17.20	19.00	4.52
1967	21.2	3.60	1.75	2.49	5.88	6.37	3.28	3.30	2.86	3.05	3.17	3.17	4.81	3.03
1968	33.4	5.68	2.25	6.23	4.91	4.12	5.75	9.02	4.77	7.52	6.35	3.87	10.40	3.26
1969	18.6	3.17	2.41	3.30	5.99	4.46	3.19	4.18	3.31	3.08	2.35	1.82	2.42	1.60
1970	26.8	4.55	5.87	2.58	2.08	3.72	5.19	4.52	3.36	6.04	6.02	3.21	7.01	4.94
1961-1970	27.5	4.68	3.45	3.37	4.09	5.25	4.70	6.55	3.89	4.33	4.89	4.93	7.13	3.56

ANNI	BILANCIO IDROLOGICO				PORTATE (m^3/s)									
	Afflusso meteor. mm	Deflusso mm	Perdita appar. mm	Coeff. di deflusso	corrispondenti alle durate di giorni					Minima	Massima			
					10	91	182	274	355		giornaliera m^3/s	$l/s. km^2$	al colmo m^3/s	$l/s. km^2$
1955-1960	1752	1011	741	0.58	19.20	6.20	3.86	2.77	0.66	0.38	40.70	239	60.70	357
1961	1351	763	588	0.56	13.80	4.08	3.39	2.48	1.37	1.20	28.40	167	40.20	236
1962	1110	641	469	0.58	9.49	3.86	2.89	2.50	1.77	0.90	20.40	120	23.90	141
1963	1367	598	598	0.69	21.40	8.32	6.31	4.20	3.02	2.75	42.90	252	82.60	486
1964	1322	799	523	0.60	12.70	4.61	3.63	3.09	2.44	2.26	16.90	99	30.40	179
1965	1334	672	662	0.50	12.40	3.62	2.78	2.23	1.41	0.98	28.50	168	32.00	188
1966	2012	1280	732	0.64	29.40	6.62	4.75	3.45	2.05	1.85	58.40	344	68.20	401
1967	1206	667	539	0.55	10.50	3.80	3.17	2.75	1.26	1.20	20.20	119	26.90	158
1968	1758	1056	702	0.60	15.90	6.75	5.03	3.60	2.16	1.67	23.00	135	43.30	255
1969	1141	589	552	0.52	7.32	3.92	2.96	2.06	1.14	1.00	8.87	52	14.10	83
1970	1419	845	574	0.60	12.50	5.67	3.92	2.97	1.16	1.05	18.40	108	27.70	163
1961-1970	1462	868	594	0.58	14.30	5.31	3.55	2.71	1.30	0.90	58.40	344	82.60	486
1955-1970	1571	922	649	0.59	16.70	5.59	3.64	2.71	1.29	0.38	58.40	344	82.60	486

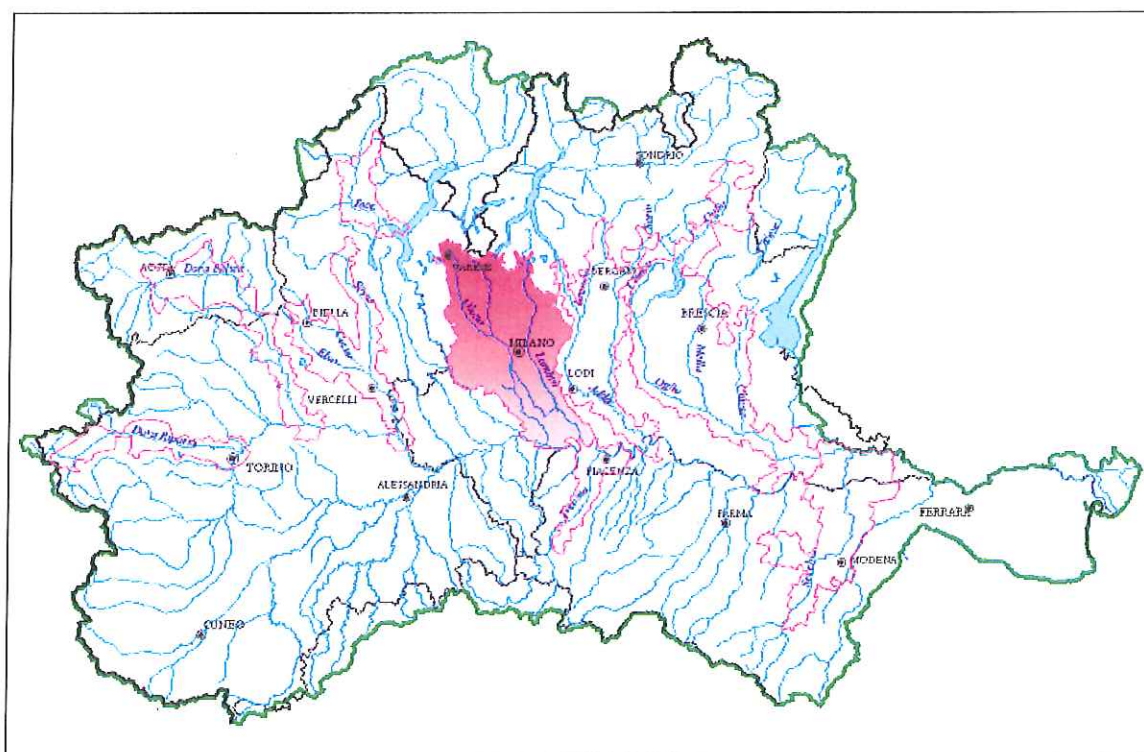
ELEMENTI CARATTERISTICI	VALORI RIASSUNTIVI PER IL PERIODO 1955 + 1970												
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
Q max (m^3/s) . .	58.40	26.30	20.20	27.60	40.20	20.40	42.90	18.00	22.50	40.70	40.10	58.40	24.60
Q med. (m^3/s) . .	4.96	3.76	3.62	4.58	5.88	4.42	6.08	4.07	4.09	4.79	5.70	7.51	5.04
Q min. (m^3/s) . .	0.38	1.05	0.75	1.05	1.09	0.85	0.68	0.98	0.58	0.42	1.10	1.10	0.38
q ($l/s.km^2$) . . .	29.20	22.10	21.30	27.00	34.60	26.00	35.80	24.00	24.10	28.20	33.50	44.20	29.70
Deflusso (mm) . .	922	59	53	72	90	70	93	64	65	73	90	114	79
Afflus. meteor. (mm)	1571	69	81	103	145	142	175	138	163	116	167	189	83
Perdite app. (mm) .	645	10	28	31	55	72	82	74	98	43	77	75	4

**ALLEGATO 4: AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, SETTEMBRE 2003 –
“DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DI RIFERIMENTO” DA “STUDIO DI
FATTIBILITÀ DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D’ACQUA
NATURALI ED ARTIFICIALI ALL’INTERNO DELL’AMBITO IDROGRAFICO DI
PIANURA LAMBRO – OLONA”**



AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona.



Fiume Lambro

(1^a parte – dal Lago di Pusiano alla confluenza del Deviatore Redefossi)

Attività 5.2.1: Definizione delle portate di piena di riferimento

Prodotto 5.2.1./1: Relazione descrittiva e di analisi

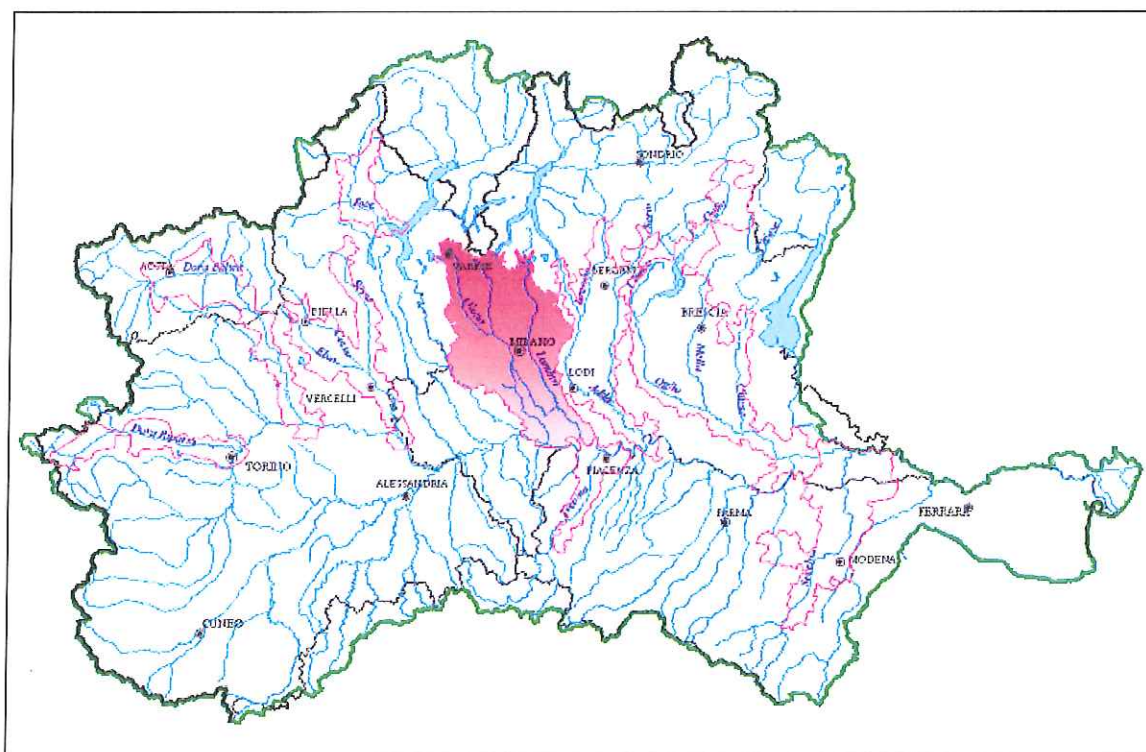
Elaborato 5.2.1./1/1R/LA1: Relazione descrittiva e di analisi dell'attività "Definizione delle portate di piena di riferimento"

Tipo di documento: [R] + Relazione	Data redazione: Settembre 2003	Versione: 01
Ditta:  C. LOTTI & ASSOCIATI SOCIETÀ DI INGEGNERIA S.p.A. ROMA	Realizzata da: Ing. Alessandro Paoletti Ing. Giovanni Battista Peduzzi	Responsabile del progetto: Ing. Giorgio Visentini



AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona.



Fiume Lambro

(1^a parte – dal Lago di Pusiano alla confluenza del Deviatore Redefossi)

Attività 5.2.1: Definizione delle portate di piena di riferimento

Prodotto 5.2.1./1: Relazione descrittiva e di analisi

Elaborato 5.2.1./1/1R/LA1: Relazione descrittiva e di analisi dell'attività "Definizione delle portate di piena di riferimento"

**STUDIO DI FATTIBILITÀ DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA
DEI CORSI D'ACQUA NATURALI ED ARTIFICIALI ALL'INTERNO
DELL'AMBITO IDROGRAFICO DI PIANURA LAMBRO – OLONA.**

FIUME LAMBRO

(1^ parte – dal Lago di Pusiano alla confluenza del Deviatore Redefossi)

**RELAZIONE DESCRITTIVA E DI ANALISI DELL'ATTIVITÀ
DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DI RIFERIMENTO**

N° PROGETTO: 88.A.001			N°. Elaborato: 5.2.1./1/1R/LA1		
0	Gennaio 2003	EMISSIONE			
1	Settembre 2003	REVISIONE A SEGUITO COMPLETAMENTO MODELLO IDRAULICO			
2					
3					
4					
<i>revisione</i>	<i>data</i>	<i>descrizione</i>	<i>redatto</i>	<i>verificato</i>	<i>approvato</i>

INDICE

1. PREMESSA	1
2. IL BACINO DEL FIUME LAMBRO E SUOI SOTTOBACINI.....	4
3. PLUVIOMETRIA.....	11
3.1 GENERALITÀ	11
3.2 TEMPI DI RITORNO	12
3.3 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA	12
3.4 IETOGRAMMI DI CALCOLO	13
3.5 RAGGUAGLIO DELLE PRECIPITAZIONI ALL'AREA	15
3.6 DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI	16
4. MODELLO IDROLOGICO AFFLUSSI-DEFLUSSI	19
4.1 IL MODULO NAM PER I BACINI CON RIDOTTA PERCENTUALE DI AREE URBANE	19
4.2 IL MODULO NAM-URBANO PER I BACINI PIANEGGIANTI CON ELEVATA PERCENTUALE DI AREE URBANE.....	22
4.3 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI	23
4.4 RISULTATI OTTENUTI.....	24
4.4.1 Sottobacino LAM1A.....	25
4.4.2 Sottobacino REZ.....	27
4.4.3 Sottobacino FOC.....	28
4.4.4 Sottobacino BIS.....	29
4.4.5 Sottobacino RAV.....	30
4.4.6 Sottobacino BOV.....	31
4.4.7 Sottobacino LAM1B.....	32
4.4.8 Sottobacino LAM1C.....	33
4.4.9 Sottobacino LAM2.....	34
4.4.10 Sottobacino LAM3A.....	35
4.4.11 Sottobacino LAM3B.....	36
4.4.12 Sottobacino LAM4.....	38
4.4.13 Sottobacino LAM5.....	39
4.4.14 Sottobacino BEV1AB.....	40
4.4.15 Sottobacino GAN.....	42
4.4.16 Sottobacino PAS.....	43
4.4.17 Sottobacino BEV1C.....	44
4.4.18 Sottobacino LAM6.....	45
4.4.19 Sottobacino BEV2.....	46
4.4.20 Sottobacino LAM7.....	47
4.4.21 Sottobacino BEV3.....	48
4.4.22 Sottobacino LAM8.....	49
4.4.23 Sottobacino BRO.....	50
4.4.24 Sottobacino CAN.....	51
4.4.25 Sottobacino PEG.....	52
4.4.26 Sottobacino LAM9.....	53
4.4.27 Sottobacino LAM10.....	54
4.4.28 Sottobacino MOL.....	56
4.4.29 Sottobacino LAM11.....	57
4.4.30 Sottobacino LAM12.....	59
4.4.31 Sottobacino LAM13.....	61
4.4.32 Sottobacino LAM14A.....	62
4.4.33 Sottobacino LAM14B.....	64
4.4.34 Sottobacino LAM14C.....	65
4.4.35 Sottobacino LAM14D.....	67
4.4.36 Sottobacino LAM15.....	68
4.4.37 Sottobacino LAM16A.....	70
4.4.38 Sottobacino LAM16B.....	72

4.4.39	Sottobacino LAM16C	74
4.4.40	Sottobacino LAM16D	75
4.4.41	Sottobacino LAM16E	77
4.4.42	Sottobacino LAM16F	79
4.4.43	Sottobacino LAM16G	80
4.4.44	Sottobacino LAM17	82
4.4.45	Sottobacino LAM18	84
4.4.46	Sottobacino LAM19A	85
4.4.47	Sottobacino LAM19B	86
4.4.48	Sottobacino LAM19C	88
4.4.49	Sottobacino LAM19D	89
4.4.50	Sottobacino LAM20	90
4.5	PORTATE AL COLMO DEI BACINI URBANI SUDDIVISE PER COMUNE	92
5.	TARATURA DEL MODELLO IDROLOGICO.....	94
5.1	PLUVIOMETRO DI CASLINO D'ERBA	95
5.2	PLUVIOMETRO DI MOLTENO.....	100
5.3	PLUVIOMETRO DI VEDUGGIO.....	105
5.4	PLUVIOMETRO DI CUSANO MILANINO.....	107
5.5	CONCLUSIONI.....	109
6.	PORTATE SCARICABILI SECONDO IL P.R.R.A.	116

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1:	SOTTOBACINI DEL FIUME LAMBRO.....	6
TABELLA 2:	PARAMETRI A(T) ED N.....	13
TABELLA 3:	PORTATE AL COLMO PER I TEMPI DI RITORNO 10, 200 E 500 ANNI.	24
TABELLA 4:	EVENTO DI PIENA 12-30/11/2002. PORTATE AL COLMO E VOLUMI.	114
TABELLA 5:	PORTATE LIMITE ALLO SCARICO SECONDO IL P.R.R.A.....	117

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1:	ESEMPIO DI IETOGRAMMA CHICAGO	15
FIGURA 2:	IDROGRAMMA IN USCITA DAL LAGO DI PUSIANO – NOVEMBRE 2002.....	17
FIGURA 3:	LETTURE IDROMETRO PEREGALLO (NOVEMBRE - DICEMBRE 2002).....	18
FIGURA 4:	SCHEMA NAM-URBANO	23
FIGURA 5:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM1A.....	27
FIGURA 6:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO REZ	28
FIGURA 7:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO FOC.....	29
FIGURA 8:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO BIS	30
FIGURA 9:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO RAV	31
FIGURA 10:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO BOV	32
FIGURA 11:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM1B	33
FIGURA 12:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM1C.....	34
FIGURA 13:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM2.....	35
FIGURA 14:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM3A.....	36
FIGURA 15:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM3BU	38
FIGURA 16:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM4.....	39
FIGURA 17:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM5.....	40
FIGURA 18:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO BEV1AB	42
FIGURA 19:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO GAN.....	43
FIGURA 20:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO PAS	44
FIGURA 21:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO BEV1C.....	45
FIGURA 22:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM6.....	46
FIGURA 23:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO BEV2	47

FIGURA 24:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM7.....	48
FIGURA 25:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO BEV3	49
FIGURA 26:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM8.....	50
FIGURA 27:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO BRO	51
FIGURA 28:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO CAN.....	52
FIGURA 29:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO PEG	53
FIGURA 30:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM9.....	54
FIGURA 31:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM10.....	56
FIGURA 32:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO MOL.....	57
FIGURA 33:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM11.....	59
FIGURA 34:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM12.....	60
FIGURA 35:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM13.....	62
FIGURA 36:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM14A.....	64
FIGURA 37:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM14B	65
FIGURA 38:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM14C.....	67
FIGURA 39:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM14D.....	68
FIGURA 40:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM15.....	70
FIGURA 41:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM16A.....	72
FIGURA 42:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM16B	73
FIGURA 43:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM16C.....	75
FIGURA 44:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM16D.....	77
FIGURA 45:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM16E	78
FIGURA 46:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM16F	80
FIGURA 47:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM16G.....	82
FIGURA 48:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM17.....	83
FIGURA 49:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM18.....	85
FIGURA 50:	FIGURA 50 – IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM19A.....	86
FIGURA 51:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM19B	88
FIGURA 52:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM19C.....	89
FIGURA 53:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM19D.....	90
FIGURA 54:	IDROGRAMMA SOTTOBACINO LAM20.....	91
FIGURA 55:	DATI REGISTRATI DAL PLUVIOMETRO DI CASLINO DURANTE L'EVENTO DEL 12-30 NOVEMBRE 2002.....	96
FIGURA 56:	CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A CASLINO D'ERBA (T<24 ORE).....	97
FIGURA 57:	CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A CASLINO D'ERBA (T>24 ORE).....	100
FIGURA 58:	DATI REGISTRATI E RICOSTRUITI DAL PLUVIOMETRO DI MOLTEÑO DURANTE L'EVENTO DEL 12-30 NOVEMBRE 2002.....	101
FIGURA 59:	CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A MOLTEÑO (T<24 ORE)	102
FIGURA 60:	CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A MOLTEÑO (T>24 ORE)	105
FIGURA 61:	DATI REGISTRATI DAL PLUVIOMETRO DI VEDUGGIO DURANTE L'EVENTO DEL 12-30 NOVEMBRE 2002	106
FIGURA 62:	CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A VEDUGGIO (T<24 ORE).....	107
FIGURA 63:	DATI REGISTRATI DAL PLUVIOMETRO DI CUSANO MILANINO DURANTE L'EVENTO DEL 12-30 NOVEMBRE 2002	108
FIGURA 64:	CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A CUSANO MILANINO (T<24 ORE)	109
FIGURA 65:	CONFRONTO FRA LE ALTEZZE CUMULATE DI PRECIPITAZIONE 12-30 NOVEMBRE 2002	110
FIGURA 66:	ANDAMENTO DEI LIVELLI NEL LAGO DI PUSIANO DURANTE L'EVENTO DEL 12-30 NOVEMBRE 2002.....	110
FIGURA 67:	A CURA DI AGRIGATE - FONTE METEO SVIZZERA	112
FIGURA 68:	A CURA DI AGRIGATE - FONTE METEO SVIZZERA	112
FIGURA 69:	A CURA DI AGRIGATE - FONTE METEO SVIZZERA	112
FIGURA 70:	A CURA DI AGRIGATE - FONTE METEO SVIZZERA	113
FIGURA 71:	A CURA DI AGRIGATE - FONTE METEO SVIZZERA	113

INDICE DEGLI ALLEGATI

ALLEGATO I – PLUVIOGRAFIA**ALLEGATO 1-A: SERIE STORICA DEI MASSIMI ANNUALI DELLE PIOGGE****ALLEGATO 1-B LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA****ALLEGATO 1-C CURVE DI ISOVALORE DEI PARAMETRI A_T E N**

1. PREMESSA

Ai fini del presente Studio l'asta fluviale del Lambro è stata suddivisa in due parti: una 1^a parte a nord ed in attraversamento di Milano, che va dal Lago di Pusiano fino alla confluenza del Deviatore Redefossi, ed una 2^a parte, a sud di Milano, che dal termine della precedente si sviluppa fino alla confluenza del Lambro nel Po. La presente relazione si riferisce alla 1^a parte del Lambro, fino alla confluenza del Deviatore Redefossi.

L'asta fluviale del fiume Lambro presenta caratteristiche idrauliche assai complesse a causa della presenza diffusa di ponti, traverse e restringimenti di sezione, i quali contribuiscono alla formazione di rigurgiti e di eventuali esondazioni durante eventi di piena anche di non rilevante entità.

Tale elevata antropizzazione del territorio afferente al reticolo idrografico, influenza direttamente le scelte qui effettuate in termini di analisi idrologica, dal momento che, anche qualora fossero risultati disponibili numerosi dati storici circa i valori assunti da livelli idrici e portate in occasione di piene rilevanti, sarebbe stata oltremodo problematica un'analisi che tenesse conto in modo attendibile della loro inevitabile disomogeneità legata alla rapida dinamica delle modificazioni antropiche dell'alveo.

Essendo comunque l'informazione storica di dati idrometrici assolutamente insufficiente (anche se con eccezioni per gli eventi più recenti), l'interpretazione delle dinamiche idrologico-idrauliche non può che avvenire attraverso un'adatta modellistica afflussi-deflussi che consenta di riprodurre sia la situazione in atto sia gli effetti derivanti dai diversi possibili scenari di intervento.

Le alterazioni che le esondazioni dovute alle citate restrizioni d'alveo provocano sulle

onde di piena e quindi anche sui valori dei tiranti idrici e delle portate al colmo sono molto significative, tanto che procedendo verso valle lungo l'asta principale si riduce progressivamente la possibilità di valutare attendibilmente le onde di piena con modelli puramente idrologici.

La rappresentazione matematica dei fenomeni di piena presenta quindi aspetti difforni dal classico schema metodologico che, per i bacini idrografici "naturali" e privi di significative espansioni, prevede l'utilizzazione in serie di un modello idrologico afflussi-deflussi per il calcolo delle onde di piena di assegnato tempo di ritorno e di un modello idraulico di propagazione delle onde di piena lungo i diversi tratti del reticolo idrografico di interesse.

L'approccio puramente idrologico, seppur supportato da un modello idraulico di propagazione delle onde, ha portato nel passato a determinare valori di portata al colmo superiori rispetto a quelli ottenuti considerando un unico modello idrologico-idraulico, come nel caso in oggetto.

Il modello idrologico-idraulico dell'asta principale consente di riprodurre contemporaneamente i diversi meccanismi di formazione delle piene nei sottobacini urbani ed extraurbani e i fenomeni propagatori che alterano le stesse onde di piena in funzione delle numerose limitazioni di sezione, spesso accompagnate da esondazioni.

In tale contesto assumono grande rilevanza i seguenti aspetti modellistici:

- la scelta del livello di dettaglio dei sottobacini è molto importante dal momento che aumentando tale dettaglio si riduce l'incertezza legata alla modellazione afflussi-deflussi dei fenomeni idrologici di formazione della piena nei sottobacini, inevitabilmente di tipo concettuale; nel caso in oggetto l'ampiezza dei sottobacini è stata commisurata al livello di complessità degli stessi, ove possibile nel rispetto del limite di superficie di 10 km² indicato nelle Specifiche Tecniche. Tale limite non è stato rispettato ovunque (ad esempio in corrispondenza dello scaricatore posto nei pressi dell'impianto di depurazione di Peschiera Borromeo del Consorzio Acqua Potabile, si ha un sottobacino che comprende diversi comuni posti ad est del Lambro, da Brugherio a Peschiera Borromeo, il quale ha un'estensione complessiva di circa 110 km², di cui 72 di aree extraurbane e 38 di aree urbane);
- altrettanto importante è la scelta degli schemi modellistici afflussi – deflussi validi rispettivamente per le aree urbane e per quelle extraurbane, dal momento che per queste ultime possono valere gli usuali schemi concettuali prima citati, mentre per quelle urbane è necessaria una simulazione più vicina all'effettivo comportamento idraulico del reticolo fognario, soggetto ad entrare in sovraccarico, con conseguenti limitazioni di portata ed esondazioni superficiali, in occasione degli eventi più intensi (che sono quelli di interesse del presente studio). Per rappresentare tali aspetti il modello idrologico-idraulico è stato configurato per i sottobacini urbani utilizzando lo stesso modulo concepito per i sottobacini extraurbani ma ponendo in serie ad esso un serbatoio dotato di bocca d'uscita tarata; in tale modo è possibile simulare la limitazione di portata derivante dalle insufficienze presenti nelle reti fognarie e i conseguenti eventuali fenomeni di invaso.

Per i motivi sopra esposti, nella presente relazione vengono considerate le onde di piena di riferimento limitatamente ai singoli sottobacini, rimandando all'analisi idraulica la

valutazione delle onde di piena di riferimento lungo l'asta fluviale del fiume Lambro.

Le onde di piena dei singoli sottobacini sono state ottenute, a causa dell'assenza di significative serie storiche di misure di portata, mediante una procedura indiretta che, partendo dall'analisi probabilistica degli eventi pluviometrici intensi e tramite un modello distribuito di trasformazione afflussi meteorici – deflussi, fosse in grado di tener conto della varia morfologia del bacino e della diversa urbanizzazione dei territori. Tali modelli di trasformazione, unitamente al modello idraulico dell'asta del Lambro sono stati validati con i dati relativi all'evento di piena verificatosi nella seconda metà del mese di novembre 2002, del quale si dispone di discrete ed attendibili registrazioni di piogge e portate in alcuni punti del bacino. Tale evento, descritto nel capitolo 5, ha permesso inoltre di individuare una precipitazione critica per i bacini di monte afferenti ai laghi di Pusiano e di Alserio. Per tali sottobacini lo ietogramma Chicago, utilizzato per gli altri sottobacini, non è in grado di produrre una sollecitazione tale da generare un valore di portata dello stesso tempo di ritorno della precipitazione, a causa dei fenomeni di invaso che avvengono nei laghi stessi. Tale evento di piena si è dimostrato critico nei confronti dei bacini afferenti ai laghi, in quanto i volumi idrici in ingresso sono stati tali da ridurre notevolmente i fenomeni di attenuazione delle portate al colmo in uscita dai laghi in seguito ai fenomeni d'invaso.

Per tali motivi l'evento di novembre 2002 è stato utilizzato come precipitazione di riferimento per l'analisi idrologico-idraulica della porzione di bacino di monte fino ai laghi di Pusiano e di Alserio compresi.

La presente relazione chiude l'analisi, come detto, alla confluenza con il Deviatore Redefossi in comune di San Giuliano Milanese. Il tratto di valle, sino alla confluenza in Po, è commentato in apposita relazione ove sono evidenziate le particolarità che lo caratterizzano quasi come corso d'acqua indipendente.

2. IL BACINO DEL FIUME LAMBRO E SUOI SOTTOBACINI

Il fiume Lambro ha origine nel Triangolo Lariano, nelle Prealpi racchiuse tra i due rami del lago di Como, in Comune di Magreglio a quota 1'300 m s.m. circa. Il corso d'acqua prelacuale si sviluppa in direzione nord-sud per un primo tratto sino a Canzo, in direzione est-ovest sino a Ponte Lambro e quindi nuovamente in direzione nord-sud sino al lago di Pusiano nel quale si immette, in Comune di Erba, a seguito della rettifica e della bonifica eseguita.

All'uscita dal lago di Pusiano il corso d'acqua riprende andamento con direzione prevalente nord-sud e giunge a Villasanta, prima di attraversare il Parco di Monza, attraversando un fondovalle prevalentemente incassato.

La zona che si estende dal Parco di Monza a Sesto San Giovanni fino alle porte di Milano è caratterizzata da un corso ricco di anse e meandri, incassato nell'alveo ordinario dalla serie quasi continua di insediamenti circostanti, ma immerso in un alveo di massima piena ampio e coronato da un terrazzamento continuo ed evidente soprattutto in sponda destra. In questa zona le sponde del Lambro sono quasi ininterrottamente cinte da insediamenti abitativi e produttivi, per la maggior parte edificati entro l'alveo di piena e quindi in aree sottratte alla naturale espansione del fiume.

A questa parte ne segue una, ad Est di Milano, in cui il fiume scorre con pendenza modesta in campagna, in un alveo ordinario tendenzialmente rettilineo, contenuto in arginature artificiali che in talune zone ne impediscono l'espansione nelle aree circostanti.

Rispetto ad altri fiumi, il Lambro presenta un'importante particolarità: non riceve per un

lungo tratto compreso tra Villasanta e l'immissione del Redefossi (limite sud del tratto in esame) afflussi naturali; in tale tratto sono presenti solamente affluenti di origine artificiale, costituiti dagli scaricatori di piena e dai terminali dei sistemi fognari comunali e consortili.

Il bacino del Lambro può essere suddiviso sostanzialmente in quattro parti:

- la prima parte del bacino (*Lago*), situata a monte del Lago di Pusiano, presenta numerosi piccoli corsi d'acqua a regime torrentizio, con pendenze generalmente elevate (torrenti Lambretto, Valle di Rezzago, Foce, Ravella, Bistonda, Bova). Al termine di questa parte il fiume diminuisce la sua pendenza sino a confluire nel lago di Pusiano dove deposita notevoli quantità di detriti che ne caratterizzano il conoide; in tale porzione di bacino può anche essere incluso il bacino afferente al lago di Alserio che ha un comportamento simile al lago di Pusiano;
- la seconda parte (*Lambro naturale*), compresa tra il Lago di Pusiano e il comune di Villasanta (a monte del comune di Monza), presenta versanti acclivi o mediamente acclivi ed è caratterizzato da urbanizzazione ridotta; in tale porzione del bacino sono presenti alcuni affluenti, tutti localizzati in sinistra idraulica, di cui i principali sono: Bevera di Molteno, Bevera di Veduggio, Bevera di Renate, Roggia Brovada, Roggia Pegorino e Roggia Molgorana;
- la terza parte (*Lambro urbano*), compreso tra il comune di Monza e la periferia sud-est di Milano, fino alla confluenza del Deviatore Redefossi (limite del tratto oggetto della presente relazione), presenta versanti pressoché pianeggianti ed un'elevata urbanizzazione; il contributo di tale porzione di bacino è interamente derivante dagli scaricatori delle reti fognarie comunali e consortili;
- la quarta parte del bacino (*Lambro irriguo*), compreso tra la confluenza con il Deviatore Redefossi e il fiume Po, è costituito da terreni pianeggianti nei quali è presente un vasto reticolo irriguo; all'interno di tale bacino vi è la confluenza tra il Lambro e il Lambro Meridionale.

Il deflusso della porzione denominata *Lago* è ovviamente influenzato dai fenomeni d'invaso e svaso del Lago di Pusiano e del Lago di Alserio, pertanto tale porzione di bacino produce un idrogramma in ingresso al Lambro con picchi poco accentuati e durate delle onde di piena molto prolungate.

Nella zona *Lambro naturale* i deflussi in ingresso al Lambro dipendono prevalentemente dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, mentre i deflussi della zona *Lambro urbano* risultano influenzati principalmente dalla capacità di smaltimento delle fognature comunali e consortili.

Per quanto riguarda la zona *Lambro irriguo*, come riferito nell'apposita relazione, i deflussi sono influenzati dal reticolo irriguo.

La superficie complessiva del bacino del Lambro, chiuso alla confluenza con il Deviatore Redefossi, è pari a circa 553 km², dei quali 199 km² di aree urbane e 354 km² di aree extraurbane.

Il tracciamento dei sottobacini è stato condotto a partire dai bacini idrografici determinati all'interno dell'attività 5.1.2, scomponendoli in entità di estensione più ridotta, prossima al valore di 10 km² previsto dalle Specifiche Tecniche. Per quanto riguarda la delimitazione dei sottobacini urbani ci si è avvalsi dei dati contenuti nel P.R.R.A. della Provincia di Milano e in studi specifici (es. "Studio per la verifica della funzionalità idraulica della rete dei collettori fognari consortili" – Consorzio Provinciale di Bonifica del Territorio dell'Alto Lambro – 1994), considerando la posizione degli scarichi e degli sfioratori delle reti fognarie comunali e consortili.

In tabella 1 sono riportate le superfici relative ai singoli sottobacini in cui è stato scomposto il bacino idrografico del Lambro. Per ogni sottobacino sono riportati i seguenti dati: nome sottobacino (es. LAM1), superficie complessiva, superficie aree extraurbane (relativo a LAMIN), superficie aree urbanizzate (relativo a LAM1U), sezione o tratto del corso d'acqua nel quale il sottobacino recapita il proprio contributo ed alcune note (es. nome affluente).

All'interno delle note è inoltre riportato il caso in cui il sottobacino contribuisce agli afflussi solo per la componente urbana attraverso la rete fognaria e non contribuisce per la componente extraurbana, a causa dell'assenza di reticolo superficiale di recapito nel Lambro e di ridotte pendenze del piano campagna. Per tali bacini di pianura l'area contribuente è costituita dalla sola superficie urbana, mentre l'area extraurbana risulta non contribuente. Per i bacini montani e pedemontani, l'esistenza di un reticolo idrografico superficiale e la pendenza del piano campagna fanno sì che la superficie contribuente sia pari a quella complessiva del sottobacino (area urbana e area extraurbana).

Il modello idrologico di seguito descritto tratta pertanto diversamente i tributari naturali dai tributari artificiali: in primo luogo poiché diversi sono i tempi di risposta dei bacini naturali e dei bacini urbani; in secondo luogo poiché il reticolo artificiale presenta portate massime ammissibili ben definite ed in genere limitate a valori associabili a circa 2-10 anni di tempo di ritorno (valori per i quali le reti fognarie urbane dell'area in oggetto sono insufficienti), limite questo che, in caso di eventi eccezionali, induce in determinate zone servite da un unico collettore che allaccia il bacino artificiale al corso d'acqua, fenomeni di allagamento diffuso e pertanto una laminazione dei deflussi. In tali casi le immissioni in alveo risultano localizzate in corrispondenza di punti ben precisi (scaricatori di piena).

Tabella 1: Sottobacini del Fiume Lambro

Nome bacino	Superficie [kmq]	Applicazione bacino			Note
		Concentrato [sez.]	distribuito		
			da [sez.]	a [sez.]	
LAM1A	15.36		Lambrone		Bacino prelacuale
LAM1AN	14.59				
LAM1AU	0.77				
REZ	12.13	Lambrone			Affluente Rezzago
REZN	11.45				
REZU	0.68				
FOC	8.15	Lambrone			Affluente Foce
FOCN	7.48				
FOCU	0.67				
BIS	6.85	Lambrone			Affluente Bistonda

Nome bacino	Superficie [kmq]	Applicazione bacino			Note
		Concentrato [sez.]	distribuito		
			da [sez.]	a [sez.]	
BISN	6.67	Lambrone			Affluente Ravella
BISU	0.18				
RAV	10.09				
RAVN	8.64	Lambrone			Affluente Bova
RAVU	1.45				
BOV	4.75				
BOVN	4.58	Lambrone			Bacino prelacuale
BOVU	0.17				
LAM1B	7.14		Lambrone		
LAM1BN	5.59				
LAM1BU	1.55				
LAM1C	6.97	Lambrone			Bacino prelacuale
LAM1CN	5.08				
LAM1CU	1.89				
LAM2	22.86	LA 132.19			Bacino Lago Pusiano
LAM2N	18.92				
LAM2U	3.94				
LAM3A	16.51	LA 132.12			Bacino Lago Alserio
LAM3AN	12.67				
LAM3AU	3.84				
LAM3B	3.2	LA 132.12			Bacino Lago Alserio Erba
LAM3BN	1.03				
LAM3BU	2.17				
LAM4	1.38	LA 132.18		LA 132.8	Merone
LAM4N	0.82				
LAM4U	0.56				
LAM5	10.2	LA 132.7		LA 124.3	Lambrugo
LAM5N	7.63				
LAM5U	2.57				
BEV1A-B	18.28	Bevera			Affluente Bevera Molteno a monte confluenza Gandaloglio
BEV1AN	12.6				
BEV1AU	5.68				
BEV1C	10.73	Bevera			Affluente Bevera Molteno
BEV1CN	7.95				
BEV1CU	2.78				
GAN	11.11	Bevera			T. Gandaloglio (affluente della Bevera di Molteno)
GANN	9.01				
GANU	2.1				
PAS	1.98	Bevera			Fosso del Pascolo (Affluente della Bevera di Molteno)
PASN	1.81				
PASU	0.17				
LAM6	10.93	LA 124.2		LA 120.3	Veduggio
LAM6N	8.66				
LAM6U	2.27				
BEV2	17.99	LA 120.2			Affluente Bevera Veduggio
BEV2N	11.46				
BEV2U	6.53				

Nome bacino	Superficie [kmq]	Applicazione bacino			Note
		Concentrato [sez.]	distribuito		
			da [sez.]	a [sez.]	
LAM7	4.6		LA 120.2	LA 118	Inverigo
LAM7N	2.4				
LAM7U	2.20				
BEV3	19.29	LA 118			Affluente Bevera Renate
BEV3N	14.14				
BEV3U	5.15				
LAM8	11.75		LA 117.3	LA 109.3	Briosco, Verano Brianza
LAM8N	7.81				
LAM8U	3.94				
BRO	6.37	LA 106.3			Affluente Brovada
BRON	4.95				
BROU	1.42				
CAN	3.08	LA 104.2			Affluente Cantalupo
CANN	2.5				
CANU	0.58				
PEG	10.89	LA 103.2			Affluente Pegorino
PEGN	8.06				
PEGU	2.83				
LAM9	11.72		LA 109.3	LA 100.2	Villasanta Scaricatore AL 7 (ALSI)
LAM9N	7.78				
LAM9U	3.94				
LAMI0	6.58	LA 102.2			ALSI Scaricatore AL 8 Solo contributo urbano
LAMI0N	2.57				
LAMI0U	4.01				
MOL	19.77	LA 101.3			Roggia Molgorana
MOLN	14.14				
MOLU	5.63				
LAMI1	6.90	LA 100.1.1			ALSI Scaricatore AL 6 Solo contributo urbano
LAMI1N	3.39				
LAMI1U	3.51				
LAMI2	8.92	LA 97.3			ALSI Scaricatore AL 5 Solo contributo urbano
LAMI2N	6.74				
LAMI2U	2.18				
LAMI3	3.48	LA 97.2			ALSI Scaricatore AL 4 Solo contributo urbano
LAMI3N	1.83				
LAMI3U	1.65				
LAMI4A	2.70	LA 95.2.1			Monza Scaricatore MZ 1-2-3 Solo contributo urbano
LAMI4AN	1.1				
LAMI4AU	1.60				
LAMI4B	0.90	LA 94.2			Monza Scaricatore MZ 4 Solo contributo urbano
LAMI4BN	0				
LAMI4BU	0.90				
LAMI4C	2.80	LA 93.3			Monza Scaricatore MZ 5 Solo contributo urbano
LAMI4CN	0				
LAMI4CU	2.80				
LAMI4D	1.70	LA 93.2			Monza Scaricatore MZ 6
LAMI4DN	1				

Nome bacino	Superficie [kmq]	Applicazione bacino			Note
		Concentrato [sez.]	distribuito		
			da [sez.]	a [sez.]	
LAM14DU	0.70				Solo contributo urbano
LAM15	15.80	LA 91.2.1			ALSI Scaricatore AL 3 Solo contributo urbano
LAM15N	9				
LAM15U	6.80				
LAM16A	25.47	Collettore Alto Lambro Rete Ovest			ALSI Seregno, Giussano, ... Solo contributo urbano
LAM16AN	10.07				
LAM16AU	15.40				
LAM16B	6.92	Collettore Alto Lambro Rete Ovest			ALSI Seregno Solo contributo urbano
LAM16BN	3.68				
LAM16BU	3.24				
LAM16C	14.53	Collettore Alto Lambro Rete Ovest			ALSI Desio Solo contributo urbano
LAM16CN	7.16				
LAM16CU	7.37				
LAM16D	10.75	Collettore Alto Lambro Rete Ovest			ALSI Lissone Solo contributo urbano
LAM16DN	3.54				
LAM16DU	7.21				
LAM16E	5.57	Collettore Alto Lambro Rete Ovest			ALSI Nova Milanese Solo contributo urbano
LAM16EN	2.32				
LAM16EU	3.25				
LAM16F	5.75	Collettore Alto Lambro Rete Ovest			ALSI Muggio Solo contributo urbano
LAM16FN	2.42				
LAM16FU	3.33				
LAM16G	10.73	Collettore Alto Lambro Rete Ovest			ALSI Monza Solo contributo urbano
LAM16GN	4.21				
LAM16GU	6.52				
LAM17	11.26	LA 85			Sesto San Giovanni Solo contributo urbano
LAM17N	3.22				
LAM17U	8.04				
LAM18	3.72	LA 85.5			Brugherio, Cologno M. Solo contributo urbano
LAM18N	1.41				
LAM18U	2.31				
LAM19A	3.00	LA 78			Milano Scaricatore M1 Solo contributo urbano
LAM19AN	0.00				
LAM19AU	3.00				
LAM19B	3.00	LA 77.1 bis			Milano Scaricatore M2 Solo contributo urbano
LAM19BN	0.00				
LAM19BU	3.00				
LAM19C	5.00	LA 74.1			Milano Scaricatore M3 Solo contributo urbano
LAM19CN	0.00				
LAM19CU	5.00				
LAM19D	4.00	LA 69bis			Milano Scaricatore M4 Solo contributo urbano
LAM19DN	0.00				
LAM19DU	4.00				
LAM20	109.27	LA 63.1 bis			Consorzio CAP Solo contributo urbano
LAM20N	71.83				
LAM20U	37.44				

Come emerge dalla precedente tabella si osserva che dei 50 sottobacini in cui è stato suddiviso il bacino del Lambro fino alla confluenza con il Deviatore Redefossi, ben 23 sono situati nell'ambito pianeggiante e fortemente urbanizzato, nel quale solo la componente delle aree urbane contribuisce alla formazione delle piene nel Lambro. Tali bacini comprendono una superficie complessiva pari a 269 km², pari al 49% della superficie del bacino complessivo.

Si sottolinea inoltre che il bacino sotteso dai laghi di Pusiano e di Alserio ha un'estensione pari a circa 111 km², pari al 20% del bacino complessivo.

All'interno dell'attività 5.2.2/2/1T "*Dati del modello idrologico ed idraulico*" è riportato lo schema idrologico ed idraulico del fiume Lambro, con indicazione dei sottobacini suddetti e delle loro principali caratteristiche (superficie, portata al colmo per tempo di ritorno pari a 200 anni).

La delimitazione dei sottobacini è riportata nel cartogramma posto all'interno dell'attività 5.2.1/4/1C.

3. PLUVIOMETRIA

3.1 GENERALITÀ

La modellazione afflussi – deflussi richiede input pluviometrici idonei alla previsione di onde di piena di assegnato tempo di ritorno.

Tale componente essenziale dell'indagine idrologica richiede, a partire dai dati storici relativi alle precipitazioni di forte intensità e breve durata, di effettuare le seguenti determinazioni:

- a. scelta dei tempi di ritorno necessari per la simulazione delle piene nella situazione in atto e negli scenari di intervento;
- b. elaborazione delle curve di possibilità pluviometrica sia di ogni stazione pluviografica disponibile, sia, attraverso criteri di regionalizzazione, di areali di interesse;
- c. adozione di valori idonei delle durate complessive degli eventi e di forme degli ietogrammi di progetto adatte per la rappresentazione delle dinamiche d'alveo e degli eventuali invasi in aree di espansione;
- d. adozione di idonei valori dei coefficienti di ragguaglio all'area per evitare errori di stima delle precipitazioni intense su areali di vasta dimensione in cui la disuniformità spaziale delle precipitazioni divenga significativa;

- e. adozione di particolari distribuzioni delle precipitazioni, atte a tenere in conto alcune particolarità caratteristiche del bacino.

3.2 TEMPI DI RITORNO

Il presente studio è stato effettuato, in accordo con le scelte dell'Autorità di Bacino del Po, adottando tempi di ritorno pari a 10, 200 e 500 anni.

I tempi di ritorno di 10, 200 e 500 anni sono stati considerati per la ricostruzione delle onde di piena di riferimento per la delimitazione delle aree di allagamento poste a base della delimitazione delle fasce fluviali.

3.3 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

Lo studio delle curve di possibilità pluviometrica di cui al punto b), è stato effettuato per l'intero territorio di indagine dell'ambito idrografico Lambro – Olona, ed ha condotto alle risultanze dettagliatamente esposte nell'Allegato 1 della presente relazione.

Partendo da tali curve si sono determinate per l'intero territorio le isolinee per i parametri n ed $a(T)$; ad ogni sottobacino è stato poi attribuito il valore medio dei parametri $a(T)$ ed n .

Nella Tabella 2 sono riportati per ogni sottobacino i valori dei suddetti parametri per i diversi tempi di ritorno.

Come accennato in premessa, per quanto riguarda i bacini afferenti ai laghi di Pusiano e di Alserio si è scelto, con riferimento al tempo di ritorno di 200 e 500 anni di non utilizzare le curve di possibilità pluviometrica, ma la precipitazione reale verificatasi durante l'evento di fine novembre 2002. Tale evento come meglio specificato nel capitolo 4 ha un elevato valore del tempo di ritorno ($T \sim 200$ anni) per le lunghe durate (15 giorni), ma un modesto valore ($T < 2$ anni) per brevi durate (< 1 giorno). Pertanto per i bacini affluenti ai laghi di Pusiano e di Alserio, nella tabella 2 non sono riportati i parametri a ed n , ma il nome della stazione pluviometrica di riferimento di Caslino.

Come detto, tale scelta deriva dalla constatazione che gli invasi di Alserio e Pusiano entrano in crisi non per piogge brevi ed intense, ma per precipitazioni prolungate nel tempo. La presenza dei due laghi caratterizza il bacino del Lambro rispetto ai restanti corsi d'acqua dell'ambito idrografico nord milanese.

Tabella 2: Parametri $a(T)$ ed n

Nome Bacino	n	a ($T=10$)	a ($T=200$)	a ($T=500$)
LAM1A	0.34	50	Caslino	Caslino
REZ	0.34	50	Caslino	Caslino
FOC	0.34	50	Caslino	Caslino
BIS	0.34	50	Caslino	Caslino
RAV	0.34	50	Caslino	Caslino
BOV	0.34	50	Caslino	Caslino
LAM1B	0.34	50	Caslino	Caslino
LAM1C	0.34	50	Caslino	Caslino
LAM2	0.32	55	Caslino	Caslino
LAM3A	0.32	55	Caslino	Caslino
LAM3B	0.32	55	Caslino	Caslino
LAM4	0.32	55	95	110
LAM5	0.31	56	100	120
BEV1AB	0.29	58	105	125
GAN	0.29	58	105	125
PAS	0.29	58	105	125
BEV1C	0.29	58	105	125
LAM6	0.31	54	100	115
BEV2	0.29	58	105	125
LAM7	0.31	53	95	110
BEV3	0.3	54	95	110
LAM8	0.3	51	90	100
BRO	0.3	51	90	100
CAN	0.29	51	90	100
PEG	0.29	52	90	105
LAM9	0.28	51	85	100
LAM10	0.28	51	85	95
MOL	0.28	52	90	100
LAM11	0.27	52	90	95
LAM12	0.27	52	90	95
LAM13	0.26	52	90	95
LAM14A	0.25	53	90	100
LAM14B	0.25	53	90	100
LAM14C	0.25	53	90	100
LAM14D	0.25	53	90	100
LAM15	0.25	52	85	95
LAM16A	0.3	52	85	95
LAM16B	0.3	52	85	95
LAM16C	0.28	52	85	95
LAM16D	0.28	52	85	95
LAM16E	0.25	53	90	100
LAM16F	0.25	53	90	100
LAM16G	0.25	53	90	100
LAM17	0.23	56	95	105
LAM18	0.23	55	90	100
LAM19A	0.23	50	80	90
LAM19B	0.23	50	80	90
LAM19C	0.23	50	80	90
LAM19D	0.23	50	80	90
LAM20	0.25	48	80	90

3.4 IETOGRAMMI DI CALCOLO

Tra i diversi tipi di piogge sintetiche utilizzate nella progettazione di opere idrauliche, è stato qui utilizzato lo ietogramma Chicago, le cui caratteristiche principali sono: andamento temporale non costante dell'intensità di precipitazione, caratterizzato in particolare dalla presenza di un picco d'intensità posto all'interno della durata complessiva

dell'evento e che separa due rami rispettivamente crescente, prima del picco, e decrescente, dopo il picco, aventi andamento esponenziale; congruità tra le intensità medie dello ietogramma e quelle definite dalla curva di possibilità pluviometrica per qualsiasi durata parziale attorno al picco minore o uguale a quella dello ietogramma complessivo.

Lo ietogramma Chicago presenta molteplici vantaggi largamente messi in luce dagli studi specializzati di settore.

Anzi tutto è da sottolineare come tale ietogramma conduca a riprodurre onde di piena poco sensibili rispetto alla durata totale dell'evento meteorico, poiché un aumento di essa ha effetto solo sul prolungamento delle code iniziale e finale dello ietogramma ove l'intensità è minore.

Inoltre uno stesso ietogramma Chicago, proprio perché è congruente con la curva di possibilità pluviometrica per ogni durata parziale attorno al picco, risulta contenere le piogge critiche di ogni sottobacino del bacino complessivo, purché la durata totale dello ietogramma sia maggiore del tempo di risposta del bacino complessivo. Esso quindi evita la ricerca dell'evento critico specifico di ogni sottobacino, ricerca che, anche se priva di difficoltà concettuali, diviene pesante quando un bacino, come ad esempio il Lambro, sia suddiviso in molti sottobacini ed occorra ogni volta procedere a molteplici simulazioni riferite a differenti tempi di ritorno e a differenti scenari di intervento.

È poi da tenere presente che la presenza del picco dello ietogramma Chicago consente di evitare gli errori di sottostima delle portate al colmo conseguenti, soprattutto nei bacini di piccole e medie dimensioni, all'adozione dello ietogramma costante, assai diffuso nelle elaborazioni idrologiche anche perché particolarmente semplice e ben maneggiabile nei modelli matematici.

Si deve peraltro ricordare che lo ietogramma Chicago, poiché rispetta la curva di possibilità pluviometrica per ogni durata parziale, è caratterizzato da un tempo di ritorno maggiore di quello nominale, con conseguente sovrastima dell'onda di piena. Peraltro l'eventuale sovrastima è da considerarsi positivamente nel campo della pianificazione in cui le valutazioni devono essere a carattere prudenziale, tenendo conto delle inevitabili approssimazioni di tutte le elaborazioni idrologiche.

Per il calcolo dello ietogramma Chicago si è utilizzato il software URBIS che richiede come dati in ingresso: i parametri a e n della prescelta curva di possibilità pluviometrica; la durata della pioggia; il parametro r , che definisce la posizione del picco all'interno della durata complessiva.

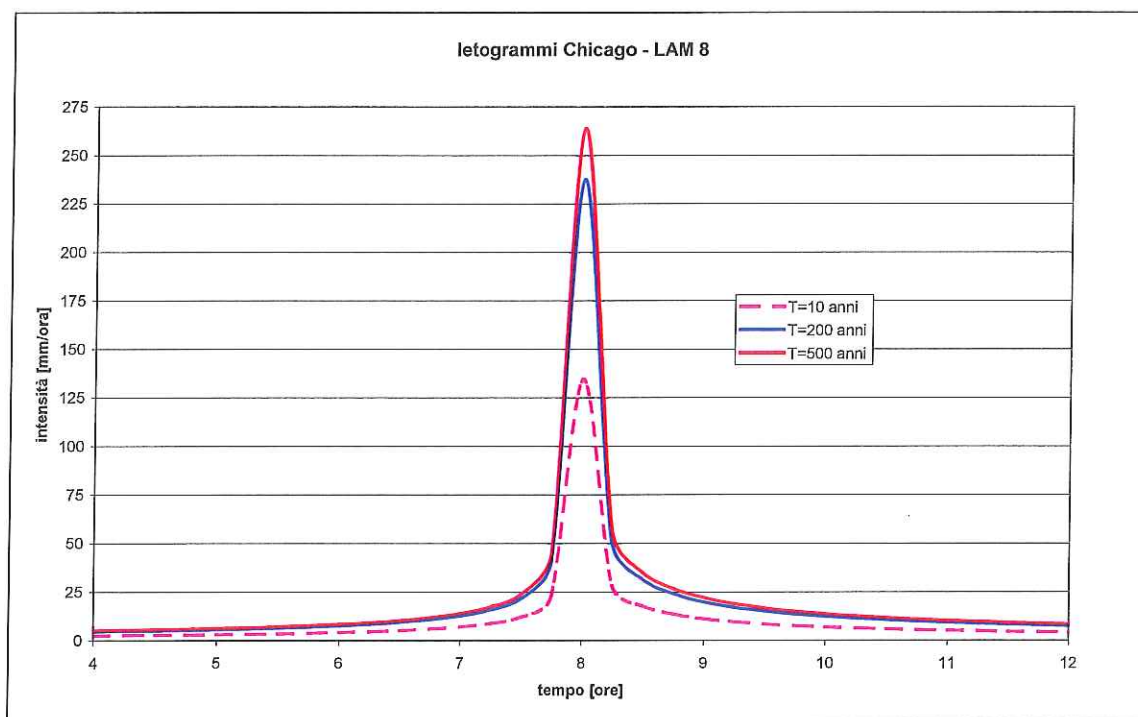
Per il bacino del Lambro chiuso alla confluenza con il Deviatore Redefossi, la durata dello ietogramma è stata assunta pari a 24 ore e il parametro r è stato assunto pari a 0,3. La figura 1 mostra, come esempio, gli ietogrammi Chicago relativi ad uno dei sottobacini del Lambro, corrispondenti ai tempi di ritorno prima citati.

Come accennato in precedenza, per quanto riguarda i sottobacini afferenti ai laghi di

¹ Mignosa P., Paoletti A.: URBIS: Un programma di idrologia urbana, Istituto di Idraulica, Politecnico di Milano, 1986

Pusiano e Alserio non sono stati utilizzati ietogrammi sintetici ma i valori di precipitazione registrati al pluviometro di Caslino durante l'evento di fine novembre 2002.

Figura 1: Esempio di ietogramma Chicago



3.5 RAGGUAGLIO DELLE PRECIPITAZIONI ALL'AREA

Poiché il modello afflussi – deflussi più oltre descritto è stato utilizzato per la simulazione distribuita di ogni sottobacino posto all'interno dell'intero bacino del Lambro (553 km²) chiuso alla confluenza con il Deviatore Redefossi, è stato necessario individuare i coefficienti correttivi di ragguaglio delle precipitazioni a tale valore dell'area.

Precisamente ogni ietogramma Chicago, individuato come sopra detto per ogni sottobacino, deve essere moltiplicato per il coefficiente di ragguaglio riferito al bacino complessivo, allo scopo di tener conto sia pure in modo sintetico della disuniformità della distribuzione spaziale delle piogge legata al movimento delle celle temporalesche.

In proposito è opportuno sottolineare come tale disuniformità sia sempre molto pronunciata negli eventi reali, tanto che è usuale l'osservazione di parti di bacino fortemente investite da forti meteore mentre altre parti del bacino non lo sono, o lo sono state in precedenza.

La letteratura è ricca di studi in proposito, anche se in ogni caso i detti coefficienti correttivi mantengono inevitabilmente una notevole dose di empirismo e quindi di incertezza.

Giova ricordare però che i coefficienti correttivi devono in linea logica essere due.

Il primo è il classico coefficiente di riduzione del volume di pioggia all'area; esso tiene conto che il volume complessivo di pioggia considerato nello ietogramma di progetto come sopra calcolato, da intendersi riferito al centro di scroscio, deve essere ridotto all'aumentare dell'area del bacino per tener conto del fatto che statisticamente altri punti del bacino sono investiti da piogge minori. Il detto coefficiente è quindi minore dell'unità. In proposito, tenuto conto dell'intento pianificatorio dello studio e della necessità di procedere con assunzioni di tipo cautelativo legate alla protezione idraulica del territorio per eventi a carattere straordinario, si è assunto un unico valore del coefficiente di ragguaglio, costante per tutti i sottobacini, pari a 0.9; tale valore è stato ottenuto, in media, applicando per i sottobacini in esame le formule di letteratura (Columbo, Procedura Wallingford, Moisello).

Il secondo è meno diffuso nella pratica idrologica, anche se è decisamente importante come dimostrano alcuni studi (ad esempio, Shilling; Niemczynowicz; Mignosa e Paoletti). Si tratta infatti di un coefficiente correttivo, questa volta maggiore dell'unità, che tiene conto del fatto che l'onda di piena che consegue ad un determinato ietogramma presenta volumi e portate al colmo maggiori qualora la precipitazione avvenga con distribuzione disuniforme nello spazio, rispetto al caso in cui uno ietogramma di pari forma e volume avvenga uniformemente nello spazio. In altri termini, se lo ietogramma che si immette nel modello è lo stesso per tutti i sottobacini, è da attendersi che l'idrogramma che ne consegue sia sottostimato rispetto a quello che si otterrebbe se lo stesso volume complessivo di precipitazione fosse immesso nel modello con distribuzione spaziale disuniforme. Tale comportamento dipende dal carattere non lineare delle perdite idrologiche, che sottraggono volumi di precipitazione non proporzionali agli afflussi lordi.

Pertanto, adottando, come prima detto, per tutti i sottobacini del Lambro uno ietogramma Chicago corretto con il medesimo coefficiente di riduzione all'area pari a 0.9, e dovendosi conseguentemente attendere che le onde di piena siano affette da sottostime dei volumi e delle portate, occorre correggere gli ietogrammi in input con un coefficiente maggiore di 1, allo scopo di compensare tali sottostime.

Anche se gli studi disponibili concordano su tale aspetto, tuttavia le proposte in merito sono ancora poco documentate.

Nel caso di interesse, tenuto conto dei ricordati caratteri dello studio, si è assunto per tale coefficiente il valore 1.1.

3.6 DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI

Per il modello del Lambro non è stata condotta l'ipotesi di contemporaneità dell'evento meteorico sull'intero bacino, utilizzata invece per l'analisi degli altri corsi d'acqua dell'ambito idrografico Lambro-Olona (Seveso, Lura, Bozzente, ecc.); per il Lambro si sono considerati tre sottosistemi indipendenti dal punto di vista della distribuzione della precipitazione; tali sottosistemi, tenendo in conto anche quanto già affermato nel capitolo 1, sono:

1. bacino afferente ai laghi di Pusiano e di Alserio;

2. bacino naturale compreso tra i laghi e Villasanta;
3. bacino urbano da Monza fino alla confluenza con il Deviatore Redefossi.

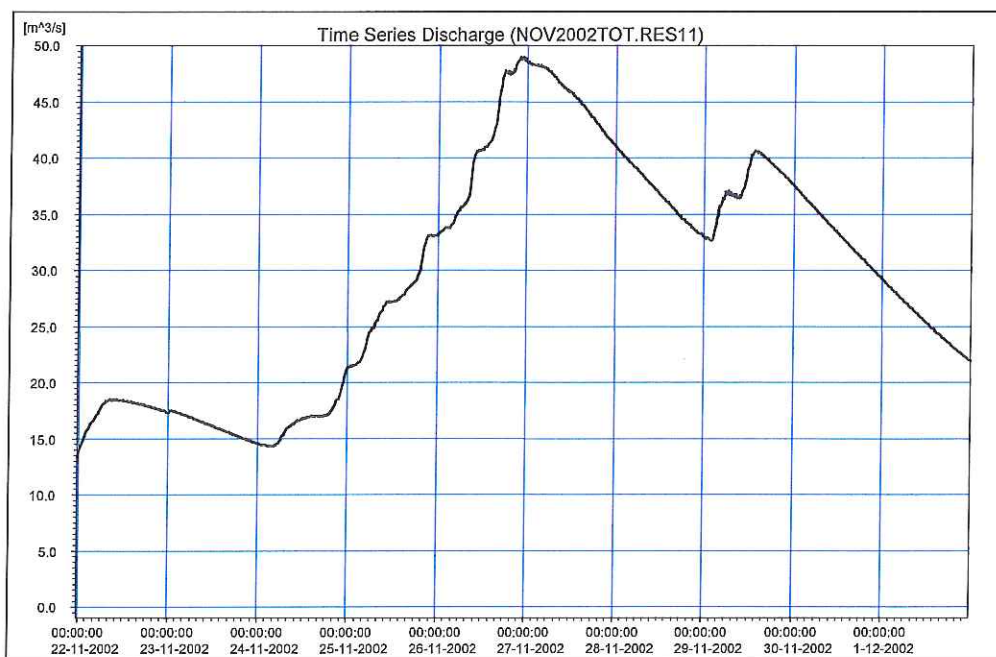
La precipitazione del sottosistema naturale, compreso tra Pusiano e Villasanta, è stata inserita in modo da porre praticamente in fase il colmo dell'onda in uscita dai laghi con i colmi delle onde dei bacini naturali; ovviamente all'interno del sottosistema si è applicata l'ipotesi di contemporaneità delle precipitazioni per tutti i sottobacini naturali.

Per quanto riguarda il sottosistema urbano, compreso tra Monza e Milano (fino alla confluenza con il Deviatore Redefossi), la precipitazione è stata inserita in modo da porre praticamente in fase il colmo dell'onda naturale nel Lambro con i colmi delle onde dei bacini urbani; anche in questo caso si è mantenuta l'ipotesi di contemporaneità delle precipitazioni per i sottobacini interni al sottosistema.

Tale distribuzione delle precipitazioni è giustificata dalle seguenti considerazioni:

- l'onda di piena in uscita dal lago di Pusiano è caratterizzata da una lunga permanenza della portata al colmo e da un lento esaurimento: durante l'evento di fine novembre 2002 la portata al colmo in uscita dal lago è stata pari a circa $48 \text{ m}^3/\text{s}$ e si è mantenuta per circa 14 ore (intervallo di tempo in cui la portata uscente dal lago è risultata compresa tra 47 e $48 \text{ m}^3/\text{s}$), inoltre il valore di portata si è mantenuto a valori superiori a $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (portata per cui il livello del lago è ancora tale da causare zone di allagamento in prossimità del lago stesso) per $5 \div 6$ giorni dal picco di portata (confrontare Figura 2); tale idrogramma fa sì che la probabilità che i deflussi di piena dei bacini naturali si immettano nel Lambro quando in esso sia presente il colmo dell'onda di piena in uscita dal lago non è trascurabile, soprattutto nell'ottica di assetto dell'intera asta fluviale;

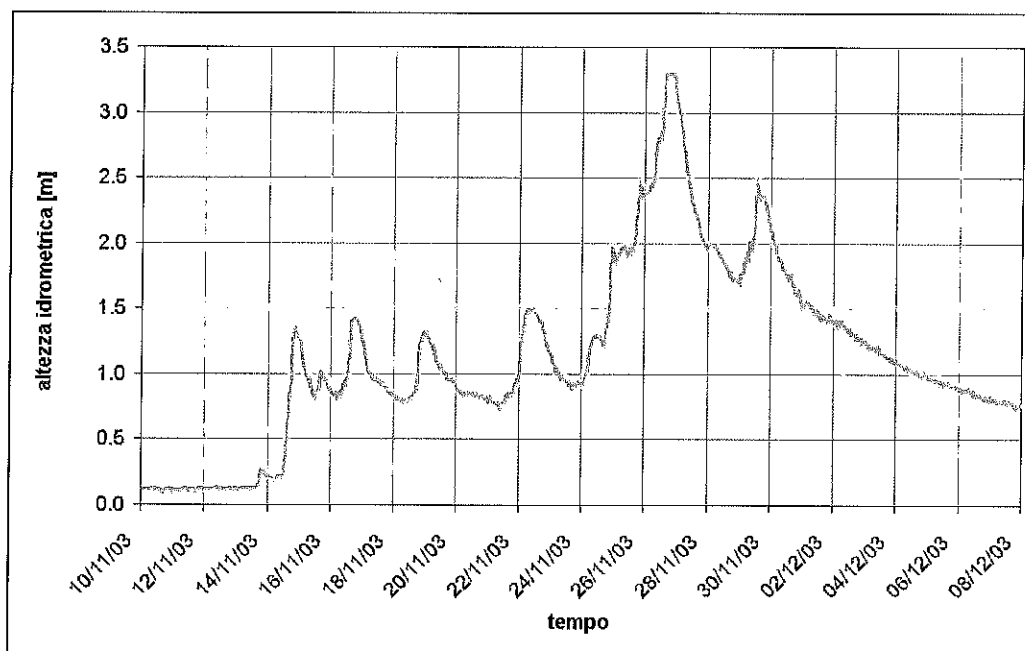
Figura 2: Idrogramma in uscita dal lago di Pusiano – novembre 2002



- l'effetto di persistenza del colmo e il lento esaurimento dell'onda di piena interessa l'intera asta del Lambro sublacuale, come dimostrano le registrazioni dell'idrometro di

Peregallo, posto all'incirca in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino naturale (cfr. Figura 3). Da tali registrazioni si può osservare che il colmo di piena ha una durata complessiva di circa 3 giorni: nei giorni compresi dal 25 al 27 si ha un livello idrometrico superiore a 2 metri, a cui corrispondono portate superiori a $70 \text{ m}^3/\text{s}$. A causa di tale caratteristica, la probabilità che i deflussi di piena dei bacini urbani di valle si immettano nel Lambro quando in esso sia presente il colmo dell'onda di piena proveniente dal bacino naturale non è anch'esso di entità trascurabile, anche alla luce dell'analisi degli eventi alluvionali passati.

Figura 3: Letture idrometro Peregallo (novembre - dicembre 2002)



In mancanza di tale schematizzazione, l'ipotesi di pioggia contemporanea su tutti i bacini comporterebbe che i deflussi urbani, che hanno una risposta impulsiva e molto più rapida rispetto ai bacini naturali, si immettano nel Lambro molto prima dell'arrivo dell'onda naturale proveniente da monte, provocando quindi una sottostima della portata al colmo, non cautelativa e soprattutto non così improbabile.

4. MODELLO IDROLOGICO AFFLUSSI-DEFLUSSI

Nell'ambito del presente studio è stato adottato come modello di simulazione idrologica ed idraulica il modello MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute. Tale software è in grado, attraverso diversi moduli, di integrare il modello afflussi – deflussi con la propagazione dell'onda di piena lungo i diversi tratti del reticolo idrografico naturale e artificiale.

Come espresso in premessa, relativamente alla formazione delle piene nei diversi sottobacini del Lambro è necessario distinguere il comportamento dei sottobacini in condizioni prevalentemente “naturali” da quelli pianeggianti e fortemente urbanizzati. Conseguentemente si è deciso di adottare due modelli differenti per le due categorie di sottobacini.

4.1 IL MODULO NAM PER I BACINI CON RIDOTTA PERCENTUALE DI AREE URBANE

Il modello afflussi-deflussi utilizzato per le valutazioni idrologiche di stima dei contributi di piena dei sottobacini “naturali” afferenti al Fiume Seveso, è il modulo NAM (abbreviazione di un termine danese che significa letteralmente "modello piogge-portate") del programma di calcolo MIKE 11.

Tale modello, costituito sostanzialmente da un set di relazioni matematiche in grado di descrivere quantitativamente la fase terrestre del ciclo dell'acqua, è di tipo deterministico a

parametri concentrati con un discreto, ma moderato, set di grandezze richieste in input.

Esso opera simulando in continuo la variazione di contenuto di acqua (in fase liquida o vapore) di quattro serbatoi distinti e reciprocamente collegati, i quali rappresentano gli elementi fisici principali di un qualsiasi bacino idrografico.

Il modulo NAM tratta ciascuna sottobacino in cui è stato suddiviso l'intero bacino idrografico come un'unità singola; per questo i parametri e le variabili in gioco sono rappresentati come valori medi per ciascun sottobacino.

Il modello matematico è fisicamente basato e utilizza equazioni matematiche unitamente a relazioni semi-empiriche; pertanto alcuni parametri possono essere stimati dai dati fisici del bacino, mentre altri vengono definiti attraverso processi di calibrazione.

I quattro serbatoi rappresentano i seguenti processi:

- accumulo e scioglimento neve (non utilizzato nel presente studio);
- intercettazione;
- infiltrazione;
- immagazzinamento nella falda.

La quantità d'acqua intercettata dalla vegetazione, quale quella immagazzinata nelle depressioni del terreno e nelle porzioni più superficiali del suolo coltivato, è simulata con un serbatoio superficiale di capacità massima U_{max} .

La quantità d'acqua nel livello subito sotto il suolo, cioè la zona delle radici ove avviene anche il processo di traspirazione, è simulata con un serbatoio inferiore sottostante, di capacità massima L_{max} .

La quantità di umidità U nel serbatoio superficiale è continuamente diminuita per evaporazione ed infiltrazione, ma durante la precipitazione viene aumentata in maniera considerevole. Quando viene saturata la capacità massima superficiale U_{max} , parte dell'eccesso di precipitazione P_n inizia a scorrere sulla superficie verso la rete di drenaggio, mentre parte si suddivide in infiltrazione verso la zona sottostante e verso la falda profonda.

Anche la quantità d'acqua contenuta nel serbatoio inferiore L è diminuita dalla traspirazione, mentre il contenuto reale di umidità controlla il tasso di infiltrazione.

L'acqua che percola, cioè la quantità d'acqua che non viene trattenuta in questo serbatoio, passa attraverso la zona insatura e raggiunge, ricaricandolo, il serbatoio della falda satura.

Quando il serbatoio superficiale sfiora, cioè quando $U \geq U_{max}$ l'eccesso di pioggia produce:

- scorrimento, QOF , proporzionale a P_n e variabile linearmente con il contenuto di umidità del suolo nel serbatoio inferiore L/L_{max} ;

- infiltrazione, di cui una parte aumenta il contenuto di umidità del serbatoio L_{max} , mentre l'altra percola in profondità e ricarica il serbatoio rappresentante la falda.

Il contributo del deflusso ipodermico, QIF , è assunto proporzionale ad U e varia linearmente con il contenuto relativo L/L_{max} del serbatoio intermedio, secondo una legge simile alle precedenti con altre costanti adimensionali.

Le perdite per evapotraspirazione sono considerate in prima fase proporzionali al tasso potenziale del serbatoio superficiale; se il contenuto di umidità U è inferiore a tale tasso potenziale, la frazione rimanente per raggiungerlo è presa dalla zona delle radici con un tasso reale Ea , che è proporzionale al tasso potenziale.

Il fenomeno della percolazione viene simulato con un serbatoio lineare con una costante di tempo che ritarda la ricarica della falda.

Il flusso capillare dal livello di falda verso la zona aerata dipende dallo spessore del tratto insaturo nel profilo del terreno, e dal contenuto di umidità relativo L/L_{max} della zona aerata.

Il livello di falda è calcolato con un bilancio fra la porzione di ricarica, la porzione capillare, la perdita verso gli strati più profondi (variabile su scala mensile) e il deflusso di base.

Il deflusso di base è calcolato con un serbatoio lineare con una sua propria costante di tempo, ed avviene quando il livello di falda è superiore al livello massimo.

Il deflusso ipodermico e superficiale sono entrambi simulati attraverso due serbatoi lineari in serie con due costanti di tempo (rispettivamente $CQOF$ e $CK_{1,2}$), le quali nel caso di scorrimento superficiale sono anche variabili nel tempo.

In questo modo si assicura, in pratica, l'assunzione del modello dell'onda cinematica per simulare i processi di deflusso superficiale e ipodermico; il deflusso di base è simulato invece secondo i processi della dinamica sotterranea.

I dati richiesti in ingresso al modello idrologico risultano pertanto essere:

- parametri per il setup delle simulazioni: periodo di simulazione, passo temporale di calcolo;
- parametri del modello: S , L_{max} , U_{max} , $CQOF$, $CK_{1,2}$, $CKIF$, TOF , TIF , TG , $CKBF$;
- condizioni iniziali: contenuto di umidità in tutti i serbatoi, U/U_{max} e L/L_{max} , ed eventuali valori di portata;
- dati meteorologici: precipitazioni reali o di progetto P (ottenute dalle curve di possibilità in funzione della durata della pioggia e del tempo di ritorno T), evapotraspirazione potenziale Ep (nel seguito posta uguale a zero) e temperatura.

Alcuni parametri del modello hanno un chiaro legame con la realtà fisica, altri invece hanno un significato principalmente modellistico.

E' necessario quindi effettuare una buona taratura del modello per ottenere risultati affidabili; essa può essere condotta con una serie storica di dati corrispondenti in input ed in output.

4.2 IL MODULO NAM-URBANO PER I BACINI PIANEGGIANTI CON ELEVATA PERCENTUALE DI AREE URBANE

Per i bacini a contributo prevalentemente urbano, posti nei settori di pianura (*Lambro urbano*), le acque meteoriche raccolte dal sottobacino vengono recapitate nei corsi d'acqua solo attraverso le reti fognarie (scarichi e sfioratori).

In tali aree urbane, infatti, non esiste un reticolo idrografico naturale e l'adduzione al Lambro delle acque meteoriche avviene solo attraverso le reti fognarie e quindi con onde di piena fortemente dipendenti dalle modalità di funzionamento di reti idrauliche a sezione chiusa, dimensionate per bassi tempi di ritorno (tipicamente 2 – 10 anni).

Né d'altra parte sarebbe ipotizzabile una situazione futura presentante nuove dimensioni delle reti fognarie atte a recapitare al Lambro portate meteoriche commisurate per eventi di tempo di ritorno di 100 – 200 anni. Ciò non solo per i costi diretti e indiretti assolutamente inaccettabili che avrebbero collettori così dimensionati, ma anche perché tali portate sarebbero non compatibili e non ricevibili nel fiume Lambro. A tale proposito è anche da ricordare che il P.R.R.A. della Regione Lombardia, riconosciute tali circostanze, ha previsto estesi interventi di laminazione urbana delle portate meteoriche allo scopo di rendere compatibili i deflussi urbani con i corsi d'acqua ricettori. In sostanza le tipiche limitazioni di portata delle reti fognarie devono essere considerate non solo in modo positivo nei riguardi dei corsi d'acqua ricettori, ma anche come non sopprimibili nel futuro e parte fondamentale delle politiche di regimazione idraulica dei territori fortemente urbanizzati.

Per tutto ciò, per rappresentare le onde di piena che dalle aree urbane affluiscono al Lambro, sensibilmente "deformate" dalle limitazioni di portata delle reti fognarie e dai conseguenti fenomeni di invaso negli allagamenti cittadini o nelle vasche volano eventualmente esistenti, non è proponibile l'utilizzazione del modulo puramente idrologico NAM prima esposto, ma è stata qui studiata una particolare applicazione dello stesso modulo, denominata NAM – URBANO.

Il modulo NAM-URBANO è configurato accoppiando lo stesso modulo NAM relativo ai sottobacini extraurbani con un serbatoio dotato di un opportuno limitatore di portata in uscita.

Per simulare la limitazione della portata al colmo si è in generale imposto in uscita dal suddetto serbatoio uno scarico caratterizzato da una tubazione in grado di convogliare una portata al colmo pari a circa 2 anni di tempo di ritorno, condizione oltre la quale, mediamente, le fognature dell'area milanese risultano essere insufficienti e funzionanti in pressione. In alcuni casi, ad esempio Monza, Sesto San Giovanni, Milano, ALSI e Consorzio Acqua Potabile, in presenza di studi e/o caratteristiche geometriche degli scaricatori che permettessero di calcolare la portata massima sfiorata dagli stessi, essa è

stata assunta come portata limite in uscita dal modello NAM-URBANO.

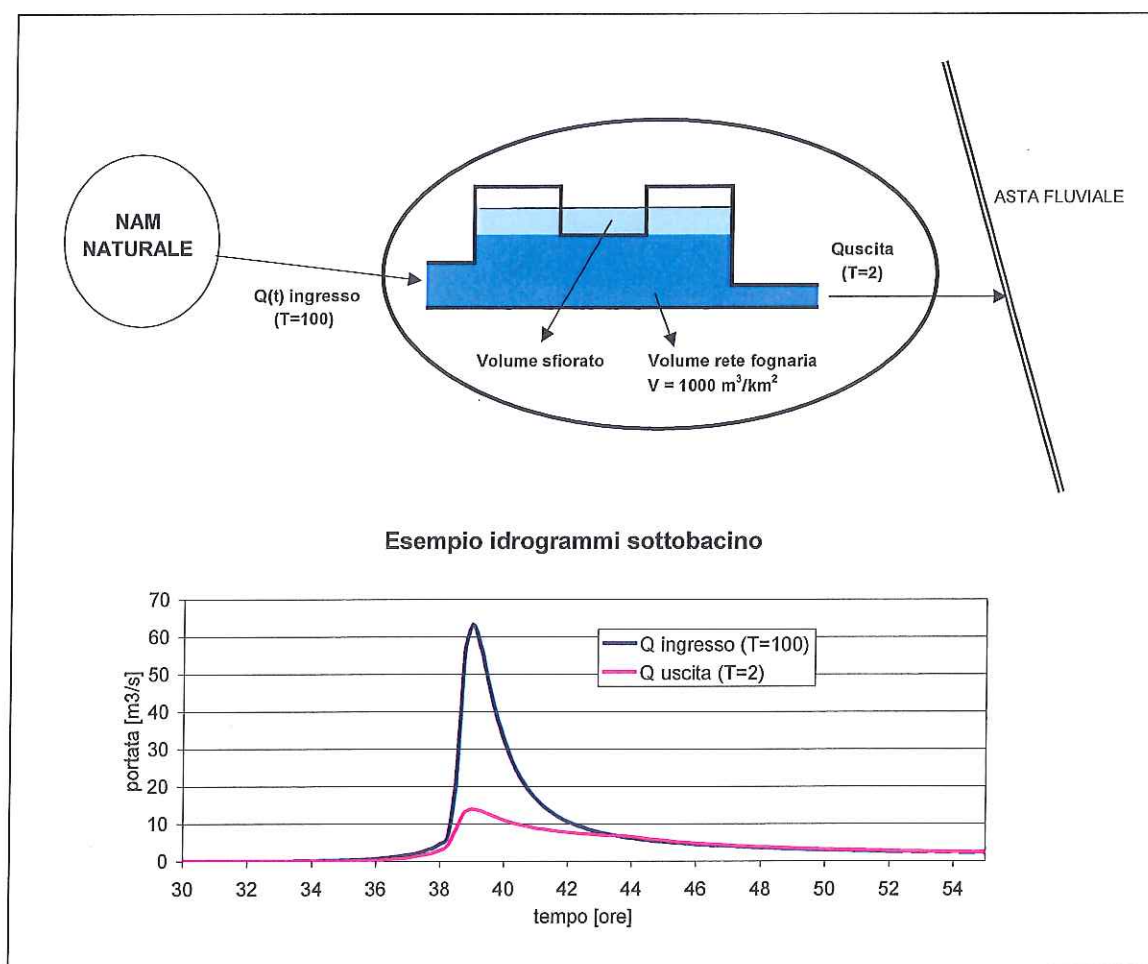
Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma confluyente nel Lambro, il serbatoio prima citato è stato dimensionato in base al volume della rete fognaria; in mancanza di dati si è assunto un valore pari a circa $1'000 \text{ m}^3$ per ogni km^2 di bacino.

Il volume dell'onda di piena che, in relazione allo ietogramma considerato, si forma nel sottobacino e che eventualmente eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in uscita dal modello e in ingresso all'asta fluviale.

Con tale artificio si è inteso rappresentare il comportamento di molte aree urbane del territorio milanese, messo in luce da ripetute indagini sperimentali e teoriche.

Nella Figura 4 viene rappresentato schematicamente il funzionamento del modello NAM-URBANO.

Figura 4: Schema NAM-URBANO



4.3 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI

Per quanto riguarda la scelta dei parametri idrologici del modello NAM e NAM – URBANO per i diversi sottobacini, si è fatto riferimento ai seguenti intervalli di valori:

- $U_{max} = 10 \div 20$ mm;
- $L_{max} = 5 \div 200$ mm (con $L_{max} = 5$ per i bacini urbani);
- $U/U_{max} = 0 \div 0.5$;
- $L/L_{max} = 0 \div 0.5$;
- $CQOF = 0.01 \div 0.8$ (con $CQOF = 0.01$ per i bacini extraurbani non contribuenti);
- $CKIF = 24$ ore;
- $CK1.2 = 1 \div 2$ volte il tempo di corrivazione del bacino.
- $TOF = 0 \div 0.25$.

Per i restanti parametri si sono considerati i valori di default definiti all'interno del codice di calcolo.

La completa definizione dei suddetti parametri si è ottenuta solo dopo la validazione del modello completo, idrologico ed idraulico, attraverso la simulazione dell'evento di fine novembre 2002.

4.4 RISULTATI OTTENUTI

Nel presente paragrafo vengono riportati per ogni sottobacino (secondo la suddivisione riportata nella tabella 1) e per il tempo di ritorno pari a 200 anni i risultati del modello idrologico afflussi–deflussi: onde di piena, portata al colmo, volume dell'onda.

Per ogni sottobacino viene riportata inoltre una breve descrizione inerente alle caratteristiche fisiografiche e al comportamento idrologico, nonché il set dei parametri utilizzati per la simulazione.

Le onde di piena ottenute per tutti i sottobacini del Lambro e per tutti i tempi di ritorno (10, 200 e 500) sono dettagliatamente presentate nell'atto 5.2.1/1/1.

Per semplicità si riporta nella successiva tabella 3 i valori delle portate al colmo per i diversi tempi di ritorno. Per l'evento duecentennale vengono inoltre riportati i valori dei contributi unitari di piena e i volumi delle onde.

Tabella 3: Portate al colmo per i tempi di ritorno 10, 200 e 500 anni.

Bacino	Superficie	T=10	T=200			T=500
		Q max	Q max	q max	V tot	Q max

	contrib.					
	[km2]	[m3/s]	[m3/s]	[m3/s/ km2]	[m3x1'000'000]	[m3/s]
LAM1A	15.4	40.9	34.9 *	2.3 *	6.7 *	34.9 *
REZ	12.1	22.8	24.9 *	2.0 *	5.3 *	24.9 *
FOC	8.1	15.3	16.7 *	2.0 *	3.5 *	16.7 *
BIS	6.8	13.9	14.3 *	2.1 *	3.0 *	14.3 *
RAV	10.1	15.6	20.2 *	2.0 *	4.4 *	20.2 *
BOV	4.7	9.6	9.9 *	2.1 *	2.1 *	9.9 *
LAM1B	7.1	19.8	16.7 *	2.3 *	3.1 *	16.7 *
LAM1C	7.0	17.3	15.4 *	2.2 *	3.0 *	15.4 *
LAM2	22.9	54.6	39.2 *	1.7 *	9.5 *	39.2 *
LAM3A	16.5	59.7	34.2 *	2.1 *	6.8 *	34.2 *
LAM3B	3.2	6.4	3.6 *	1.1 *	0.9 *	3.5 *
LAM4	1.4	5.5	18.3	13.1	0.1	23.7
LAM5	10.2	16.0	65.4	6.4	0.8	98.7
BEV1AB	18.3	11.9	28.2	1.5	1.3	53.5
GAN	11.1	8.7	20.5	1.8	0.8	40.1
PAS	2.0	0.9	2.1	1.0	0.1	3.8
BEV1C	10.7	14.2	31.3	2.9	0.8	69.1
LAM6	10.9	7.7	36.0	3.3	0.8	50.7
BEV2	18.0	13.9	36.7	2.0	1.5	63.6
LAM7	4.6	3.9	17.3	3.8	0.3	24.2
BEV3	19.3	13.9	32.8	1.7	1.4	52.5
LAM8	11.7	6.2	26.3	2.2	0.7	34.2
BRO	6.4	4.1	20.4	3.2	0.4	20.4
CAN	3.1	2.4	12.7	4.1	0.2	16.9
PEG	10.90	5.9	27.6	2.5	0.7	41.4
LAM9	11.7	12.9	50.7	4.3	0.6	71.0
LAM10	4.0	8.9	10.5	2.6	0.4	10.9
MOL	19.8	3.9	13.2	0.7	1.2	16.8
LAM11	3.5	7.2	8.8	2.5	0.4	9.0
LAM12	2.2	4.4	4.4	2.0	0.3	4.4
LAM13	1.6	2.7	2.8	1.7	0.3	2.8
LAM14A	1.6	9.0	11.4	7.1	0.3	11.7
LAM14B	0.9	5.2	6.7	7.4	0.2	6.9
LAM14C	2.8	15.2	21.0	7.5	0.4	21.9
LAM14D	0.7	3.9	5.2	7.4	0.2	5.2
LAM15	6.8	10.0	11.5	1.7	0.6	11.9
LAM16A	15.4	9.1	10.6	0.7	1.2	11.0
LAM16B	3.2	5.2	5.8	1.8	0.5	5.9
LAM16C	7.4	13.0	15.2	2.0	0.8	15.8
LAM16D	7.2	10.7	12.9	1.8	0.7	13.4
LAM16E	3.2	7.2	8.4	2.6	0.4	8.7
LAM16F	3.3	7.2	8.4	2.5	0.4	8.7
LAM16G	6.5	14.5	18.6	2.9	0.6	19.5
LAM17	8.0	32.2	69.6	8.7	0.7	77.5
LAM18	2.3	5.0	5.5	2.4	0.3	5.6
LAM19A	3.0	6.1	14.0	4.7	0.4	16.8
LAM19B	3.0	5.9	12.5	4.2	0.5	14.8
LAM19C	5.0	9.8	23.2	4.6	0.5	27.8
LAM19D	4.0	8.1	18.7	4.7	0.4	22.3
LAM20	37.4	10.6	24.3	0.6	2.2	31.2

* evento reale dal 12 novembre 2002 al 1 dicembre 2002

E' necessario sottolineare che per i sottobacini per i quali si ha solo contributo urbano (LAM10 ÷ LAM20) le aree extraurbane sono prive di reticolo superficiale in grado di convogliare le portate meteoriche nel Lambro e pertanto non contribuiscono alla formazione delle portate di piena; per tali sottobacini, nella tabella 3 sono riportate solo le superfici delle aree urbanizzate. Per i restanti sottobacini, per i quali contribuiscono sia le aree urbane che extraurbane, nella suddetta tabella è riportata l'intera superficie.

4.4.1 Sottobacino LAM1A

Il bacino LAM1A, rappresenta il bacino di testa dell'asta del Lambrone (immissario del Lago di Pusiano), ha un'estensione di circa 15.4 km^2 e comprende il territorio dei comuni di Magreglio, Barni, Lasnigo e Sormano. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

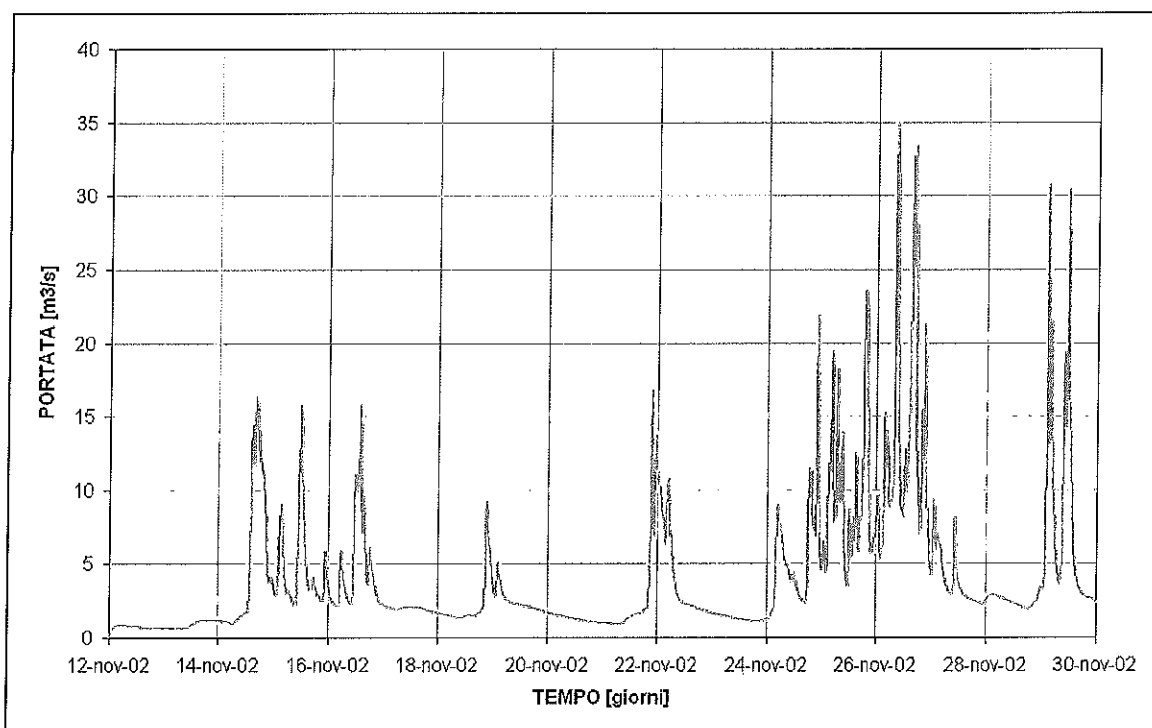
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{\max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{\max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{\max} = 0.5$;
- $L/L_{\max} = 0.5$;
- $CQOF = 0.8$;
- $CK_{1.2} = 0.8 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0.1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono 9.4 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 5 ha una portata al colmo pari a $35 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 6.6 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.7.

Figura 5: Idrogramma sottobacino LAM1A



4.4.2 Sottobacino REZ

Il bacino REZ rappresenta il bacino del torrente Rezzago, affluente del Lambrone, ha un'estensione di circa 12.1 km² e comprende il territorio dei comuni di Caglio e Rezzago. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

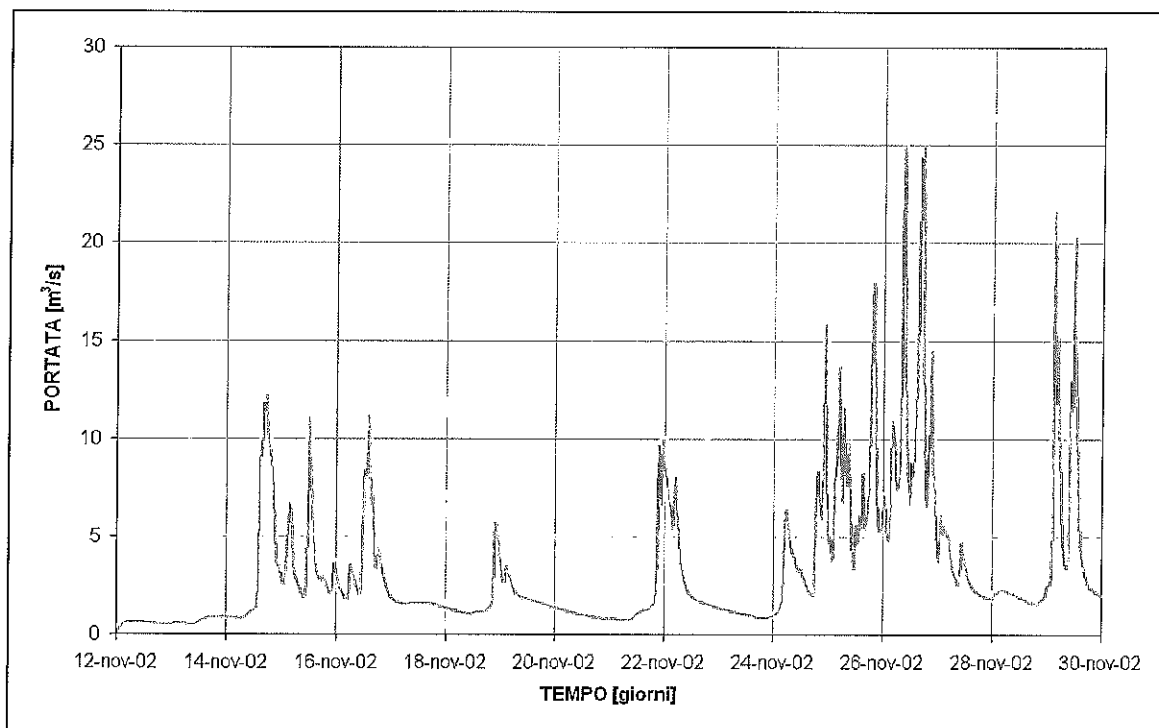
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm};$
- $L_{max} = 200 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0.5;$
- $L/L_{max} = 0.5;$
- $CQOF = 0.8;$
- $CK_{1.2} = 1.2 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.1.$

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono 7.4 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 6 ha una portata al colmo pari a $24.9 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 5.2 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.7.

Figura 6: Idrogramma sottobacino REZ



4.4.3 Sottobacino FOC

Il bacino FOC rappresenta il bacino del torrente Foce, affluente del Lambrone, ha un'estensione di circa 8.1 km^2 e comprende il territorio del comune di Valbrona. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

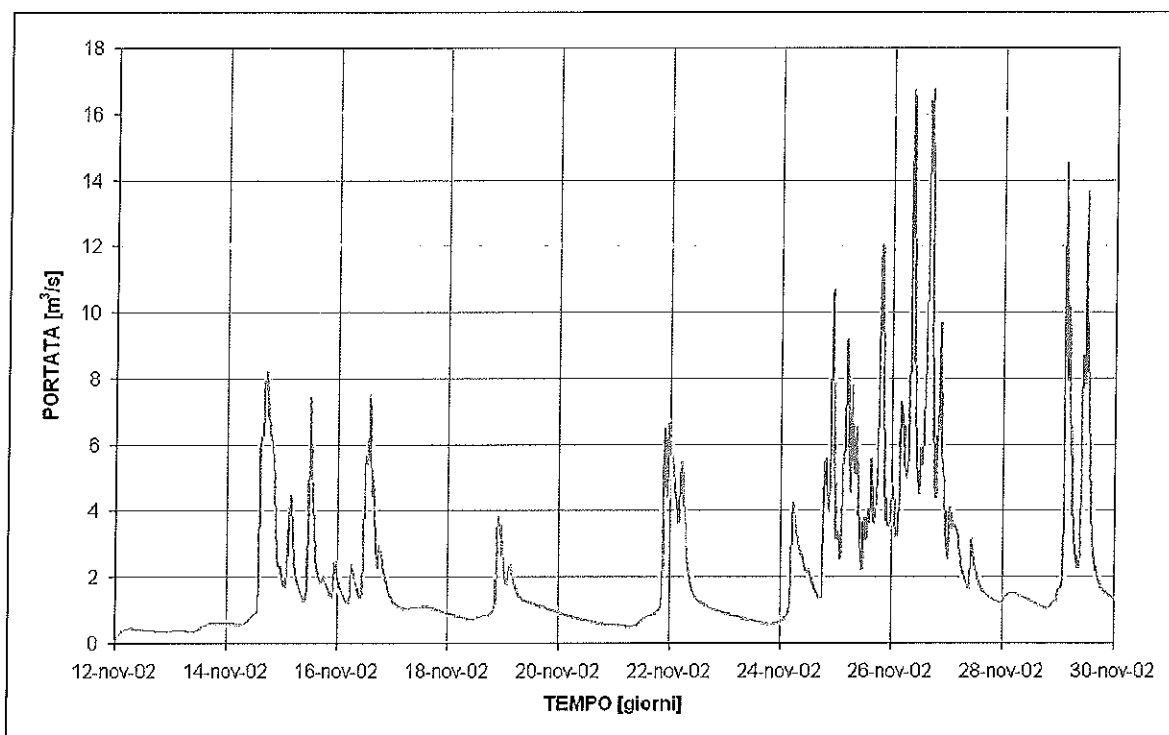
- $U_{\text{max}} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{\text{max}} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{\text{max}} = 0.5$;
- $L/L_{\text{max}} = 0.5$;
- $\text{CQOF} = 0.8$;
- $\text{CK}_{1,2} = 1.2 \text{ ore}$;
- $\text{CKIF} = 24 \text{ ore}$;

- TOF = 0.1.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono circa 5 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 7 ha una portata al colmo pari a $16.7 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 3.5 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.7.

Figura 7: Idrogramma sottobacino FOC



4.4.4 Sottobacino BIS

Il bacino BIS rappresenta il bacino del torrente Bistonda, affluente del Lambrone, ha un'estensione di circa 6.85 km^2 e comprende parte del territorio del comune di Caslino d'Erba. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

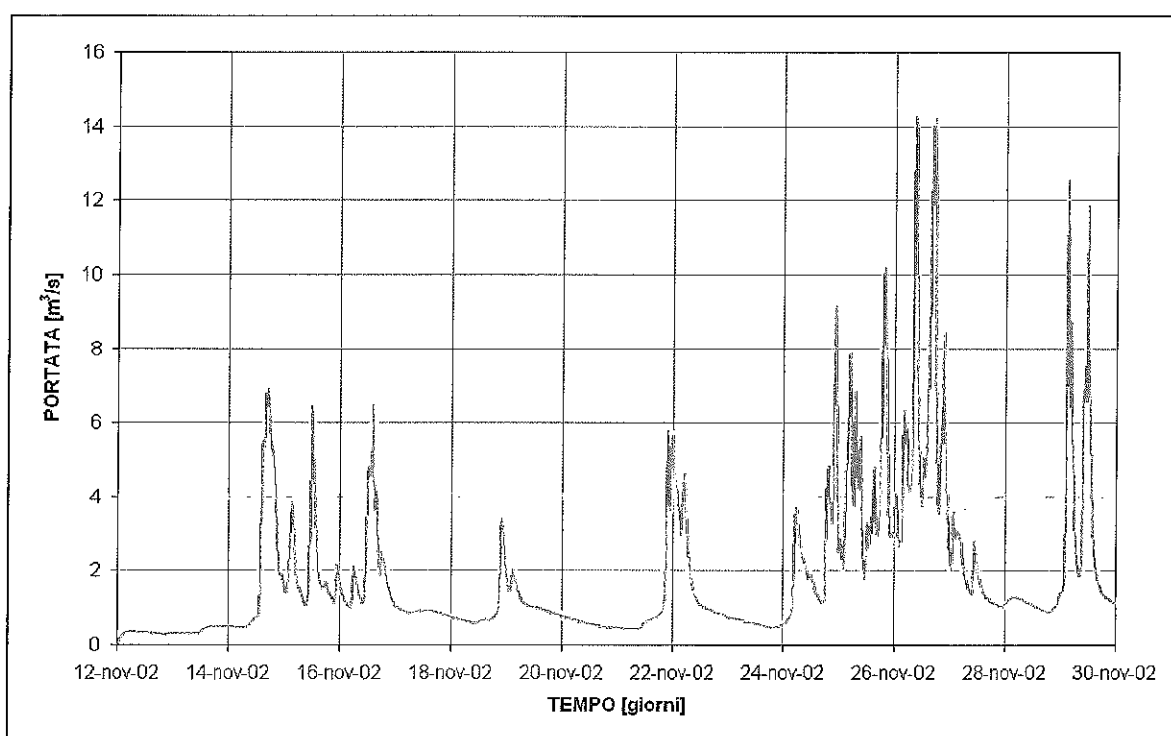
- $U_{\text{max}} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{\text{max}} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{\text{max}} = 0.5$;
- $L/L_{\text{max}} = 0.5$;
- $\text{CQOF} = 0.8$;

- $CK_{1.2} = 1.1$ ore;
- $CKIF = 24$ ore;
- $TOF = 0.1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono circa 4.2 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 8 ha una portata al colmo pari a $14.3 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 2.9 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.69.

Figura 8: Idrogramma sottobacino BIS



4.4.5 Sottobacino RAV

Il bacino RAV rappresenta il bacino del torrente Ravella, affluente del Lambrone, ha un'estensione di circa 10.09 km^2 e comprende parte del territorio del comune di Asso. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

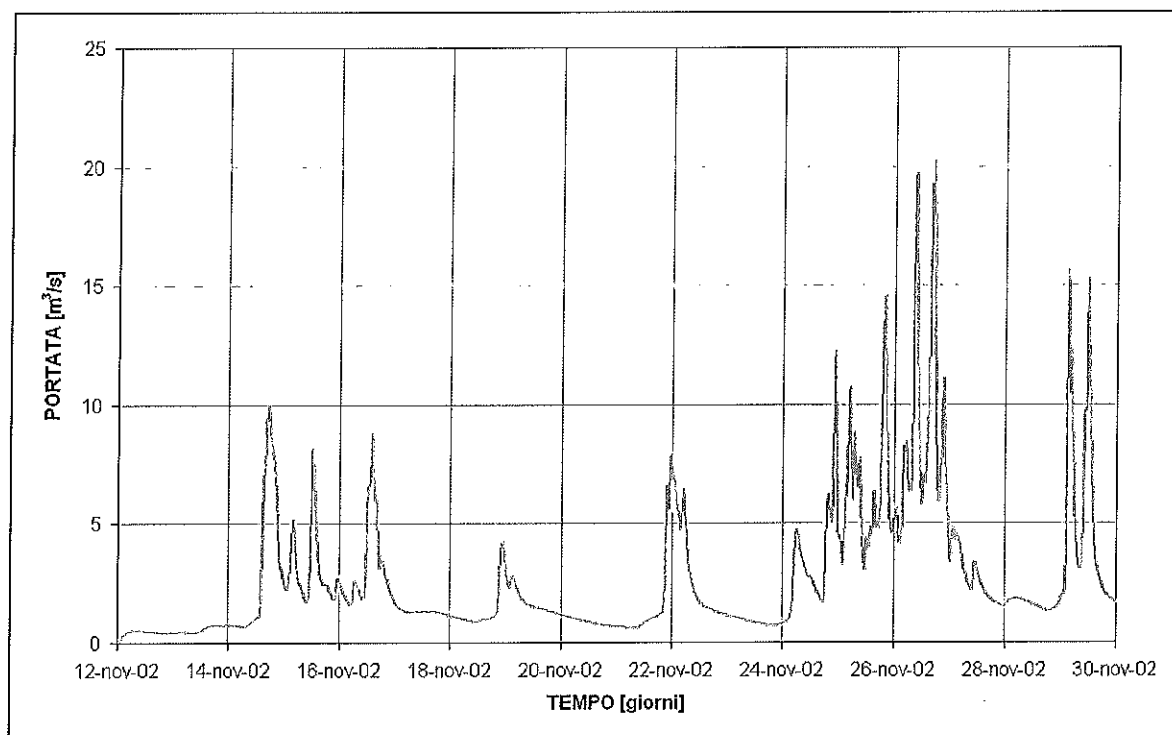
- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;

- $U/U_{max} = 0.5$;
- $L/L_{max} = 0.5$;
- $CQOF = 0.8$;
- $CK_{1,2} = 1.5$ ore;
- $CKIF = 24$ ore;
- $TOF = 0.1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono circa 6.2 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 9, ha una portata al colmo pari a $20.2 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 4.3 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.69.

Figura 9: Idrogramma sottobacino RAV



4.4.6 Sottobacino BOV

Il bacino BOV rappresenta il bacino del torrente Bova, affluente del Lambrone, ha un'estensione di circa 4.75 km^2 e comprende parte del territorio del comune di Erba. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

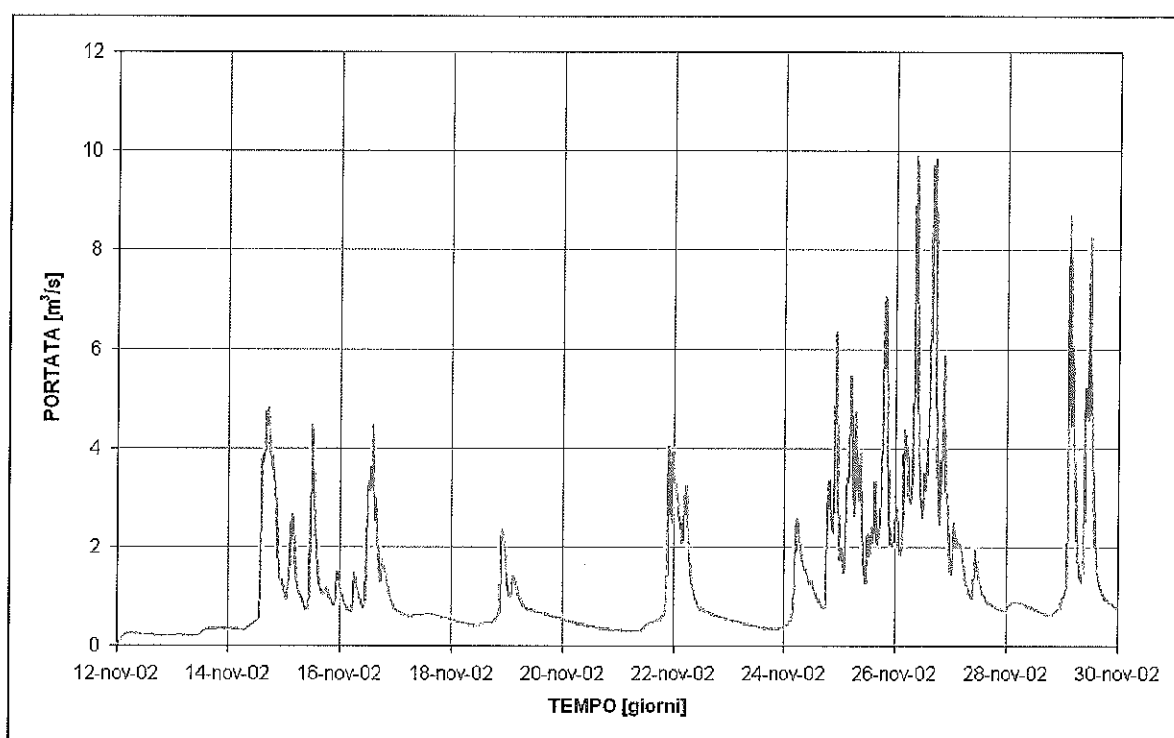
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm};$
- $L_{max} = 200 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0.5;$
- $L/L_{max} = 0.5;$
- $CQOF = 0.8;$
- $CK_{1,2} = 1.1 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.1.$

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono circa 2.9 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 10, ha una portata al colmo pari a $9.9 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 2 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.69.

Figura 10: Idrogramma sottobacino BOV



4.4.7 Sottobacino LAM1B

Il bacino LAM1B, rappresenta parte del bacino diretto del Lambrone (immissario del Lago di Pusiano), ha un'estensione di circa 7.14 km^2 e comprende parte del territorio dei comuni di Asso e Caslino d'Erba. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto

acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

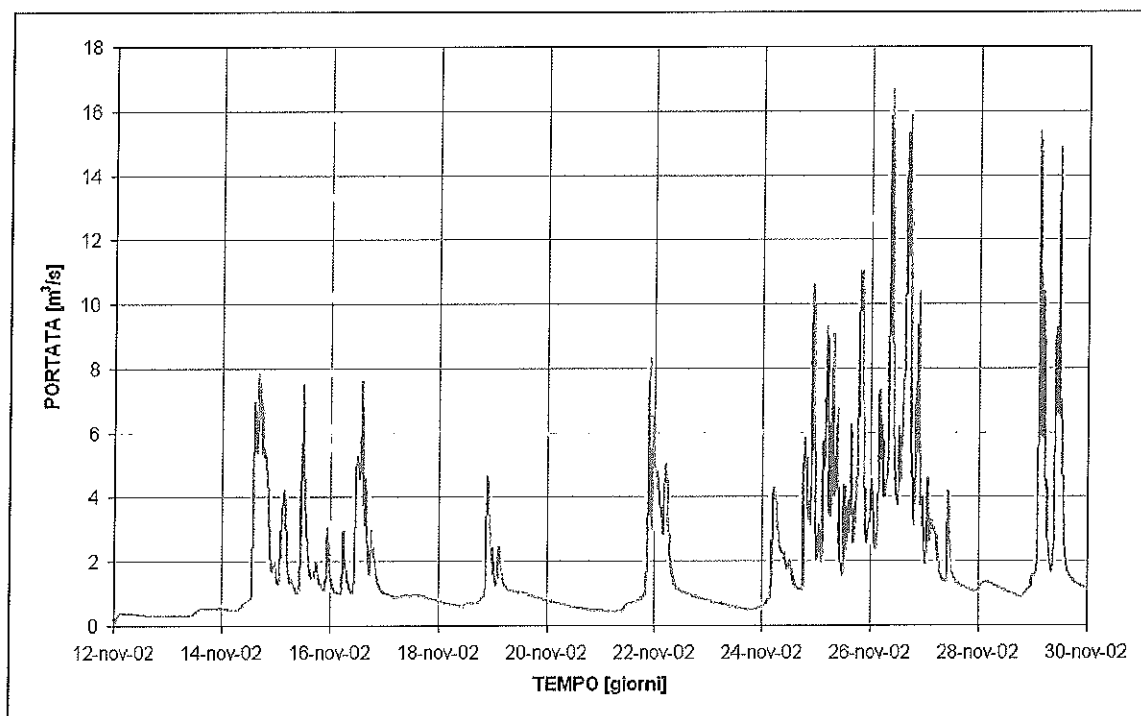
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0.5$;
- $L/L_{max} = 0.5$;
- $CQOF = 0.8$;
- $CK_{1,2} = 0.7 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0.1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono 4.4 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 11, ha una portata al colmo pari a $16.7 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 3.1 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.7.

Figura 11: Idrogramma sottobacino LAM1B



4.4.8 Sottobacino LAM1C

Il bacino LAM1C, rappresenta parte del bacino diretto del Lambrone (immissario del Lago di Pusiano), ha un'estensione di circa 6.97 km^2 e comprende parte del territorio dei comuni

di Ponte Lambro, Erba e Longone al Segrino. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

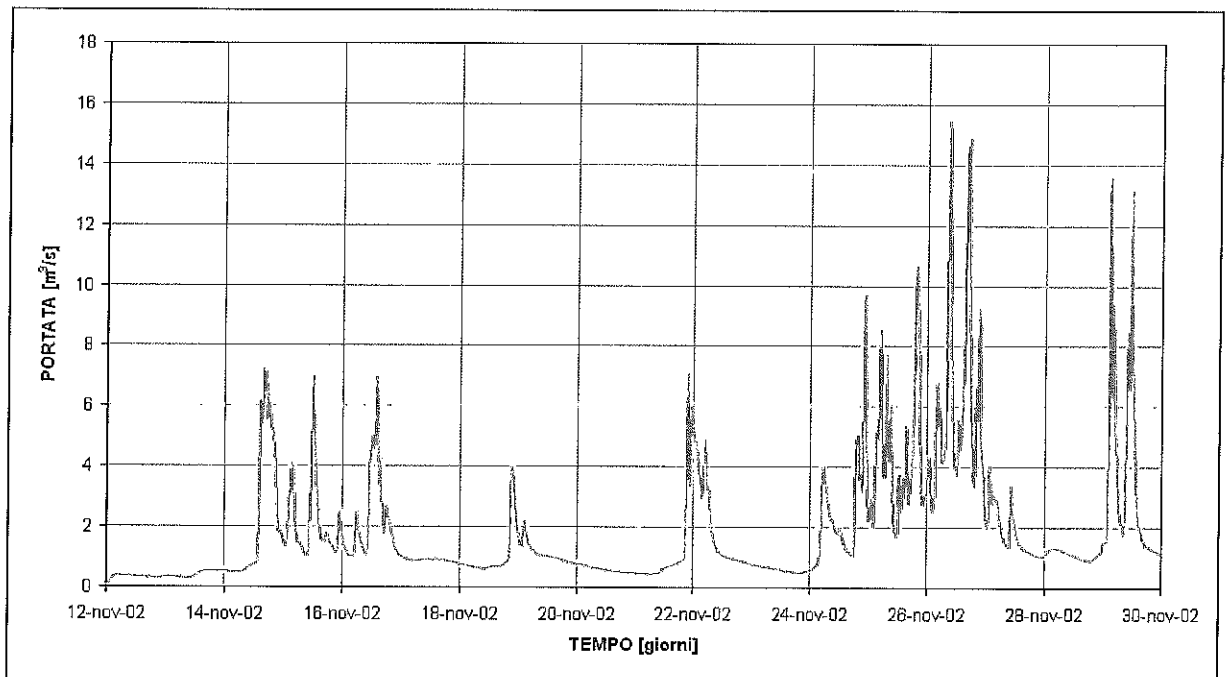
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0.5$;
- $L/L_{max} = 0.5$;
- $CQOF = 0.8$;
- $CK_{1,2} = 0.9 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0.1$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono 4.3 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 12, ha una portata al colmo pari a $15.4 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 3 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.7.

Figura 12: Idrogramma sottobacino LAM1C



4.4.9 Sottobacino LAM2

Il bacino LAM2, rappresenta il bacino diretto del Lago di Pusiano, ha un'estensione di

circa 22.86 km² e comprende il territorio dei comuni di Pusiano, Longone al Segrino, Cesana di Brianza, Bosisio Parini. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM). All'interno di tale bacino sono compresi due laghi: lago di Pusiano (5.3 km²) e lago del Segrino (0.4 km²).

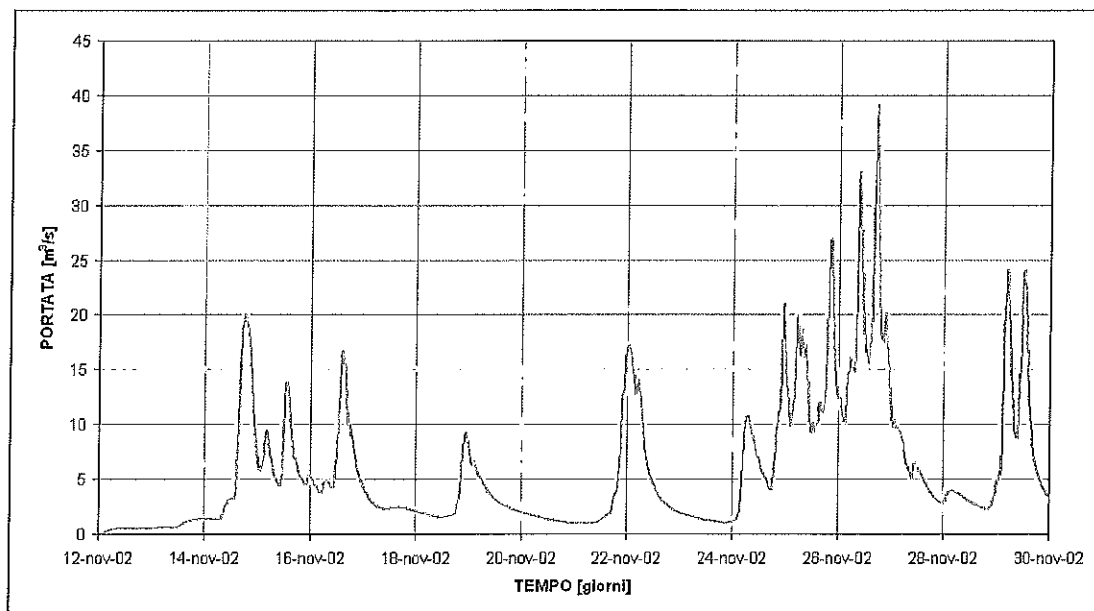
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 10$ mm;
- $L_{max} = 50$ mm;
- $U/U_{max} = 0.5$;
- $L/L_{max} = 0.5$;
- $CQOF = 0.6$;
- $CK_{1.2} = 3$ ore;
- $CKIF = 24$ ore;
- $TOF = 0$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono 14 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 13, ha una portata al colmo pari a 39.2 m³/s e un volume complessivo pari a circa 9.4 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.67.

Figura 13: Idrogramma sottobacino LAM2



4.4.10 Sottobacino LAM3A

Il bacino LAM3A, rappresenta il bacino diretto del Lago di Alserio, ha un'estensione di

circa 16.51 km² e comprende il territorio dei comuni di Albavilla, Orsenigo, Alserio e parte di Erba. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM). All'interno di tale bacino è presente il lago di Alserio (1.3 km²).

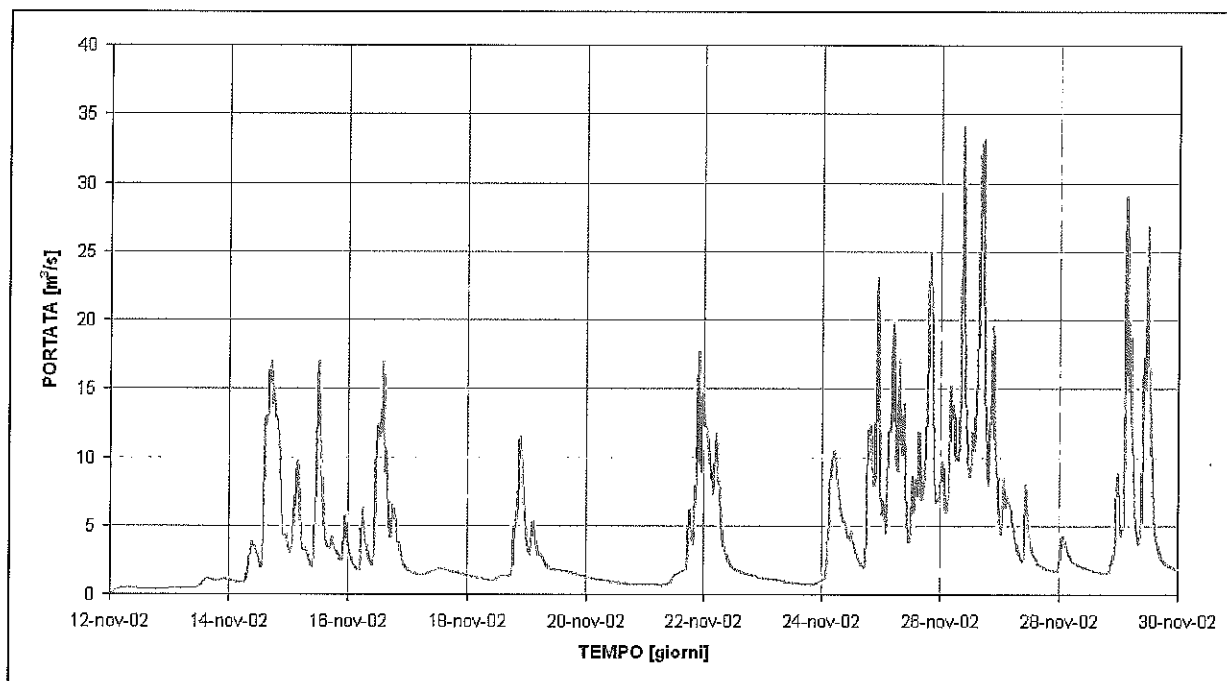
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 50 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0.5$;
- $L/L_{max} = 0.5$;
- $CQOF = 0.6$;
- $CK_{1,2} = 1.1 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono 10 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 14, ha una portata al colmo pari a 34.2 m³/s e un volume complessivo pari a circa 6.8 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.68.

Figura 14: Idrogramma sottobacino LAM3A



4.4.11 Sottobacino LAM3B

Il bacino LAM3B, afferente all'asta dell'emissario di Alserio, ha un'estensione di circa 3.2 km² (di cui 2.17 km² di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio del comune di Erba. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è sia di tipo urbano (modello NAM-URBANO) che di tipo naturale.

Per quanto riguarda il bacino naturale i principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 200 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0.5;$
- $L/L_{max} = 0.5;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1.2} = 0.5 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è pari a 611.40 mm, a cui corrispondono 0.63 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita ha una portata al colmo pari a 1.1 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.26 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.41.

Per quanto riguarda il bacino urbano del comune di Erba, i principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0.5;$
- $L/L_{max} = 0.5;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1.2} = 1 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

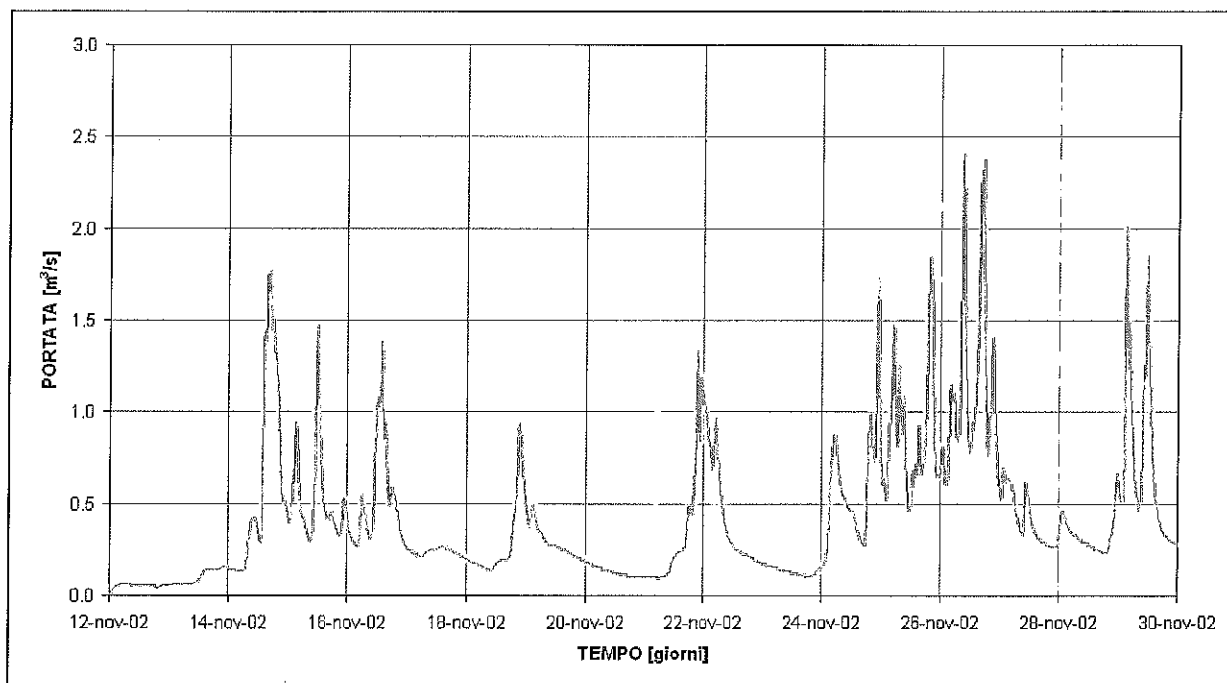
Considerando l'evento reale dal 12 al 30 novembre 2002, l'altezza di precipitazione lorda è

pari a 611.40 mm, a cui corrispondono 1.3 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 15, ha una portata al colmo pari a $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.68 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a circa 0.52.

L'evento considerato non è stato tale da sollecitare il reticolo fognario oltre le sue capacità di convogliamento e di recapito, pertanto l'idrogramma entrato in rete si è riversato interamente e senza limitazioni della portata al colmo nel reticolo superficiale (emissario di Alserio).

Figura 15: Idrogramma sottobacino LAM3BU



4.4.12 Sottobacino LAM4

Il bacino LAM4, rappresenta il bacino diretto del Lambro, compreso tra l'uscita dal lago di Pusiano e il ponte ferroviario (sezione LA 132.8) ha un'estensione di circa 1.38 km^2 e comprende il territorio del comune di Merone. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

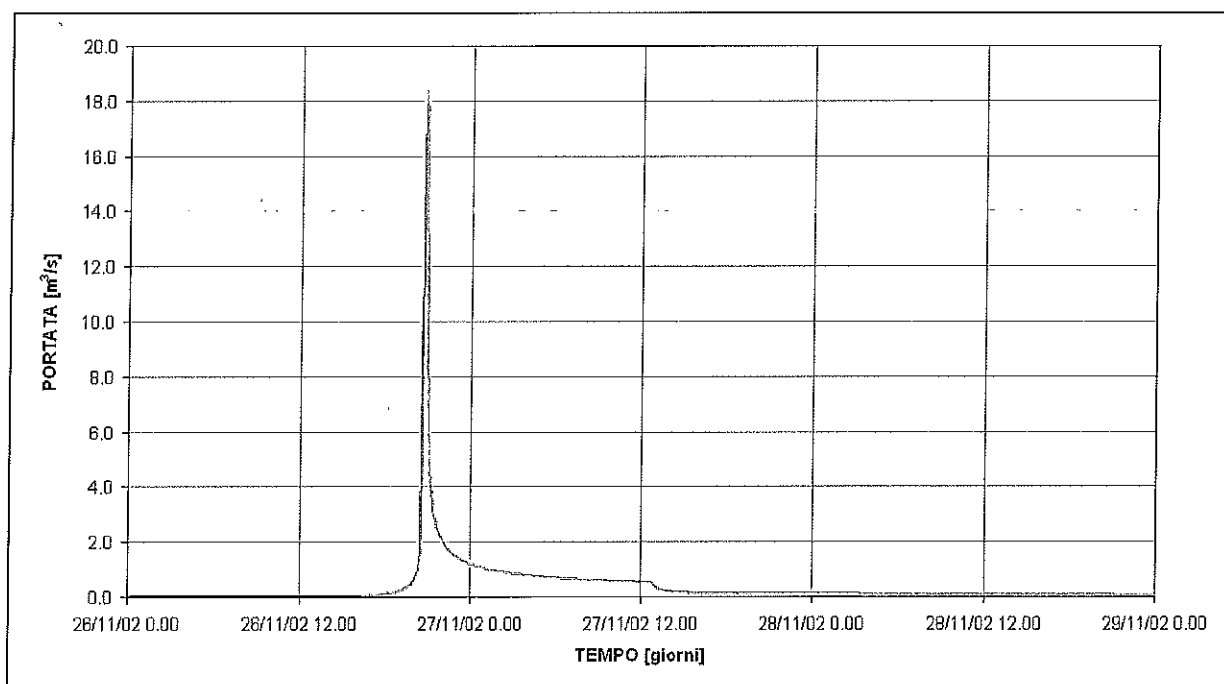
- $U_{\text{max}} = 10 \text{ mm};$
- $L_{\text{max}} = 100 \text{ mm};$
- $U/U_{\text{max}} = 0;$

- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.35$;
- $CK_{1,2} = 0.45$ ore;
- $CKIF = 24$ ore;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.32$, $a(T=200) = 95 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 262 mm, a cui corrispondono 0.36 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 16, ha una portata al colmo pari a $18.3 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.1 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.28.

Figura 16: Idrogramma sottobacino LAM4



4.4.13 Sottobacino LAM5

Il bacino LAM5 rappresenta il bacino diretto del Lambro compreso tra il ponte ferroviario in Merone e il ponte della strada SS-342 (sezione LA 124.3), ha un'estensione di circa 10.2 km^2 e comprende il territorio dei comuni di Monguzzo e Lambrugo. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

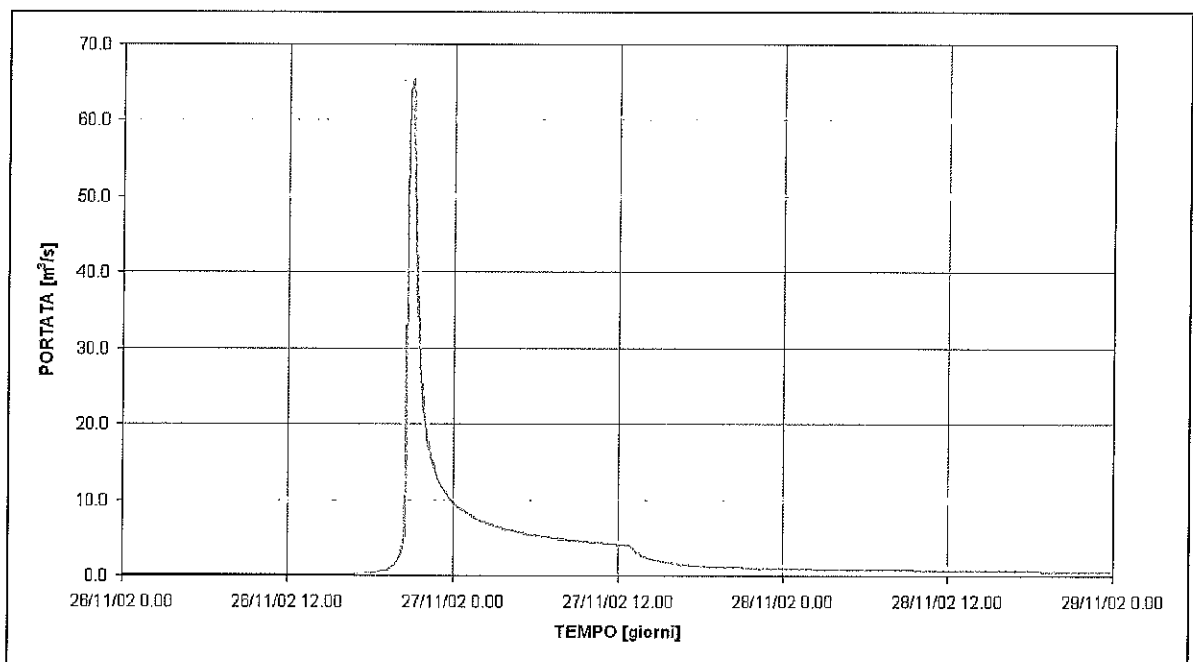
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 100 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.35;$
- $CK_{1.2} = 1.2 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.31$, $a(T=200) = 100 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 268 mm, a cui corrispondono 2.7 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 17, ha una portata al colmo pari a $65.4 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.75 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.28.

Figura 17: Idrogramma sottobacino LAM5



4.4.14 Sottobacino BEV1AB

Il bacino BEV1AB rappresenta il bacino della Bevera di Molteno (affluente del Lambro) a monte della confluenza con il torrente Gandaloglio, ha un'estensione di circa 18.28 km^2 e comprende parte del territorio dei comuni di Colle Brianza, Rovagnate, Perego, Castello di

Brianza, Barzago e Sirone. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

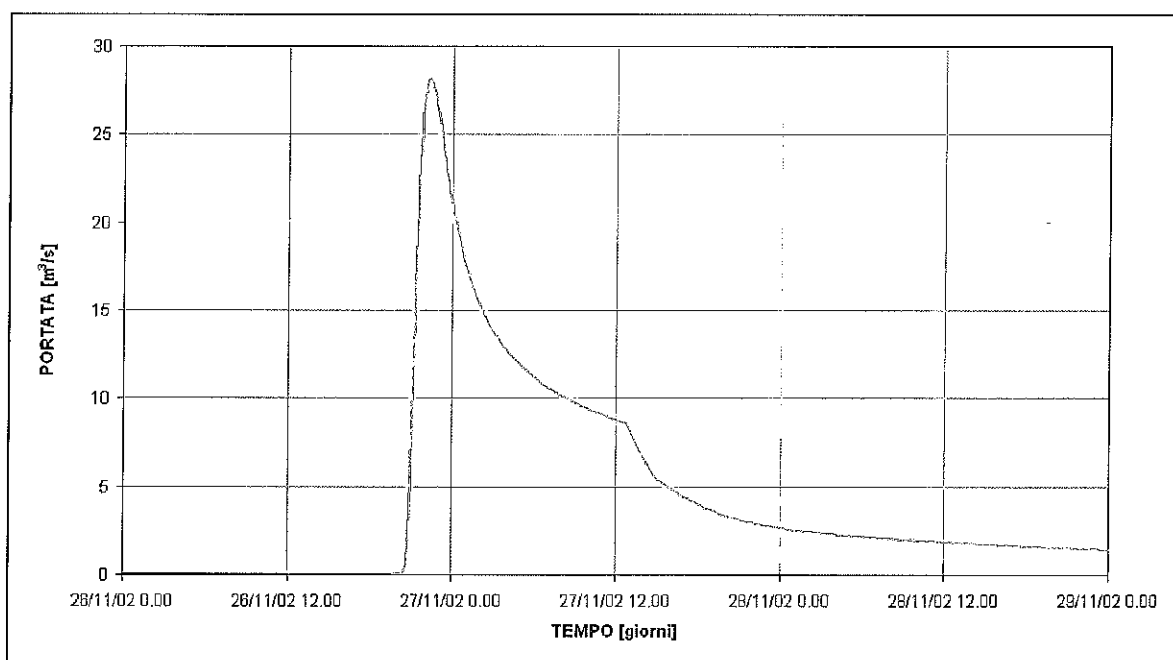
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0$;
- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.8$;
- $CK_{1.2} = 2.6 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0.25$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.29$, $a(T=200) = 105 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 264 mm, a cui corrispondono 4.8 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 18, ha una portata al colmo pari a $28.2 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 1.3 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.27.

Figura 18: Idrogramma sottobacino BEV1AB



4.4.15 Sottobacino GAN

Il bacino GAN, rappresenta il bacino del torrente Gandaloglio, affluente della Bevera di Molteno, ha un'estensione di circa 11.11 km² e comprende parte del territorio dei comuni di Dolzago e Castello di Brianza. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

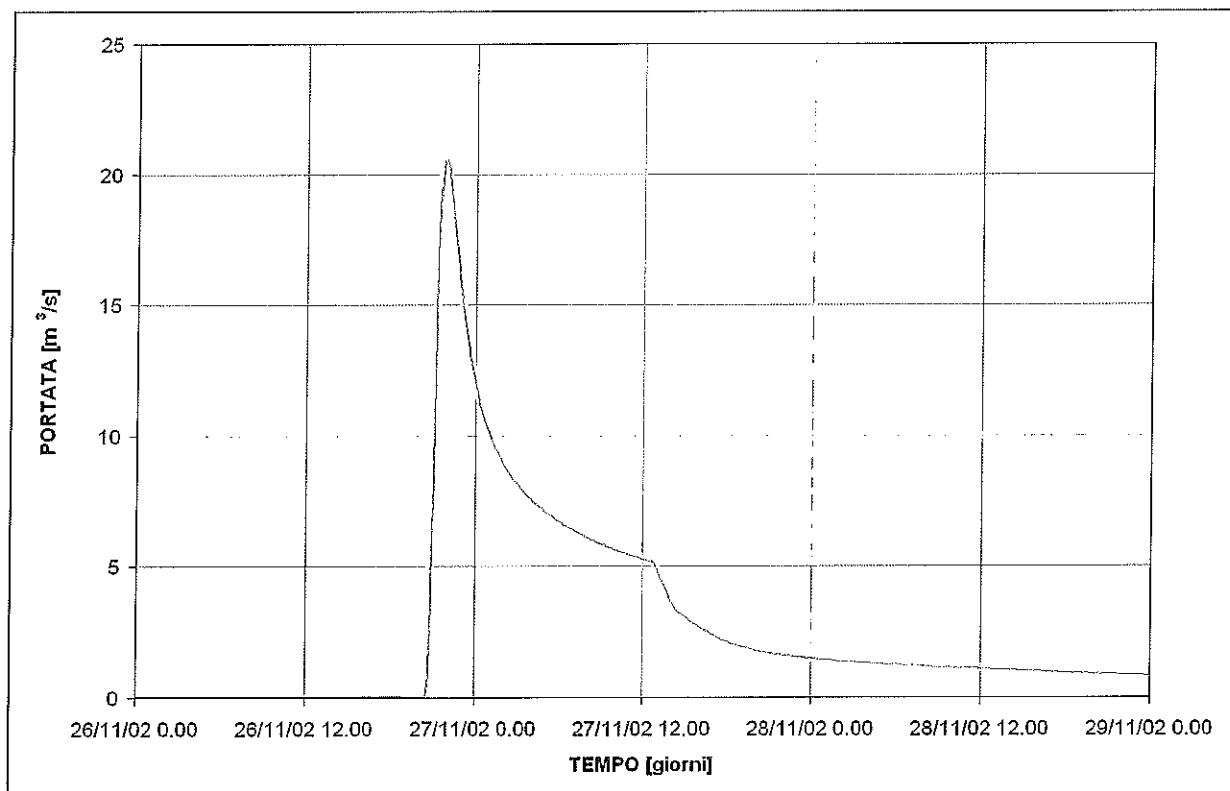
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm};$
- $L_{max} = 200 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.8;$
- $CK_{1.2} = 2 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.25.$

Considerando le curve di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.29$, $a(T=200) = 105 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 264 mm, a cui corrispondono 2.9 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 19, ha una portata al colmo pari a $20.5 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.8 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.27.

Figura 19: Idrogramma sottobacino GAN



4.4.16 Sottobacino PAS

Il bacino PAS rappresenta il bacino del Fosso del Pascolo, affluente della Bevera di Molteno, ha un'estensione di circa 1.98 km^2 . Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono poco acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

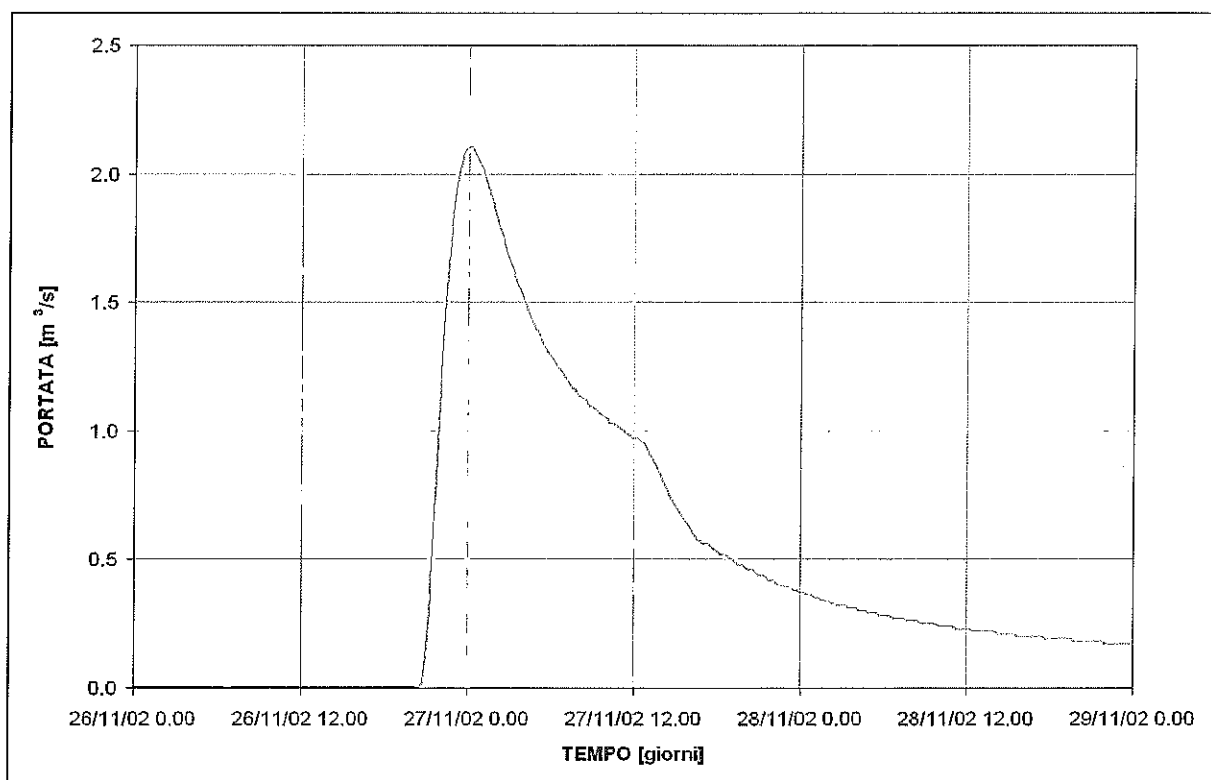
- $U_{\text{max}} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{\text{max}} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{\text{max}} = 0$;
- $L/L_{\text{max}} = 0$;
- $\text{CQOF} = 0.8$;
- $\text{CK}_{1.2} = 4.5 \text{ ore}$;

- CKIF = 24 ore;
- TOF = 0.25.

Considerando le curve di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.29$, $a(T=200) = 105 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 264 mm, a cui corrispondono 0.5 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 20, ha una portata al colmo pari a $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.13 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.26.

Figura 20: Idrogramma sottobacino PAS



4.4.17 Sottobacino BEV1C

Il bacino BEV1C rappresenta il bacino afferente alla Bevera di Molteno compreso tra la confluenza con il torrente Gandaloglio e la confluenza con il Lambro, ha un'estensione di circa 10.73 km^2 e comprende parte del territorio del comune di Molteno. Tale bacino è scarsamente urbanizzato ed i versanti sono molto acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

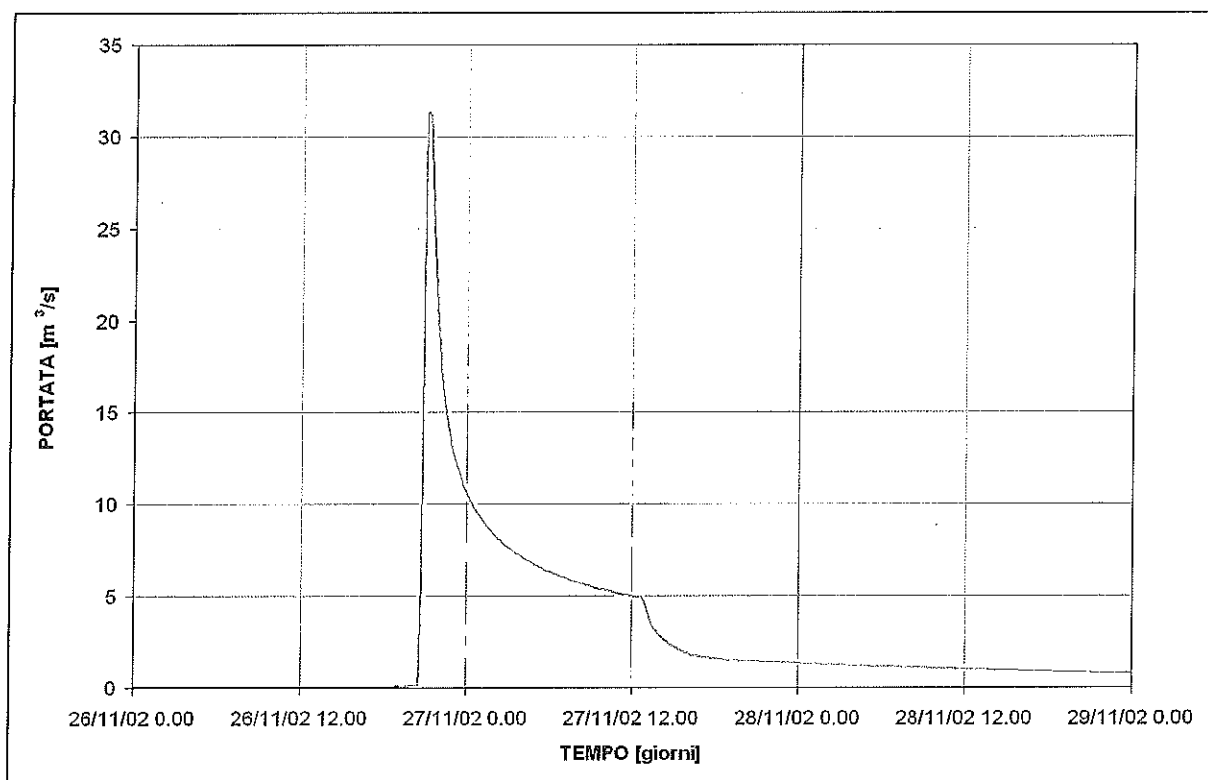
- $U_{\text{max}} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{\text{max}} = 200 \text{ mm}$;

- $U/U_{max} = 0$;
- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.8$;
- $CK_{1.2} = 1$ ore;
- $CKIF = 24$ ore;
- $TOF = 0.25$.

Considerando le curve di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.29$, $a(T=200) = 105 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 264 mm, a cui corrispondono 2.8 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 21, ha una portata al colmo pari a $31.3 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.76 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.27.

Figura 21: Idrogramma sottobacino BEV1C



4.4.18 Sottobacino LAM6

Il bacino LAM6 rappresenta il bacino diretto del Lambro compreso tra il ponte della strada SS-342 (sezione LA 124.3) e la confluenza con la Bevera di Veduggio (sezione LA 120.3), ha un'estensione di circa 10.93 km^2 e comprende parte del territorio dei comuni di Lurago d'Erba e Veduggio con Colzano. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono

mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

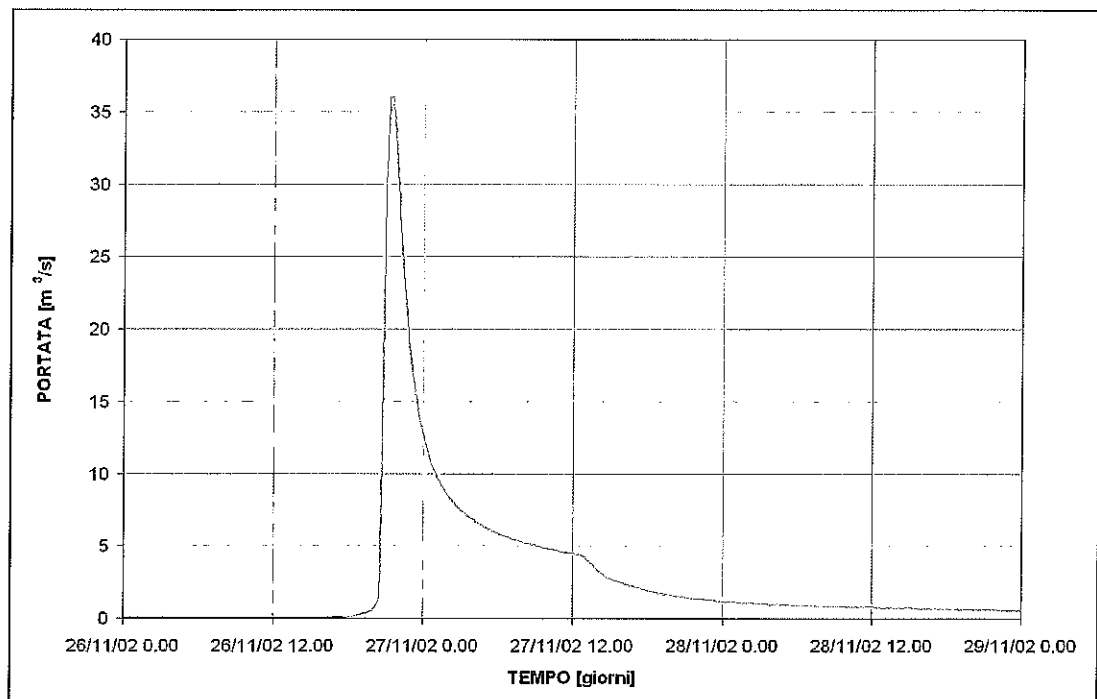
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 100 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0$;
- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.35$;
- $CK_{1,2} = 2.55 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.31$, $a(T=200) = 100 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 268 mm, a cui corrispondono 2.9 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 22, ha una portata al colmo pari a $36 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.8 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.27.

Figura 22: Idrogramma sottobacino LAM6



4.4.19 Sottobacino BEV2

Il bacino BEV2 rappresenta il bacino della Bevera di Veduggio, affluente sinistro del Lambro, ha un'estensione di circa 18 km² e comprende parte del territorio dei comuni Veduggio con Colzano, Cassago, Bulciago e Barzago. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

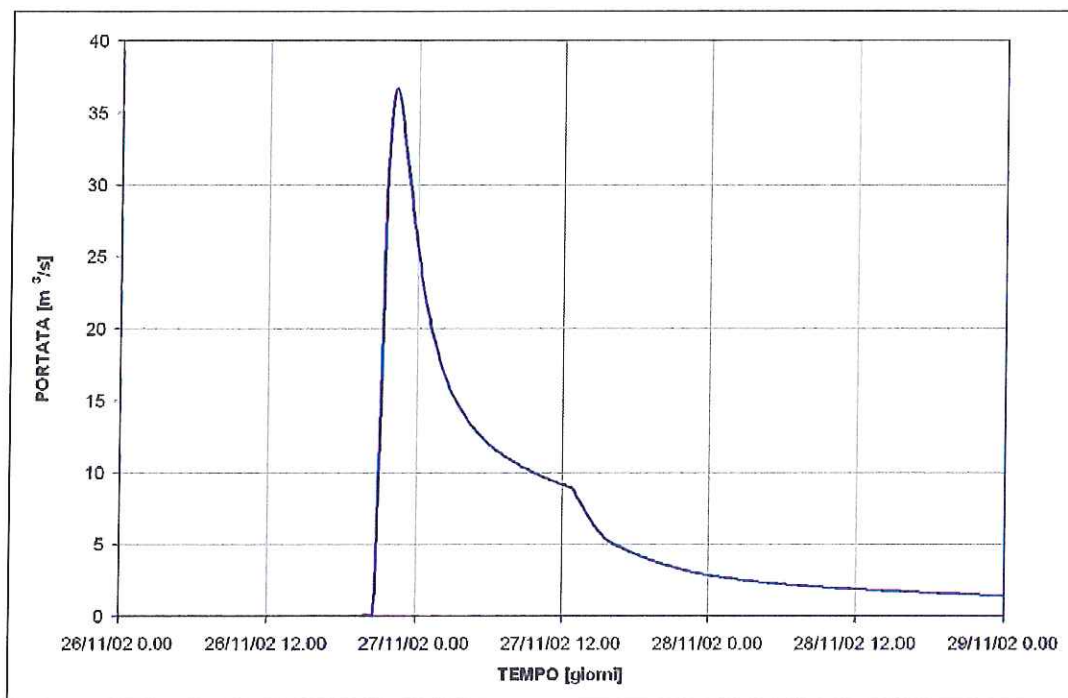
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm};$
- $L_{max} = 200 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.8;$
- $CK_{1,2} = 3.3 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.15.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.29$, $a(T=200) = 105 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 264 mm, a cui corrispondono 4.7 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 23, ha una portata al colmo pari a 36.7 m³/s e un volume complessivo pari a circa 1.4 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.30.

Figura 23: Idrogramma sottobacino BEV2



4.4.20 Sottobacino LAM7

Il bacino LAM7 rappresenta il bacino diretto del Lambro compreso tra la confluenza con la Bevera di Veduggio (sezione LA 120.3) e la confluenza con la Bevera di Renate (sezione LA 118), ha un'estensione di circa 4.6 km² e comprende parte del territorio del comune di Inverigo. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

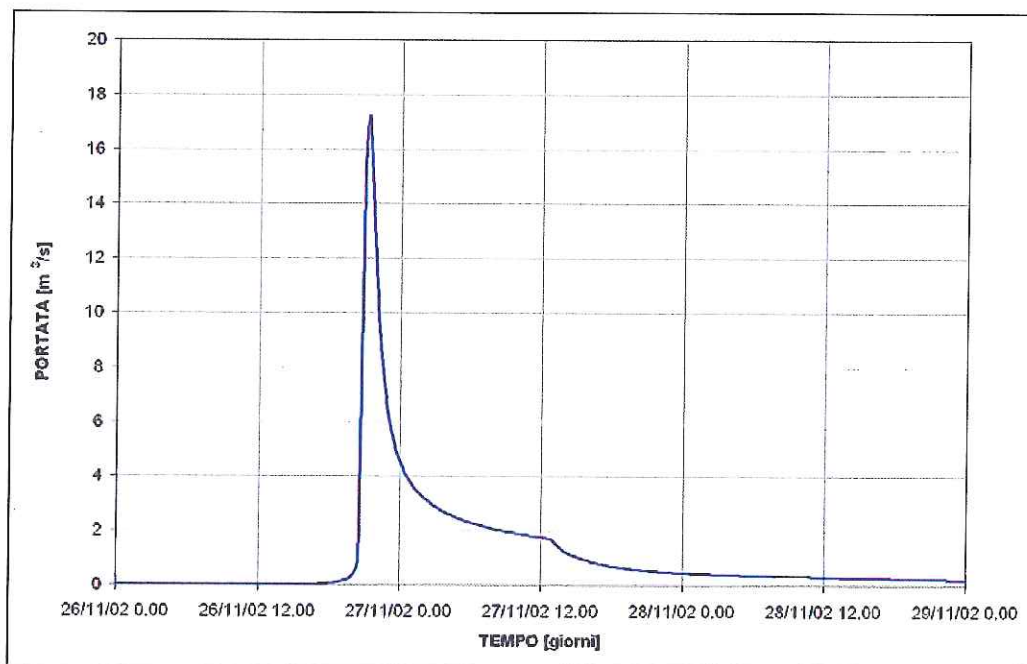
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 100 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0$;
- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.35$;
- $CK_{1.2} = 2 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.31$, $a(T=200) = 95 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 254 mm, a cui corrispondono 1.2 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 24, ha una portata al colmo pari a 17.3 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.3 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.25.

Figura 24: Idrogramma sottobacino LAM7



4.4.21 Sottobacino BEV3

Il bacino BEV3 rappresenta il bacino della Bevera di Renate, affluente sinistro del Lambro, ha un'estensione di circa 19.3 km² e comprende parte del territorio dei comuni di Renate, Briosco e Besana Brianza. Tale bacino è poco urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

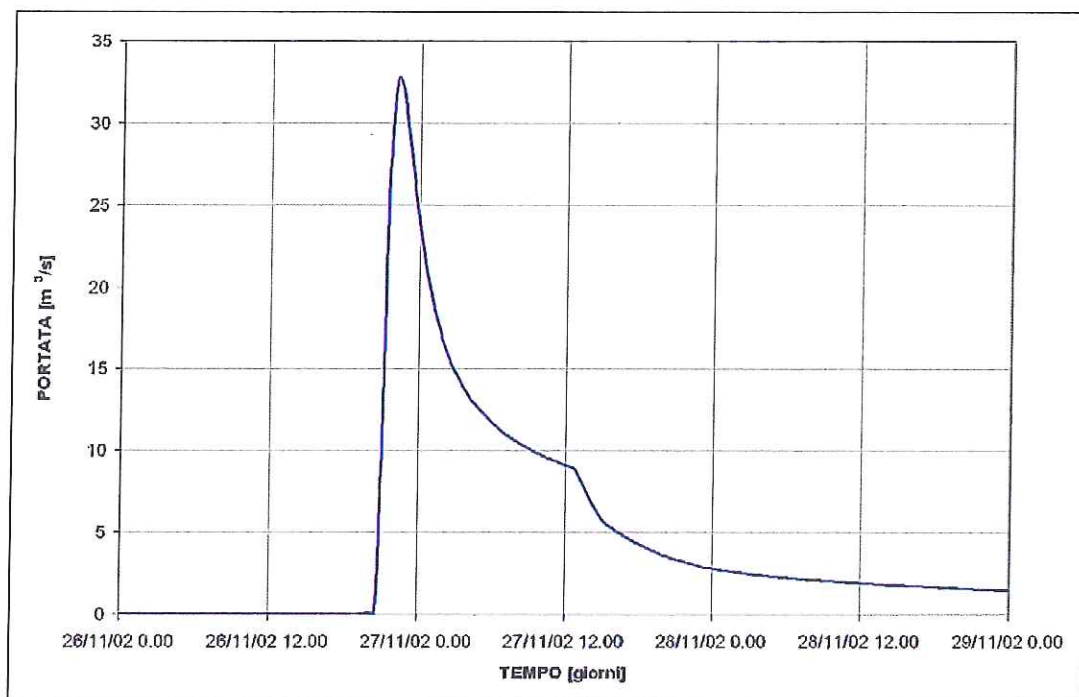
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 20 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 200 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0$;
- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.8$;
- $CK_{1,2} = 3 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0.15$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.3$, $a(T=200) = 95 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 247 mm, a cui corrispondono 4.7 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 25, ha una portata al colmo pari a 32.8 m³/s e un volume complessivo pari a circa 1.4 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.30.

Figura 25: Idrogramma sottobacino BEV3



4.4.22 Sottobacino LAM8

Il bacino LAM8 rappresenta il bacino diretto del Lambro compreso tra la confluenza con la Bevera di Renate (sezione LA 118) e il ponte della strada provinciale n.6 (sezione LA 109.3), ha un'estensione di circa 11.75 km² e comprende parte del territorio dei comuni di Briosco e Verano Brianza. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

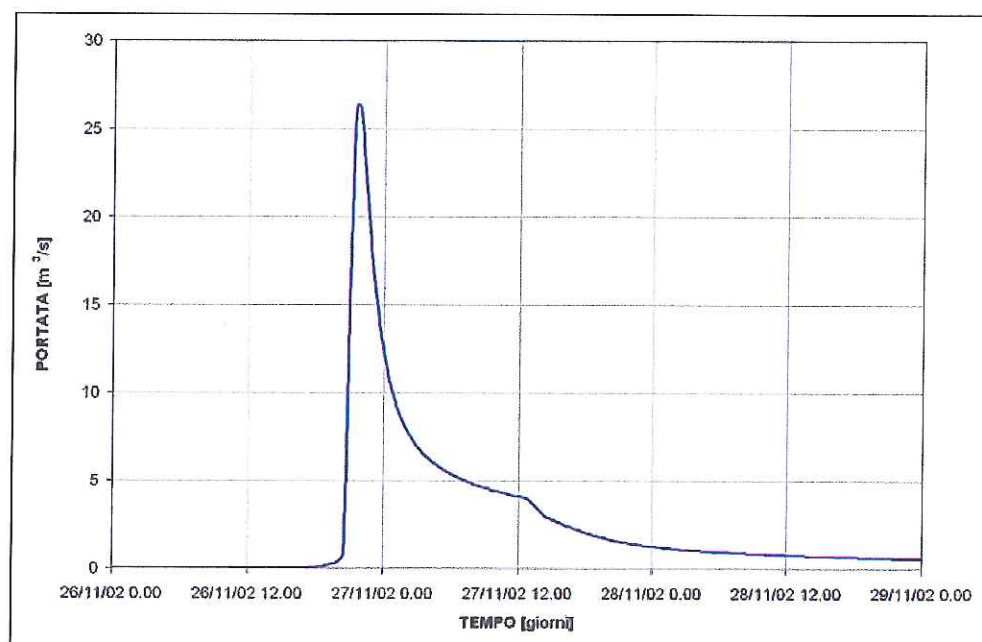
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 100 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.35;$
- $CK_{1.2} = 2.8 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.30$, $a(T=200) = 90 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 234 mm, a cui corrispondono 2.7 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 26, ha una portata al colmo pari a 26.3 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.7 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.26.

Figura 26: Idrogramma sottobacino LAM8



4.4.23 Sottobacino BRO

Il bacino BRO rappresenta il bacino del torrente Brovada, affluente sinistro del Lambro, ha un'estensione di circa 6.37 km^2 e comprende parte del territorio dei comuni di Besana Brianza. Tale bacino è poco urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

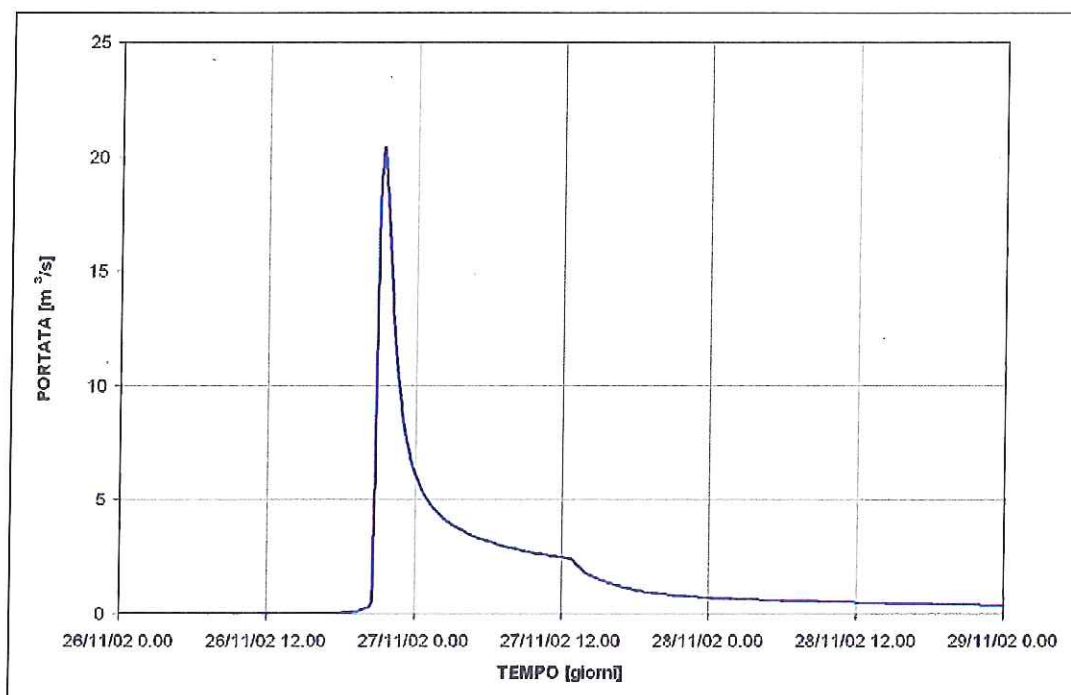
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{\max} = 15 \text{ mm}$;
- $L_{\max} = 150 \text{ mm}$;
- $U/U_{\max} = 0$;
- $L/L_{\max} = 0$;
- $CQOF = 0.5$;
- $CK_{1.2} = 2 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.3$, $a(T=200) = 90 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 234 mm, a cui corrispondono 1.5 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 27, ha una portata al colmo pari a $20.4 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.4 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.27.

Figura 27: Idrogramma sottobacino BRO



4.4.24 Sottobacino CAN

Il bacino CAN rappresenta il bacino del torrente Cantalupo, affluente sinistro del Lambro, ha un'estensione di circa 3.08 km² e comprende parte del territorio dei comuni di Triuggio. Tale bacino è poco urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

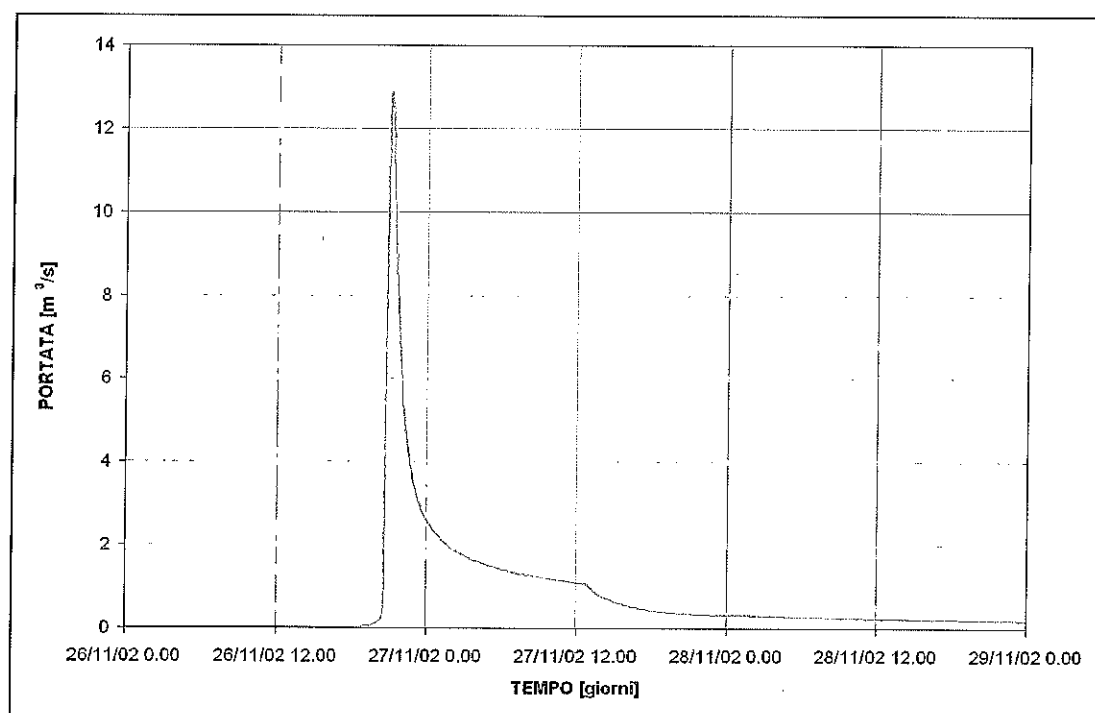
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 15 \text{ mm};$
- $L_{max} = 150 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.5;$
- $CK_{1,2} = 1.5 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.29$, $a(T=200) = 90 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 226 mm, a cui corrispondono 0.7 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 28, ha una portata al colmo pari a 12.7 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.2 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.28.

Figura 28: Idrogramma sottobacino CAN



4.4.25 Sottobacino PEG

Il bacino PEG rappresenta il bacino del torrente Pegorino, affluente sinistro del Lambro, ha un'estensione di circa 10.89 km² e comprende parte del territorio dei comuni di Casatenovo e Lesmo. Tale bacino è poco urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

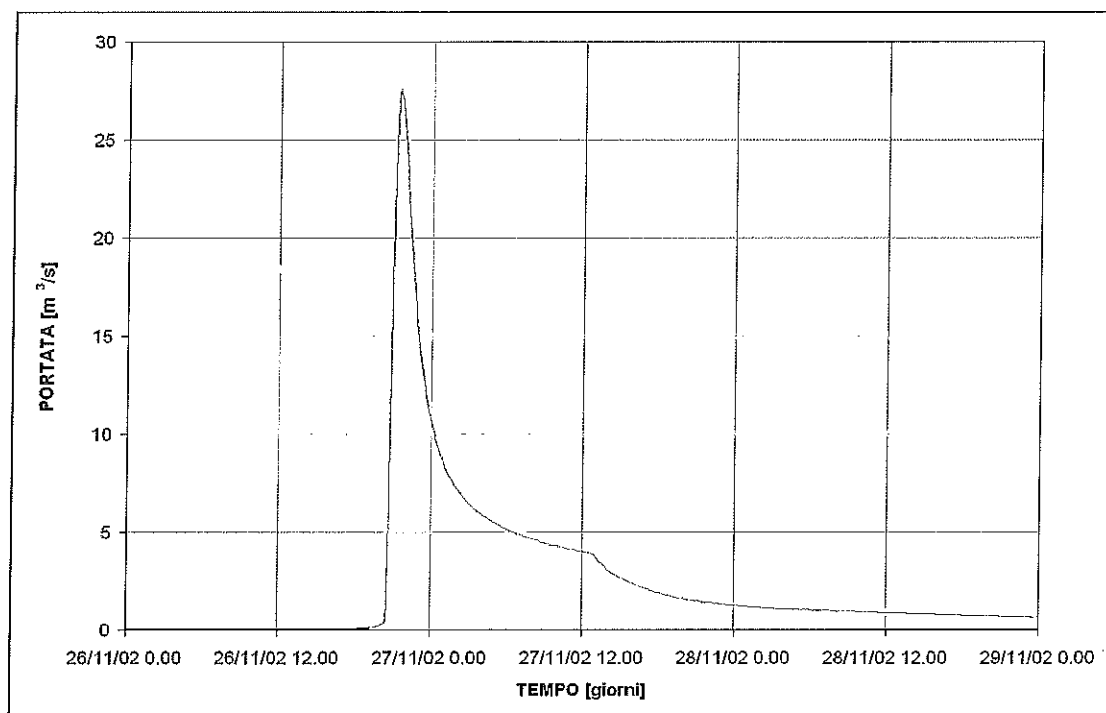
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 15 \text{ mm};$
- $L_{max} = 150 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.5;$
- $CK_{1.2} = 2.4 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.29$, $a(T=200) = 90 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 226 mm, a cui corrispondono 2.5 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 29, ha una portata al colmo pari a 27.6 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.7 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.28.

Figura 29: Idrogramma sottobacino PEG



4.4.26 Sottobacino LAM9

Il bacino LAM9 rappresenta il bacino diretto del Lambro compreso tra il ponte della strada provinciale n.6 (sezione LA 109.3) e il ponte di S. Giorgio a Villasanta (sezione LA 100.2), ha un'estensione di circa 11.72 km² e comprende parte del territorio dei comuni di Albiate, Triuggio, Sovico, Biassono, Lesmo e Villasanta. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono mediamente acclivi, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

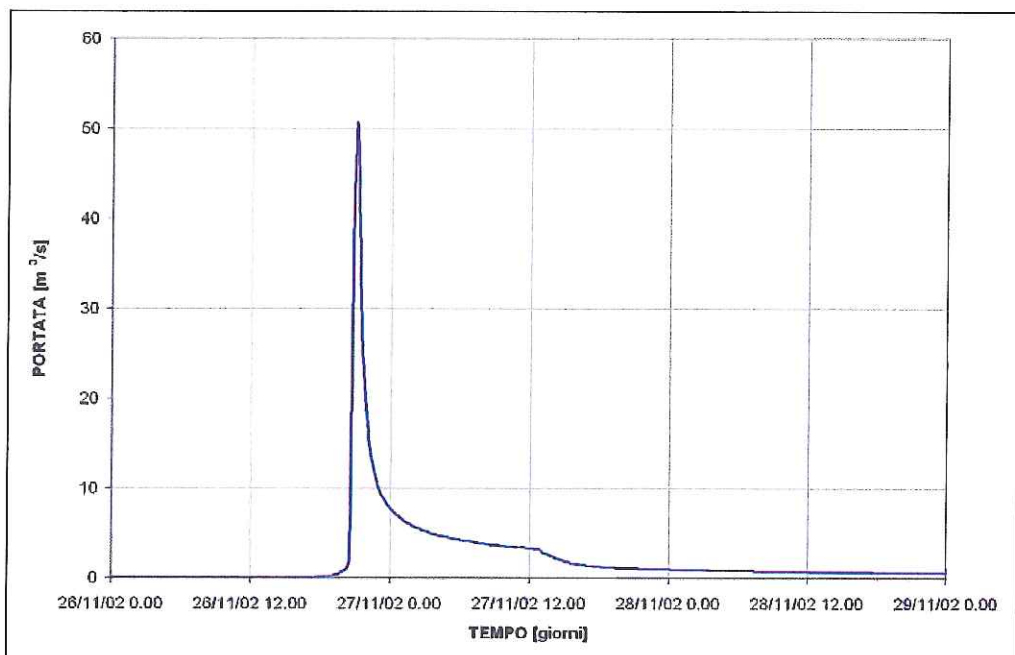
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 100 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0$;
- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.35$;
- $CK_{1.2} = 1.2 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.28$, $a(T=200) = 85 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 207 mm, a cui corrispondono 2.4 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 30, ha una portata al colmo pari a 50.7 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.6 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.25.

Figura 30: Idrogramma sottobacino LAM9



4.4.27 Sottobacino LAM10

Il bacino LAM10, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA102.2, ha un'estensione di circa 6.58 km^2 (di cui 4.01 km^2 di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio dei comuni di Sovico, Macherio e Biassono. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{\max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{\max} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{\max} = 0$;
- $L/L_{\max} = 0$;
- $CQOF = 0.3$;
- $CK_{1,2} = 1.5 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.28$, $a(T=200) = 85 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 207 mm, a cui corrispondono 0.83 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 31, ha una portata al colmo pari a $33.6 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.32 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

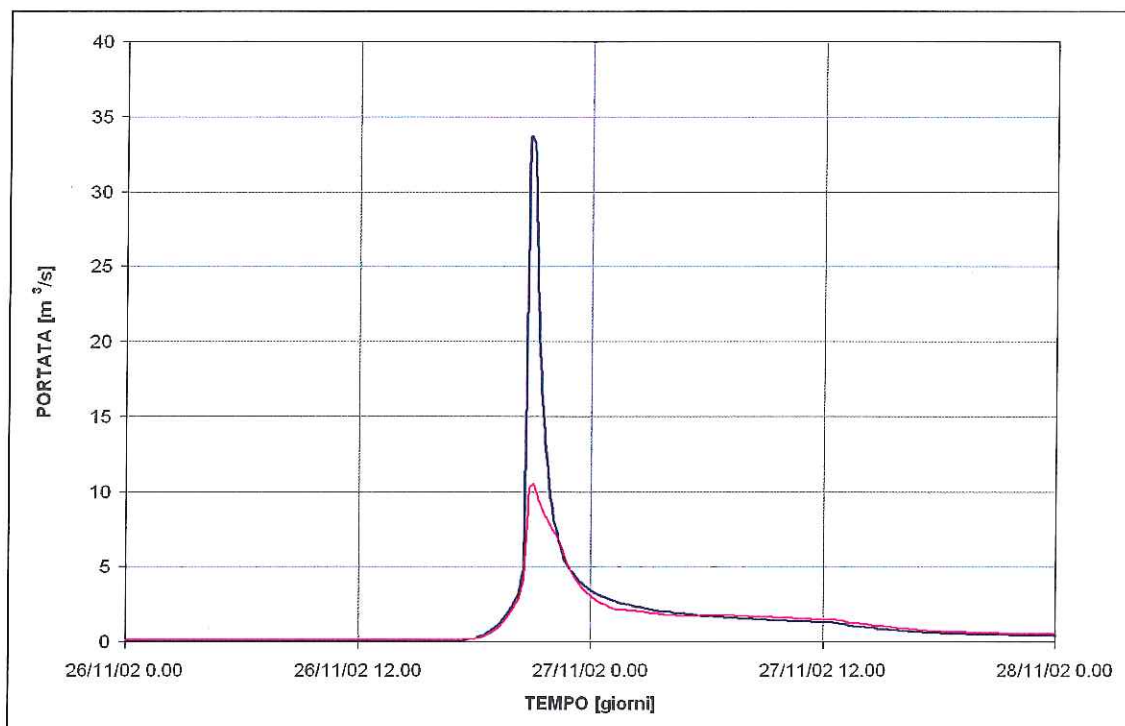
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria dei comuni suddetti afferenti allo scaricatore AL8 della rete dell'ALSI, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa $4'000 \text{ m}^3$ (1000 m^3 per ogni km^2 di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 31) è pari a circa 0.24 milioni di m^3 , mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.08 milioni di m^3 (25 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.29.

Figura 31: Idrogramma sottobacino LAM10



4.4.28 Sottobacino MOL

Il bacino MOL rappresenta il bacino della roggia Molgorana, affluente sinistro del Lambro, ha un'estensione di circa 19.77 km² e comprende parte del territorio dei comuni di Camparada, Usmate-Velate, Lesmo e Arcore. Tale bacino è mediamente urbanizzato ed i versanti sono pianeggianti ma con presenza di reticolo idrico superficiale, pertanto il comportamento idrologico è di tipo naturale (modello NAM).

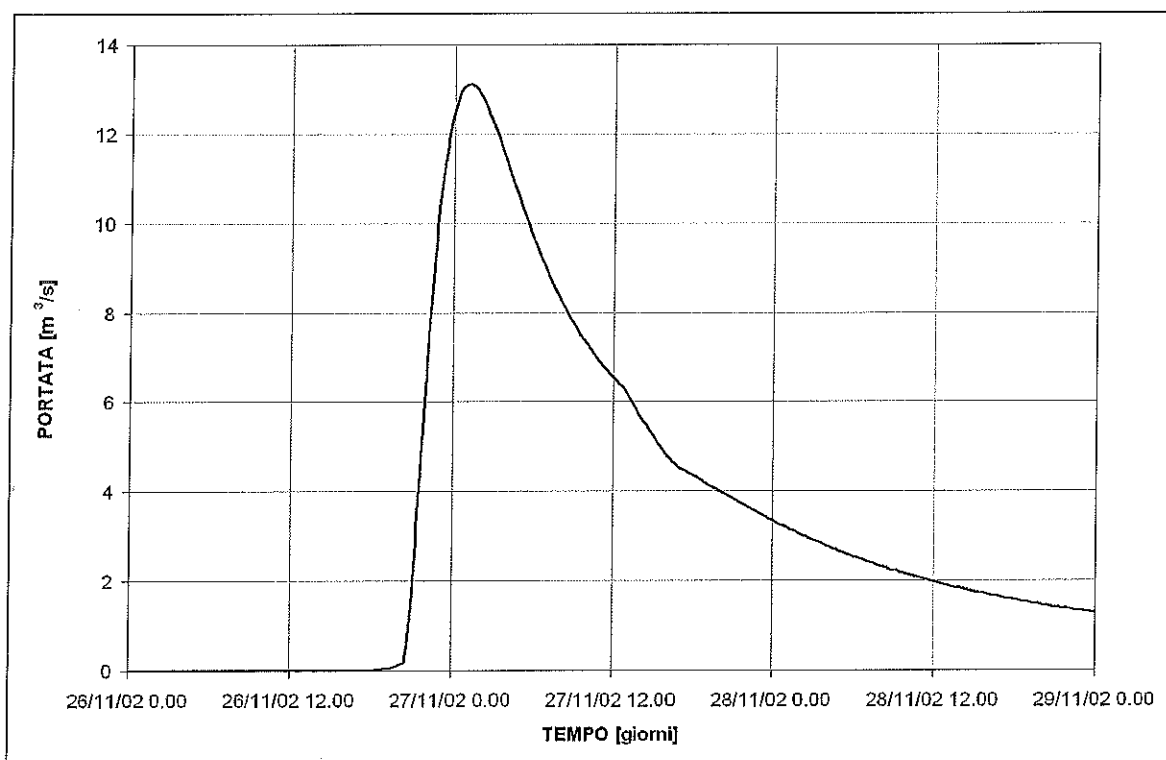
I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 100 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1,2} = 7 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.28$, $a(T=200) = 90 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 219 mm, a cui corrispondono 4.3 milioni di metri cubi.

L'idrogramma in uscita, riportato in figura 32, ha una portata al colmo pari a $13.1 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 1 milione di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso medio è pari a 0.23.

Figura 32: Idrogramma sottobacino MOL



4.4.29 Sottobacino LAM11

Il bacino LAM11, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 100.1.1 (parco di Monza), ha un'estensione di circa 6.9 km^2 (di cui 3.51 km^2 di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio dei comuni di Arcore e Villasanta. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{\text{max}} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{\text{max}} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{\text{max}} = 0$;

- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.3$;
- $CK_{1.2} = 1.3$ ore;
- $CKIF = 24$ ore;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.27$, $a(T=200) = 90$ mm/oraⁿ), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 212 mm, a cui corrispondono 0.74 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 33, ha una portata al colmo pari a 39.2 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.28 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

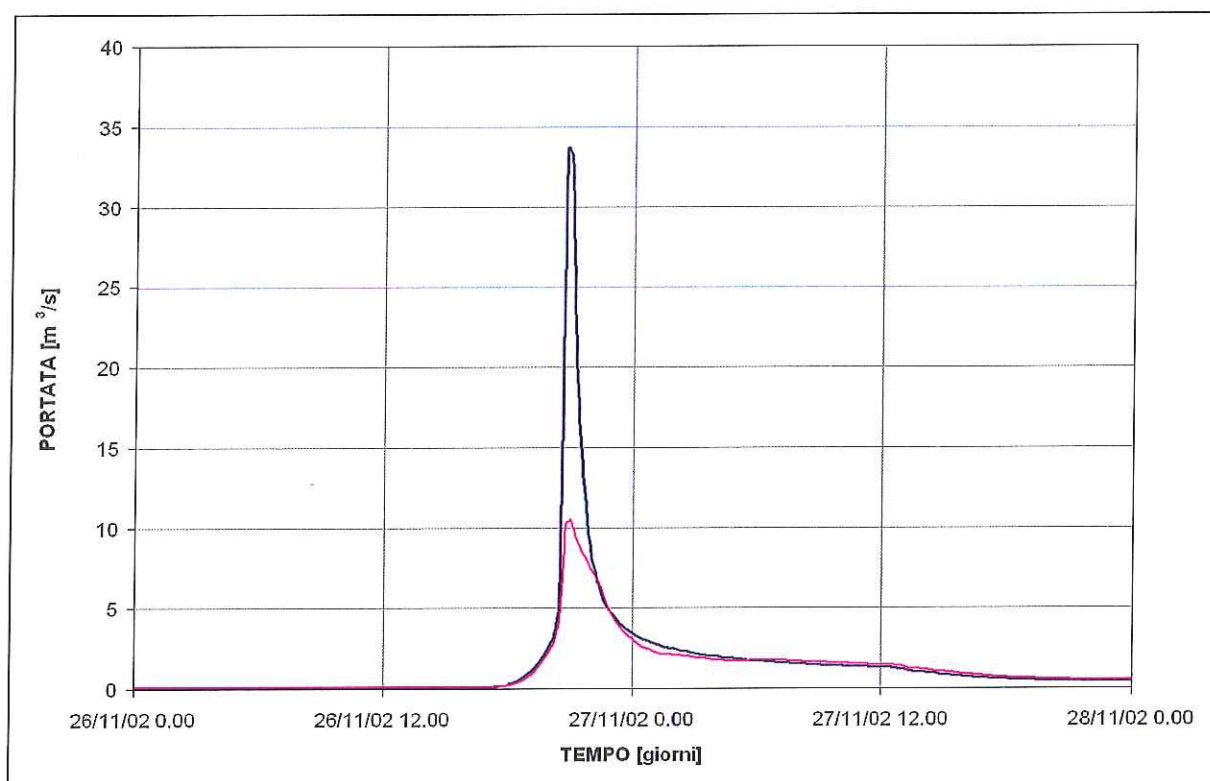
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria dei comuni suddetti afferenti allo scaricatore AL6 della rete dell'ALSI, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa 8.8 m³/s, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa 3'500 m³ (1000 m³ per ogni km² di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 33) è pari a circa 0.21 milioni di m³, mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.07 milioni di m³ (25 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.28.

Figura 33: Idrogramma sottobacino LAM11



4.4.30 Sottobacino LAM12

Il bacino LAM12, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 97.3 posta all'interno del parco di Monza, ha un'estensione di circa 8.92 km² (di cui 2.18 km² di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio del comune di Veduggio al Lambro. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1.2} = 1 \text{ ora};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.27$, $a(T=200) = 90$ mm/oraⁿ), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 212 mm, a cui corrispondono 0.46 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuyente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 34, ha una portata al colmo pari a 32.6 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.18 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.39.

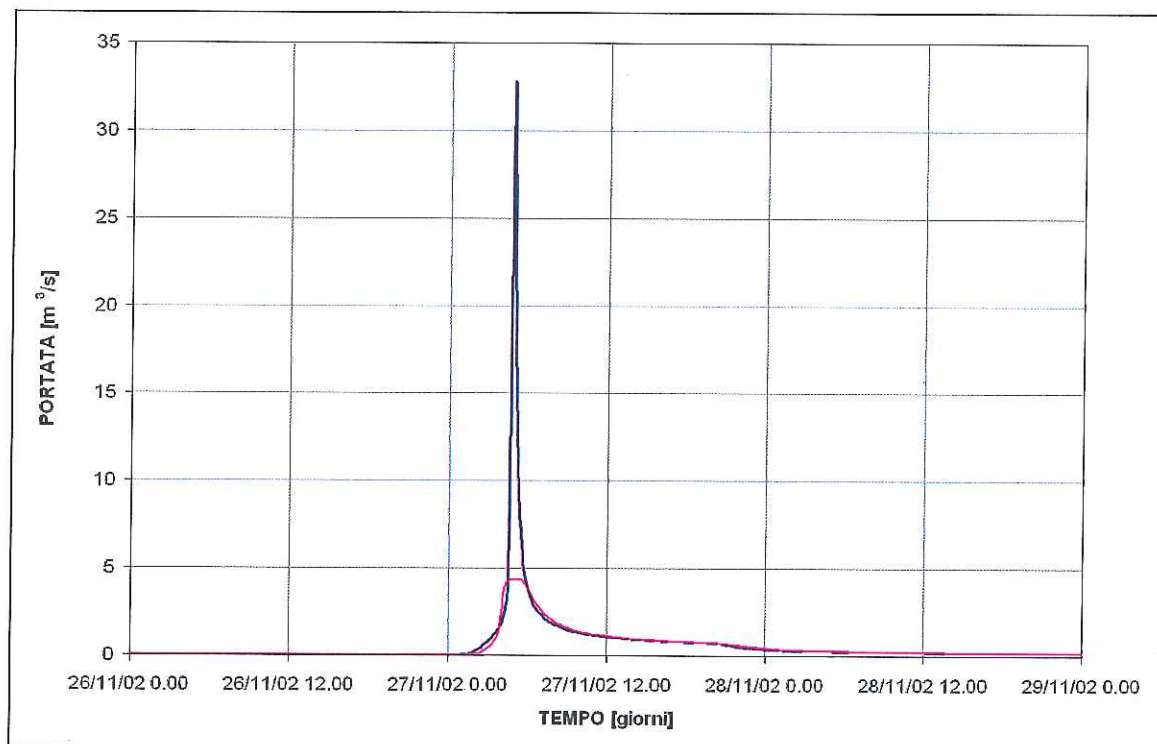
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria dei comuni suddetti afferenti allo scaricatore AL5 della rete dell'ALSI, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa 4.4 m³/s, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa 3'500 m³ (1000 m³ per ogni km² di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 34) è pari a circa 0.14 milioni di m³, mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.04 milioni di m³ (22 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.30.

Figura 34: Idrogramma sottobacino LAM12



4.4.31 Sottobacino LAM13

Il bacino LAM13, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 97.2 localizzata all'interno del parco di Monza, ha un'estensione di circa $3,48 \text{ km}^2$ (di cui $1,65 \text{ km}^2$ di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio del comune di Villasanta. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{\max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{\max} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{\max} = 0$;
- $L/L_{\max} = 0$;
- $CQOF = 0.3$;
- $CK_{1,2} = 1 \text{ ora}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.26$, $a(T=200) = 90 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 206 mm, a cui corrispondono 0.34 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 35, ha una portata al colmo pari a $24.9 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.13 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

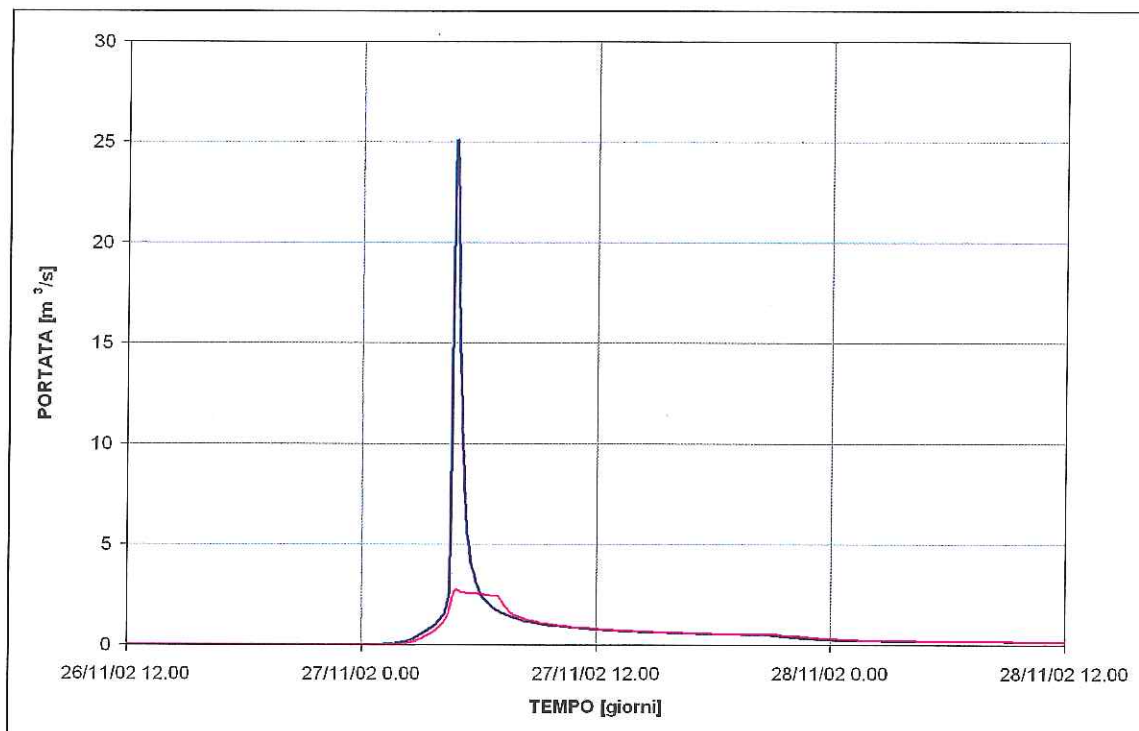
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria del comune suddetto afferente allo scaricatore AL4 della rete dell'ALSI, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa $1'600 \text{ m}^3$ (1000 m^3 per ogni km^2 di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 35) è pari a circa 0.1 milioni di m³, mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.03 milioni di m³ (23 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.29.

Figura 35: Idrogramma sottobacino LAM13



4.4.32 Sottobacino LAM14A

Il bacino LAM14A, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 95.2.1, ha un'estensione di circa 2.70 km² (di cui 1.60 km² di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio del comune di Monza. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$

- $CK_{1,2} = 1$ ora;
- $CKIF = 24$ ore;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.25$, $a(T=200) = 90$ mm/oraⁿ), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 199 mm, a cui corrispondono 0.32 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuyente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 36, ha una portata al colmo pari a 24.4 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.12 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.37.

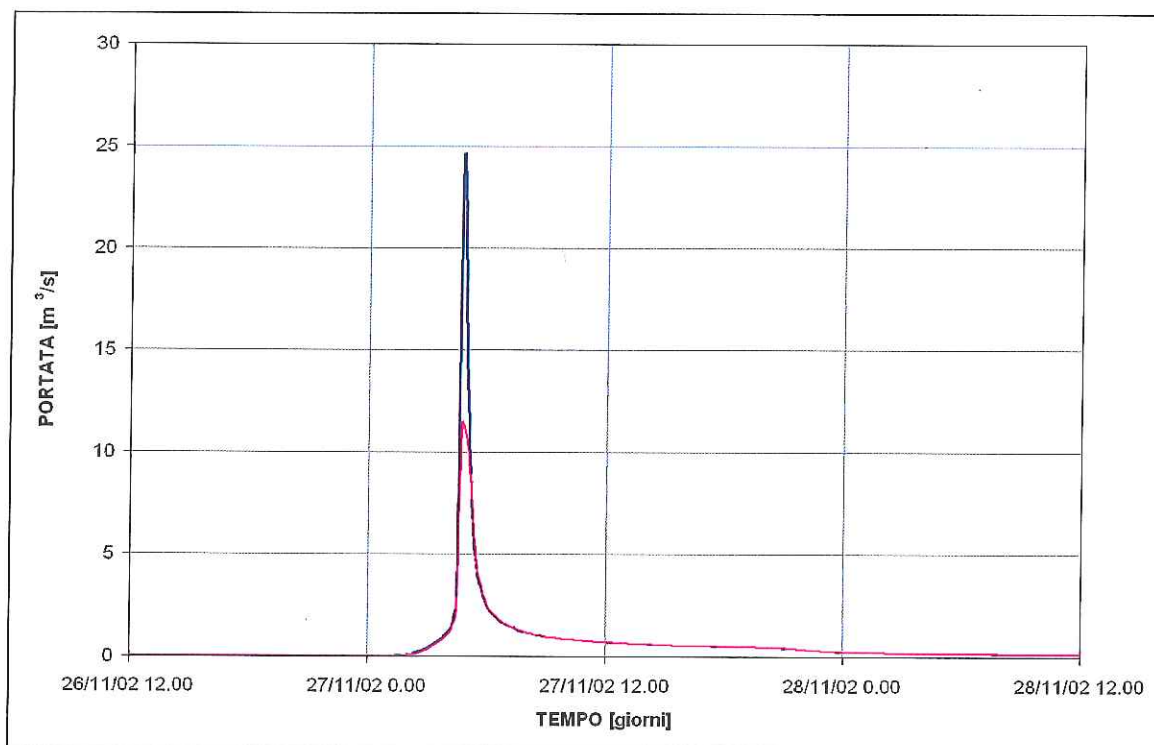
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa 11.4 m³/s, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa 1'600 m³ (1000 m³ per ogni km² di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 36) è pari a circa 0.11 milioni di m³, mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.01 milioni di m³ (8 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.34.

Figura 36: Idrogramma sottobacino LAM14A



4.4.33 Sottobacino LAM14B

Il bacino LAM14B, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 94.2, ha un'estensione di circa 0.90 km² (interamente in territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio del comune di Monza. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1.2} = 1 \text{ ora};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.25$, $a(T=200) = 90$ mm/oraⁿ), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 199 mm, a cui corrispondono 0.18 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuyente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 37, ha una portata al colmo pari a 13.7 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.07 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

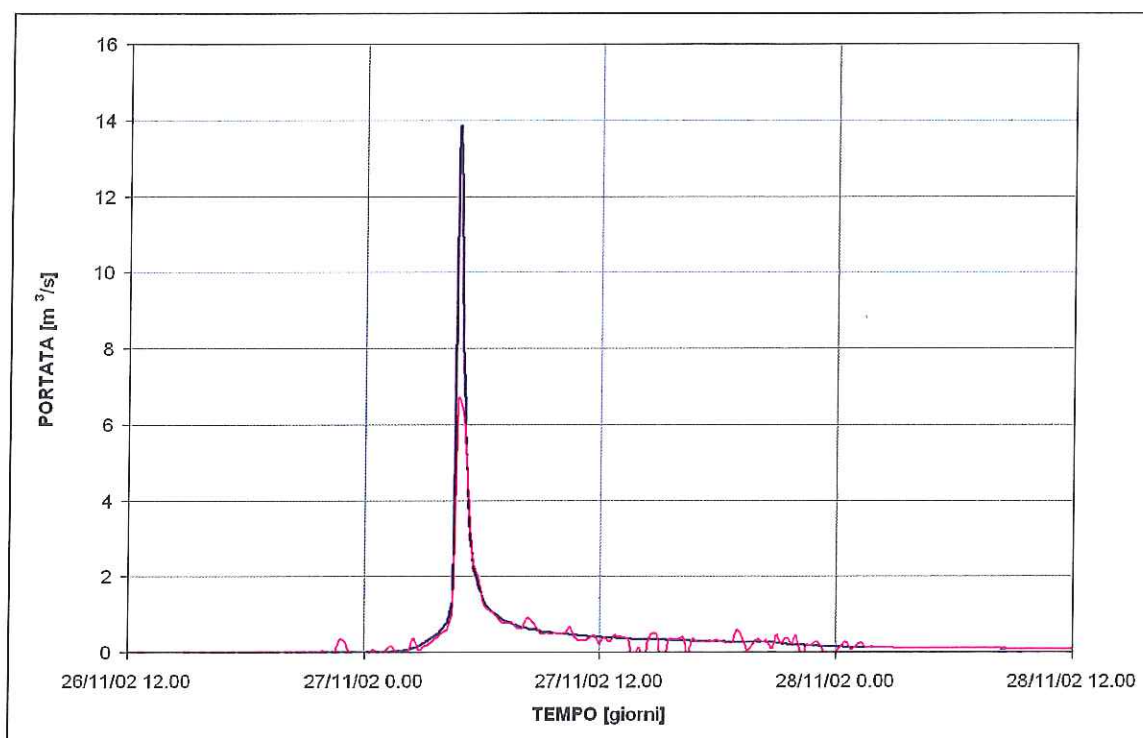
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa 6.7 m³/s, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa 900 m³ (1000 m³ per ogni km² di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 37) è pari a circa 0.06 milioni di m³, mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.01 milioni di m³ (6 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.33.

Figura 37: Idrogramma sottobacino LAM14B



4.4.34 Sottobacino LAM14C

Il bacino LAM14C, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 93.3, ha un'estensione di circa 2.80 km^2 (interamente in territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio del comune di Monza. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{\max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{\max} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{\max} = 0$;
- $L/L_{\max} = 0$;
- $CQOF = 0.3$;
- $CK_{1,2} = 1 \text{ ora}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.25$, $a(T=200) = 90 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 199 mm, a cui corrispondono 0.56 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 38, ha una portata al colmo pari a $42.8 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.21 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

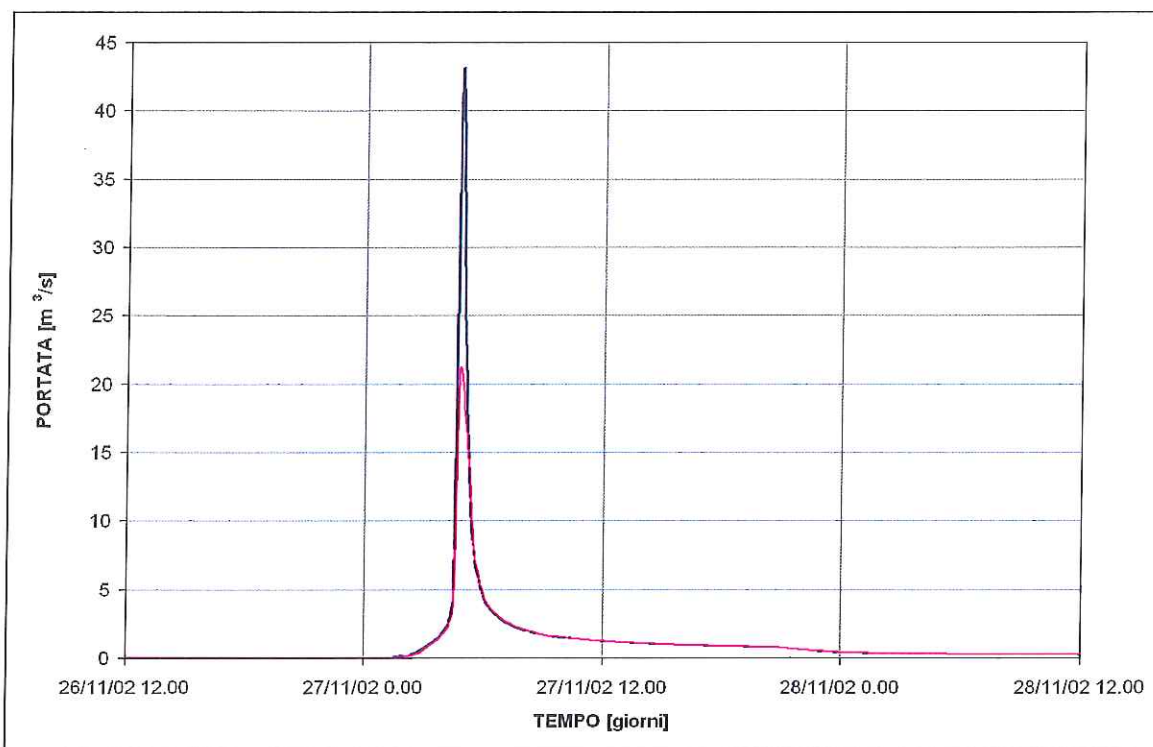
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $21 \text{ m}^3/\text{s}$, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa $2'800 \text{ m}^3$ (1000 m^3 per ogni km^2 di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 38) è pari a circa 0.19 milioni di m^3 , mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.02 milioni di m^3 (10 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.34.

Figura 38: Idrogramma sottobacino LAM14C



4.4.35 Sottobacino LAM14D

Il bacino LAM14D, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 93.2, ha un'estensione di circa 1.7 km² (di cui 0.7 km² territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio del comune di Monza. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1,2} = 1 \text{ ora};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.25$, $a(T=200) = 90$ mm/oraⁿ), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 199 mm, a cui corrispondono 0.14 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 39, ha una portata al colmo pari a 10.7 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.053 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.36.

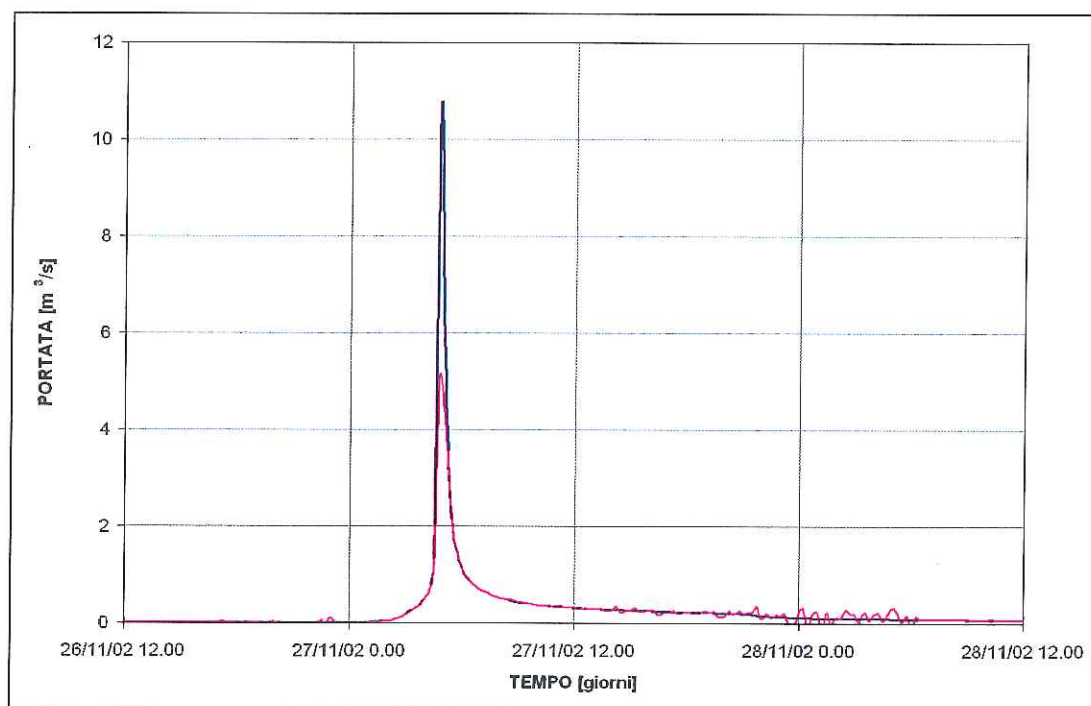
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa 5.2 m³/s, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa 700 m³ (1000 m³ per ogni km² di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 39) è pari a circa 0.047 milioni di m³, mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.006 milioni di m³ (11 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.33.

Figura 39: Idrogramma sottobacino LAM14D



4.4.36 Sottobacino LAM15

Il bacino LAM15, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 91.2.1 (a monte dell'impianto di depurazione di Monza), ha un'estensione di circa 15.80 km^2 (di cui 6.8 km^2 di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio dei comuni di Monza e Concorrezzo. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{\max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{\max} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{\max} = 0$;
- $L/L_{\max} = 0$;
- $CQOF = 0.3$;
- $CK_{1,2} = 1.8 \text{ ora}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.25$, $a(T=200) = 85 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 188 mm, a cui corrispondono 1.3 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 40, ha una portata al colmo pari a $51.4 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.49 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.37.

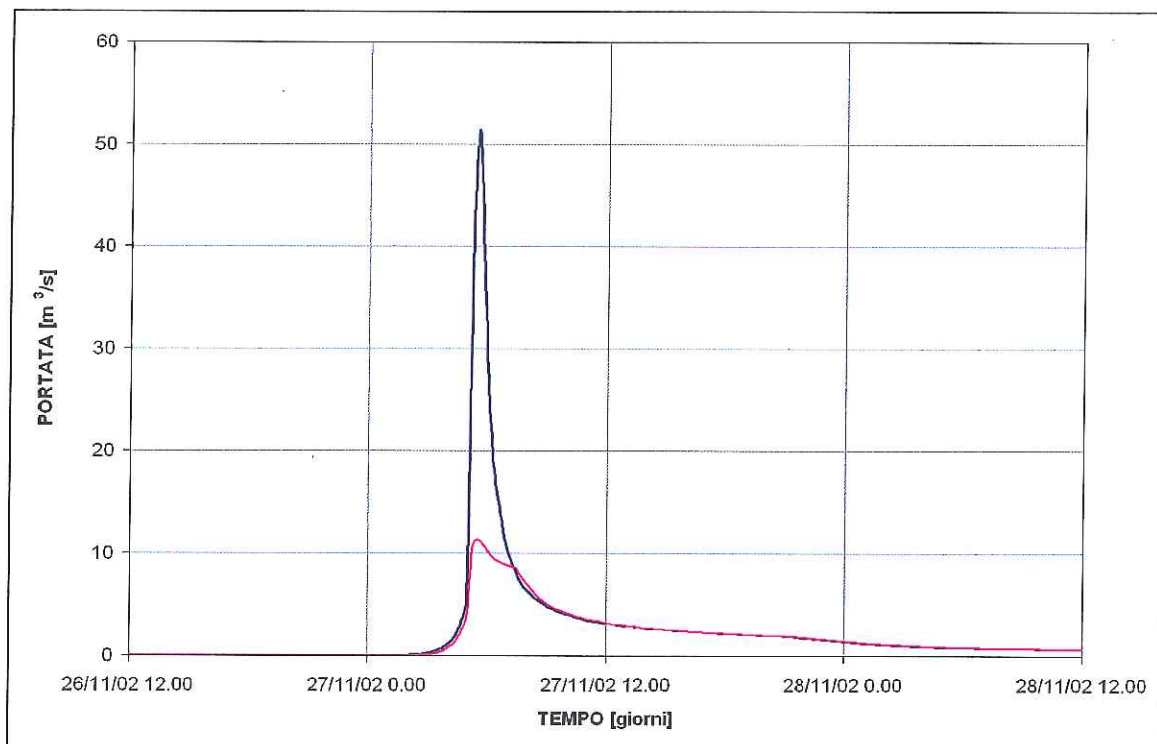
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria afferente allo scaricatore AL3 della rete dell'ALSI, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $11.5 \text{ m}^3/\text{s}$, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa $6'800 \text{ m}^3$ (1000 m^3 per ogni km^2 di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 40) è pari a circa 0.37 milioni di m^3 , mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.12 milioni di m^3 (24 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.28.

Figura 40: Idrogramma sottobacino LAM15



4.4.37 Sottobacino LAM16A

Il bacino LAM16A, afferente al collettore della rete ovest dell'ALSI, il quale recapita le acque nel Lambro in corrispondenza della sezione LA 91.2.1 (a monte dell'impianto di depurazione di Monza), ha un'estensione di circa 25.47 km² (di cui 15.4 km² di territorio urbanizzato) e comprende il territorio dei comuni di Seregno, Giussano, Carate Brianza e Verano Brianza. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1,2} = 3.5 \text{ ora};$

- CKIF = 24 ore;
- TOF = 0.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.3$, $a(T=200) = 85 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 220 mm, a cui corrispondono 3.4 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

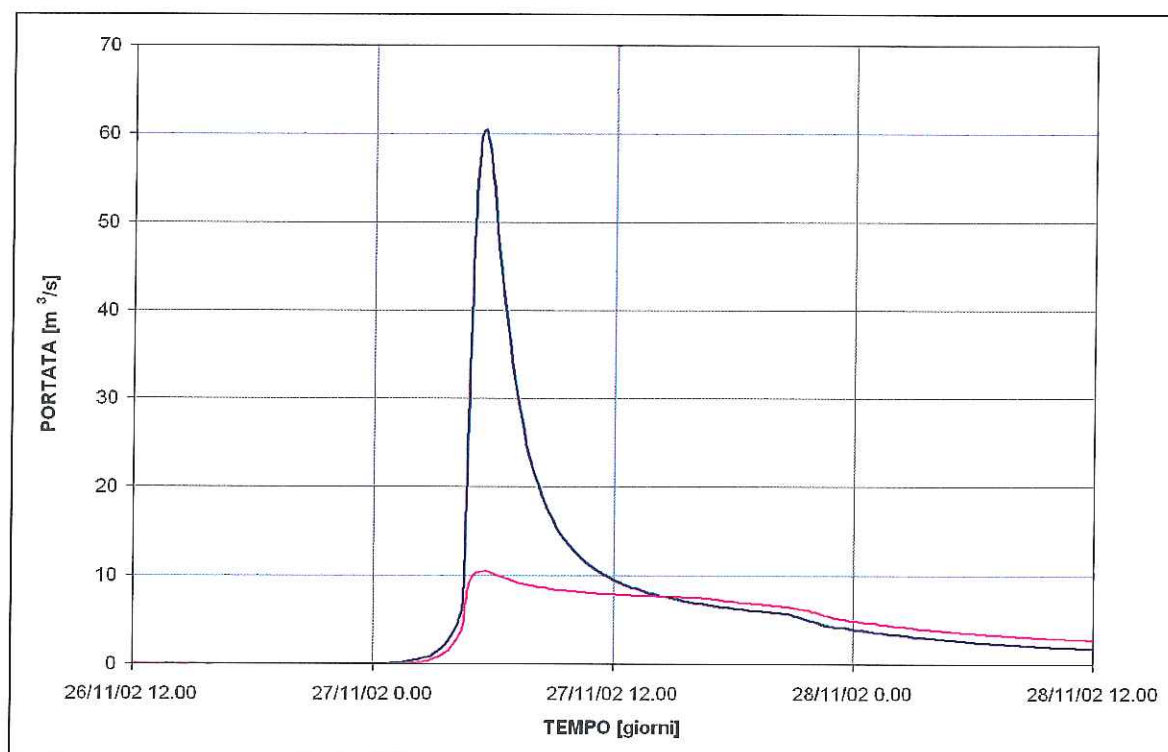
L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 41, ha una portata al colmo pari a $60.4 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 1.3 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $10.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (grazie anche alla presenza di una vasca di laminazione), si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel collettore consortile, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa $15'400 \text{ m}^3$ (1000 m^3 per ogni km^2 di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso al collettore.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel collettore consortile (riportato in figura 41) è pari a circa 1 milione di m^3 , mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.3 milioni di m^3 (23 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.29.

Figura 41: Idrogramma sottobacino LAM16A**4.4.38 Sottobacino LAM16B**

Il bacino LAM16B, afferente al collettore della rete ovest dell'ALSI, il quale recapita le acque nel Lambro in corrispondenza della sezione LA 91.2.1 (a monte dell'impianto di depurazione di Monza), ha un'estensione di circa 6.92 km² (di cui 3.24 km² di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio del comune di Seregno. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1.2} = 1.5 \text{ ora};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni

relativa a tale sottobacino ($n = 0.3$, $a(T=200) = 85 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 220 mm, a cui corrispondono 0.7 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuyente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 42, ha una portata al colmo pari a $27.1 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.26 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.37.

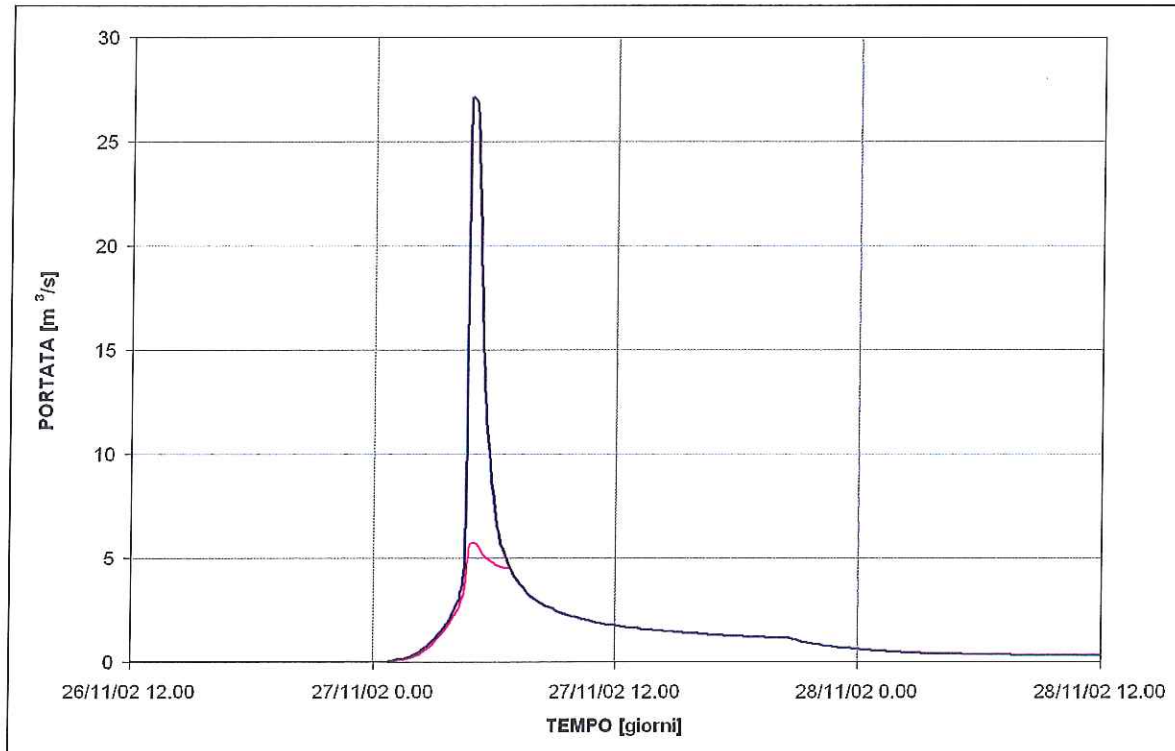
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $5.8 \text{ m}^3/\text{s}$, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel collettore consortile, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa $3'200 \text{ m}^3$ (1000 m^3 per ogni km^2 di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso al collettore.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel collettore consortile (riportato in figura 42) è pari a circa 0.2 milione di m^3 , mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.06 milioni di m^3 (23 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.29.

Figura 42: Idrogramma sottobacino LAM16B



4.4.39 Sottobacino LAM16C

Il bacino LAM16C, afferente al collettore della rete ovest dell'ALSI, il quale recapita le acque nel Lambro in corrispondenza della sezione LA 91.2.1 (a monte dell'impianto di depurazione di Monza), ha un'estensione di circa 14.53 km^2 (di cui 7.37 km^2 di territorio urbanizzato) e comprende il territorio del comune di Desio. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{\max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{\max} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{\max} = 0$;
- $L/L_{\max} = 0$;
- $CQOF = 0.3$;
- $CK_{L2} = 1.4 \text{ ora}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.28$, $a(T=200) = 85 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 207 mm, a cui corrispondono 1.5 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 43, ha una portata al colmo pari a $68 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.58 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

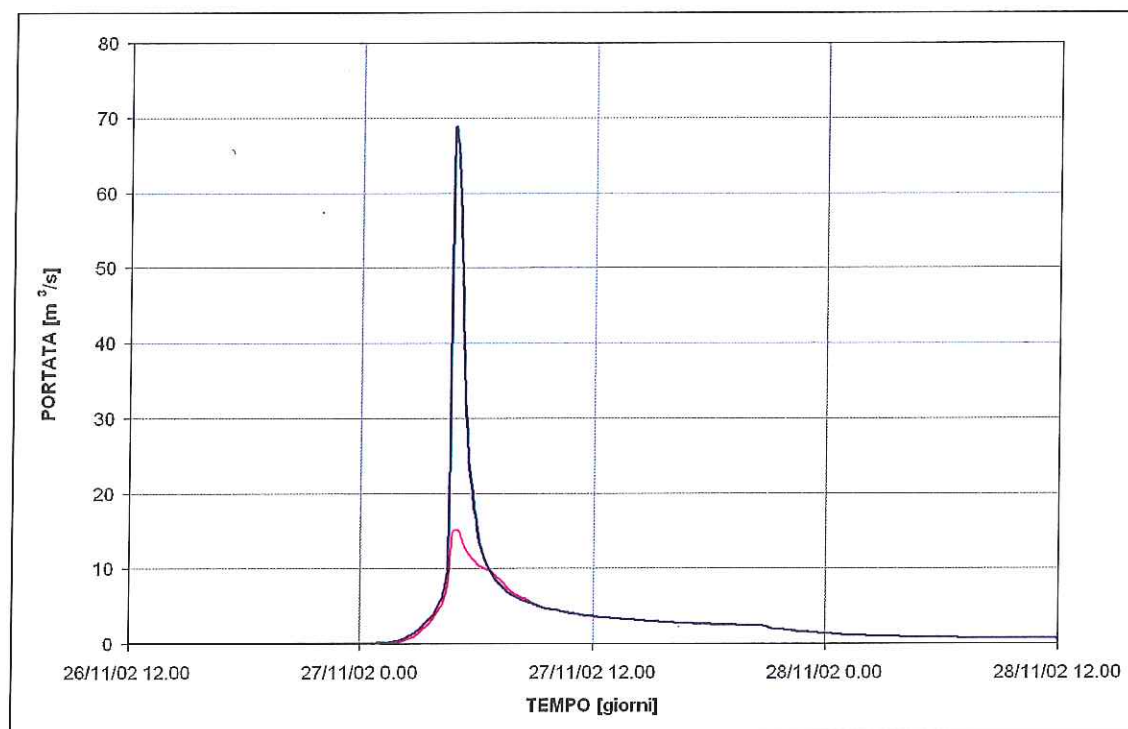
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $15.2 \text{ m}^3/\text{s}$, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel collettore consortile, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa $7'400 \text{ m}^3$ (1000 m^3 per ogni km^2 di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso al collettore.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel collettore consortile (riportato in figura 43) è pari a circa 0.45 milioni di m^3 , mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.13 milioni di m^3 (23 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.30.

Figura 43: Idrogramma sottobacino LAM16C



4.4.40 Sottobacino LAM16D

Il bacino LAM16D, afferente al collettore della rete ovest dell'ALSI, il quale recapita le acque nel Lambro in corrispondenza della sezione LA 91.2.1 (a monte dell'impianto di depurazione di Monza), ha un'estensione di circa 10.75 km^2 (di cui 7.21 km^2 di territorio urbanizzato) e comprende il territorio del comune di Lissone. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$

- CQOF = 0.3;
- $CK_{1,2} = 2$ ore;
- CKIF = 24 ore;
- TOF = 0.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.28$, $a(T=200) = 85$ mm/oraⁿ), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 207 mm, a cui corrispondono 1.49 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

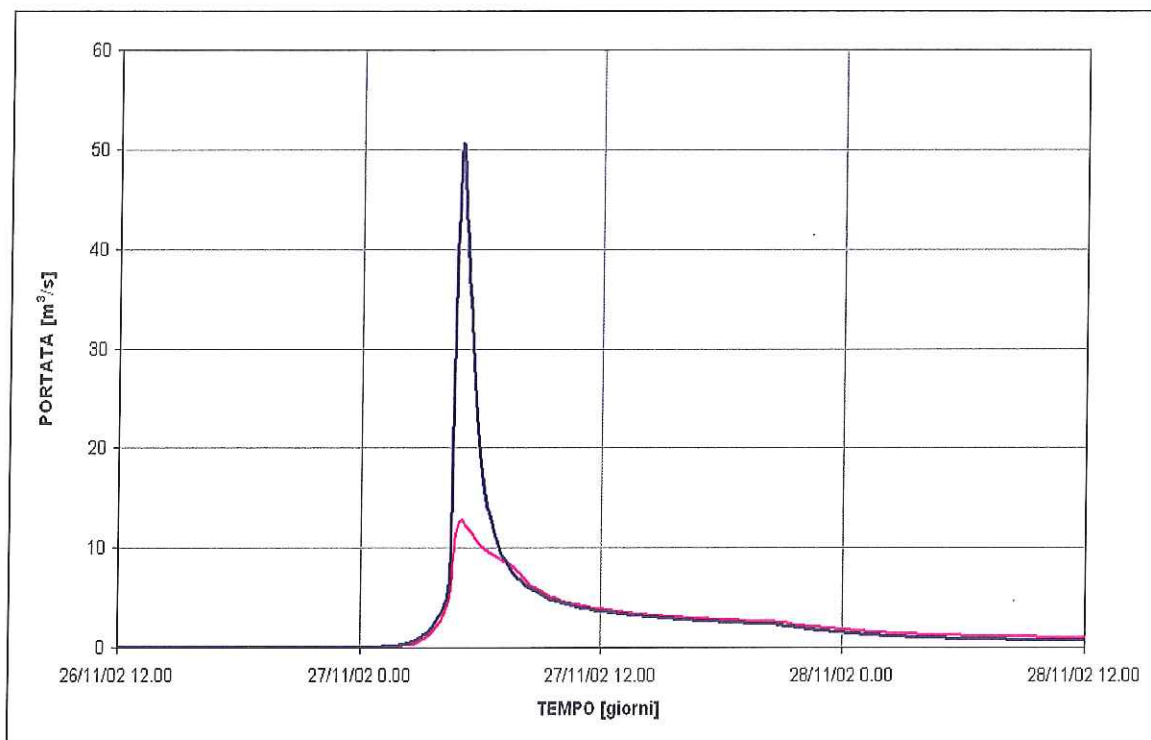
L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 44, ha una portata al colmo pari a 50.7 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.56 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa 12.9 m³/s, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel collettore consortile, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa 7'200 m³ (1000 m³ per ogni km² di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso al collettore.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel collettore consortile (riportato in figura 44) è pari a circa 0.5 milioni di m³, mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.06 milioni di m³ (11 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.33.

Figura 44: Idrogramma sottobacino LAM16D

4.4.41 Sottobacino LAM16E

Il bacino LAM16E, afferente al collettore della rete ovest dell'ALSI, il quale recapita le acque nel Lambro in corrispondenza della sezione LA 91.2.1 (a monte dell'impianto di depurazione di Monza), ha un'estensione di circa 5.57 km² (di cui 3.25 km² di territorio urbanizzato) e comprende il territorio del comune di Nova Milanese. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1.2} = 1.2 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$

- TOF = 0.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.25$, $a(T=200) = 90$ mm/oraⁿ), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 199 mm, a cui corrispondono 0.64 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuyente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 45, ha una portata al colmo pari a 40.71 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.25 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.39.

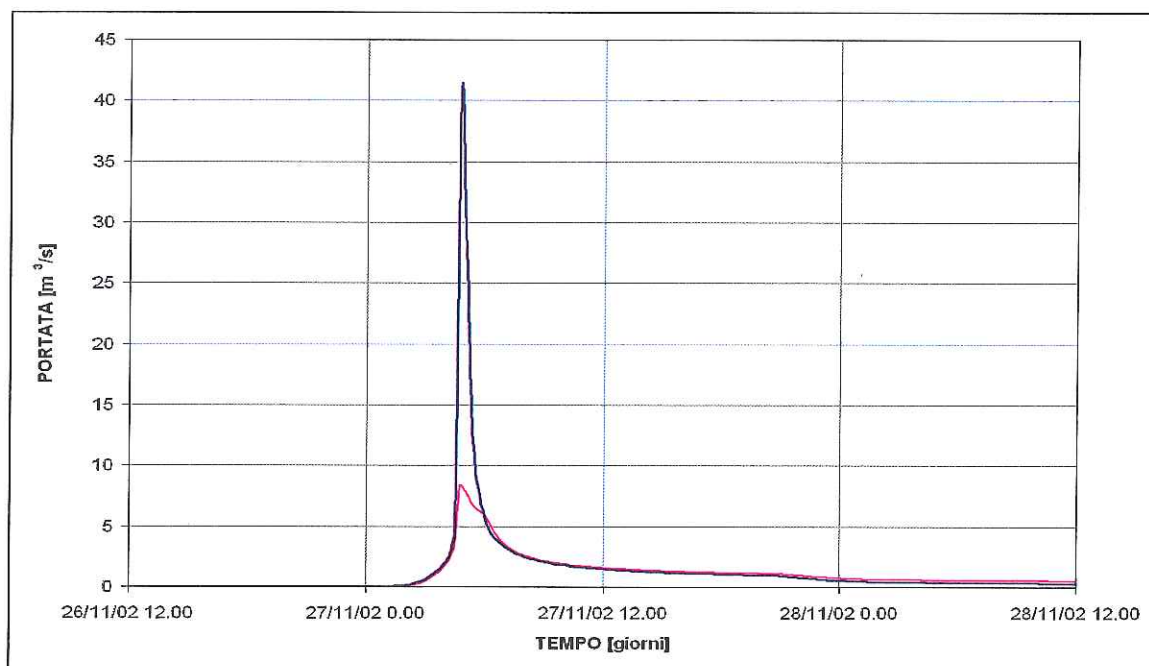
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa 8.4 m³/s, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel collettore consortile, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa 3'200 m³ (1000 m³ per ogni km² di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso al collettore.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel collettore consortile (riportato in figura 45) è pari a circa 0.23 milioni di m³, mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.02 milioni di m³ (8 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.34.

Figura 45: Idrogramma sottobacino LAM16E



4.4.42 Sottobacino LAM16F

Il bacino LAM16F, afferente al collettore della rete ovest dell'ALSI, il quale recapita le acque nel Lambro in corrispondenza della sezione LA 91.2.1 (a monte dell'impianto di depurazione di Monza), ha un'estensione di circa 5.75 km^2 (di cui 3.33 km^2 di territorio urbanizzato) e comprende il territorio del comune di Muggiò. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{\max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{\max} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{\max} = 0$;
- $L/L_{\max} = 0$;
- $CQOF = 0.3$;
- $CK_{1.2} = 1.2 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.25$, $a(T=200) = 90 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 199 mm, a cui corrispondono 0.66 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 46, ha una portata al colmo pari a $41.7 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.25 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

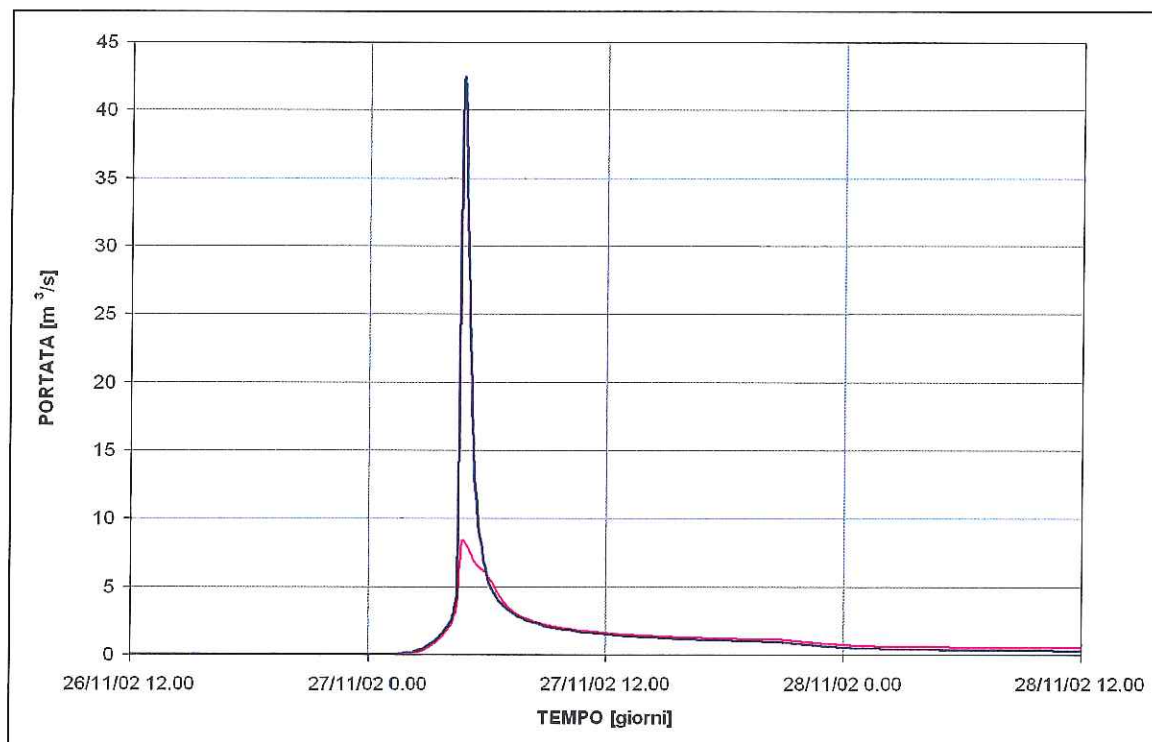
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $8.44 \text{ m}^3/\text{s}$, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel collettore consortile, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa $3'300 \text{ m}^3$ (1000 m^3 per ogni km^2 di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso al collettore.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel collettore consortile (riportato in figura 46) è pari a circa 0.23 milioni di m^3 , mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.02 milioni di m^3 (8 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.34.

Figura 46: Idrogramma sottobacino LAM16F



4.4.43 Sottobacino LAM16G

Il bacino LAM16G, afferente al collettore della rete ovest dell'ALSI, il quale recapita le acque nel Lambro in corrispondenza della sezione LA 91.2.1 (a monte dell'impianto di depurazione di Monza), ha un'estensione di circa 10.73 km^2 (di cui 6.52 km^2 di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio del comune di Monza. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$

- CQOF = 0.3;
- $CK_{1,2} = 1$ ora;
- CKIF = 24 ore;
- TOF = 0.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.25$, $a(T=200) = 90 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 199 mm, a cui corrispondono 1.3 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

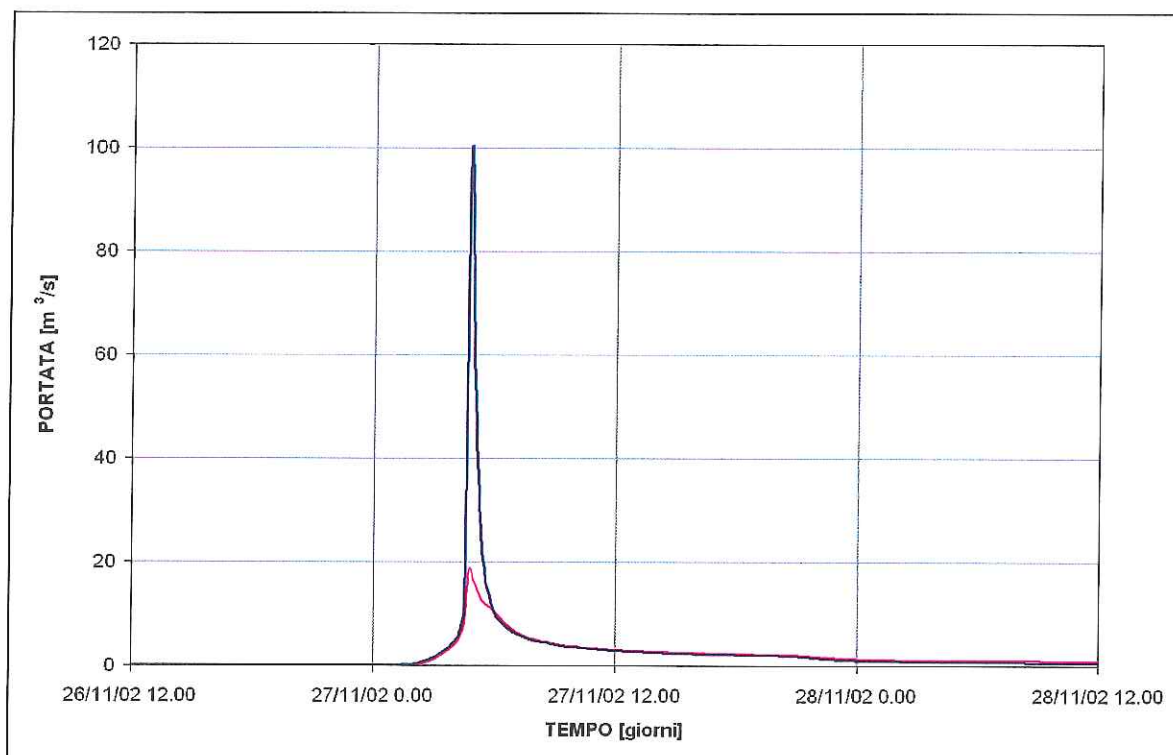
L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 47, ha una portata al colmo pari a $99.6 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.5 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $18.6 \text{ m}^3/\text{s}$, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel collettore consortile, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa $6'500 \text{ m}^3$ (1000 m^3 per ogni km^2 di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso al collettore.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel collettore consortile (riportato in figura 47) è pari a circa 0.45 milioni di m^3 , mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.05 milioni di m^3 (10 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.34.

Figura 47: Idrogramma sottobacino LAM16G

4.4.44 Sottobacino LAM17

Il bacino LAM17, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 85 (a Sesto San Giovanni), ha un'estensione di circa 11.26 km² (di cui 8.04 km² di territorio urbanizzato) e comprende il territorio del comune di Sesto San Giovanni. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0$;
- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.3$;
- $CK_{1.2} = 1.5 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.23$, $a(T=200) = 95 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 197 mm, a cui corrispondono 1.6 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 48, ha una portata al colmo pari a $74.1 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.61 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

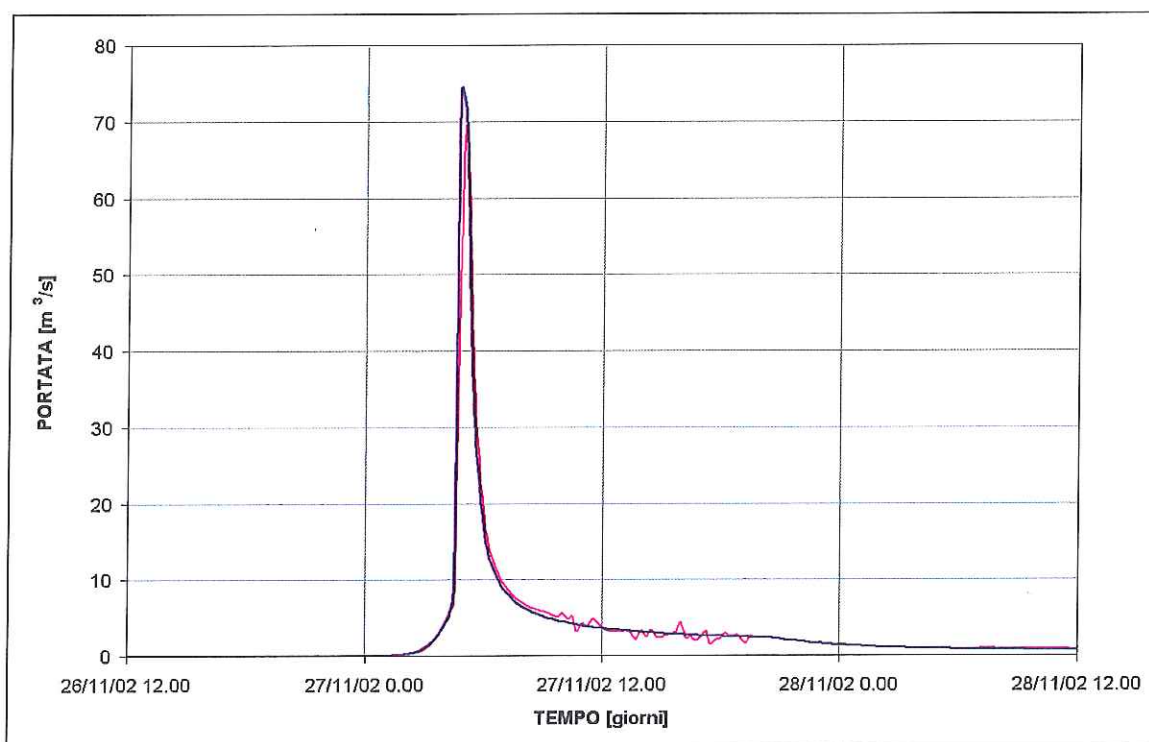
Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $69.6 \text{ m}^3/\text{s}$, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa $80'000 \text{ m}^3$ (volume della rete fognaria del comune di Sesto San Giovanni); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 48) è pari a circa 0.60 milioni di m^3 , mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.01 milioni di m^3 (2 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.37.

Figura 48: Idrogramma sottobacino LAM17



4.4.45 Sottobacino LAM18

Il bacino LAM18, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 85.5, ha un'estensione di circa 3.72 km² (di cui 2.31 km² di territorio urbanizzato) e comprende parte del territorio dei comuni di Brugherio e Cologno Monzese. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1,2} = 1 \text{ ora};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.23$, $a(T=200) = 90 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 187 mm, a cui corrispondono 0.43 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 49, ha una portata al colmo pari a 36.1 m³/s e un volume complessivo pari a circa 0.17 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.39.

Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa 5.5 m³/s, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

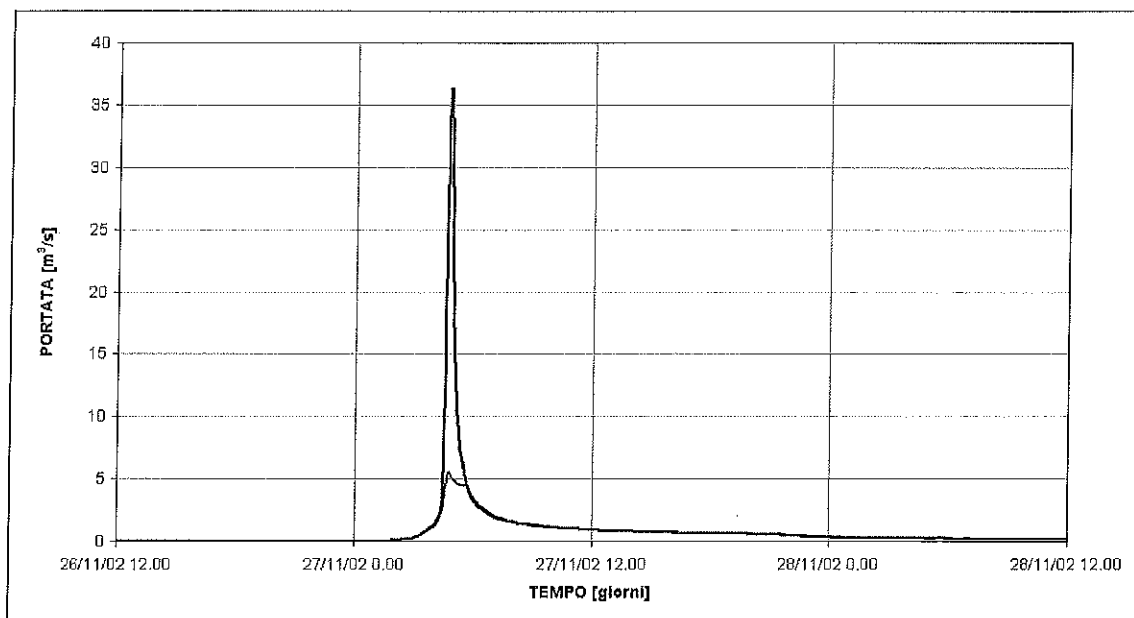
Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, il serbatoio prima citato è munito di una soglia di sfioro in modo da invasare un volume massimo pari a circa 2'300 m³ (1000 m³ per ogni km² di bacino urbano); il volume dell'onda di piena che eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in ingresso all'asta fluviale.

Nel caso in esame l'idrogramma scaricato nel Lambro (riportato in figura 49) è pari a circa

0.12 milioni di m^3 , mentre il volume sfiorato e perduto è pari a circa 0.05 milioni di m^3 (29 % del volume in ingresso alla rete fognaria).

Il coefficiente di afflusso complessivo è pari a 0.28.

Figura 49: Idrogramma sottobacino LAM18



4.4.46 Sottobacino LAM19A

Il bacino LAM19A, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 78 (Ponte di via Feltre – Milano), ha un'estensione di circa 3 km^2 di territorio urbanizzato e comprende parte del territorio del comune di Milano. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0$;
- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.3$;
- $CK_{1,2} = 2.5 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;

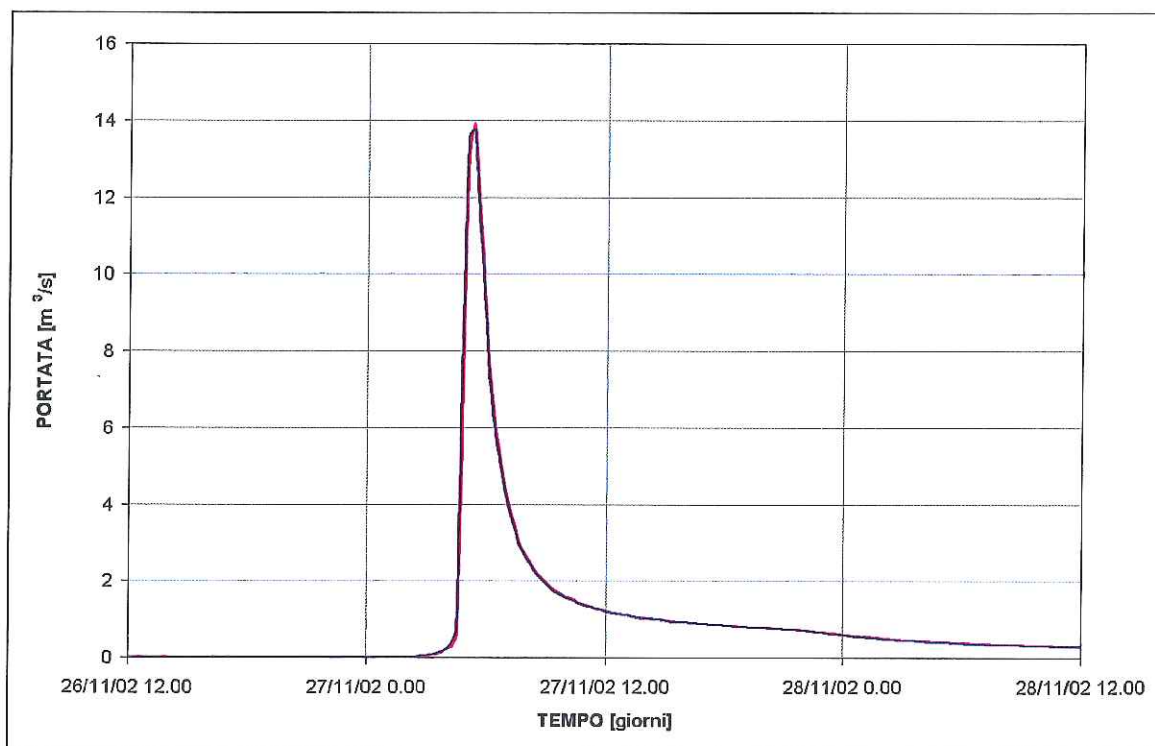
- TOF = 0.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.23$, $a(T=200) = 80 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 166 mm, a cui corrispondono 0.50 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 50, ha una portata al colmo pari a $13.7 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.19 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

La configurazione della rete fognaria è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a quella entrante nel sistema, sia in termini di portata al colmo, sia in termini di volume.

Figura 50: **Figura 50 – Idrogramma sottobacino LAM19A**



4.4.47 Sottobacino LAM19B

Il bacino LAM19B, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 77.1bis (a valle del ponte di via Rombon – Milano), ha un'estensione di circa 3 km^2 di territorio urbanizzato e comprende parte del territorio del comune di Milano. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono,

riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1.2} = 2.5 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

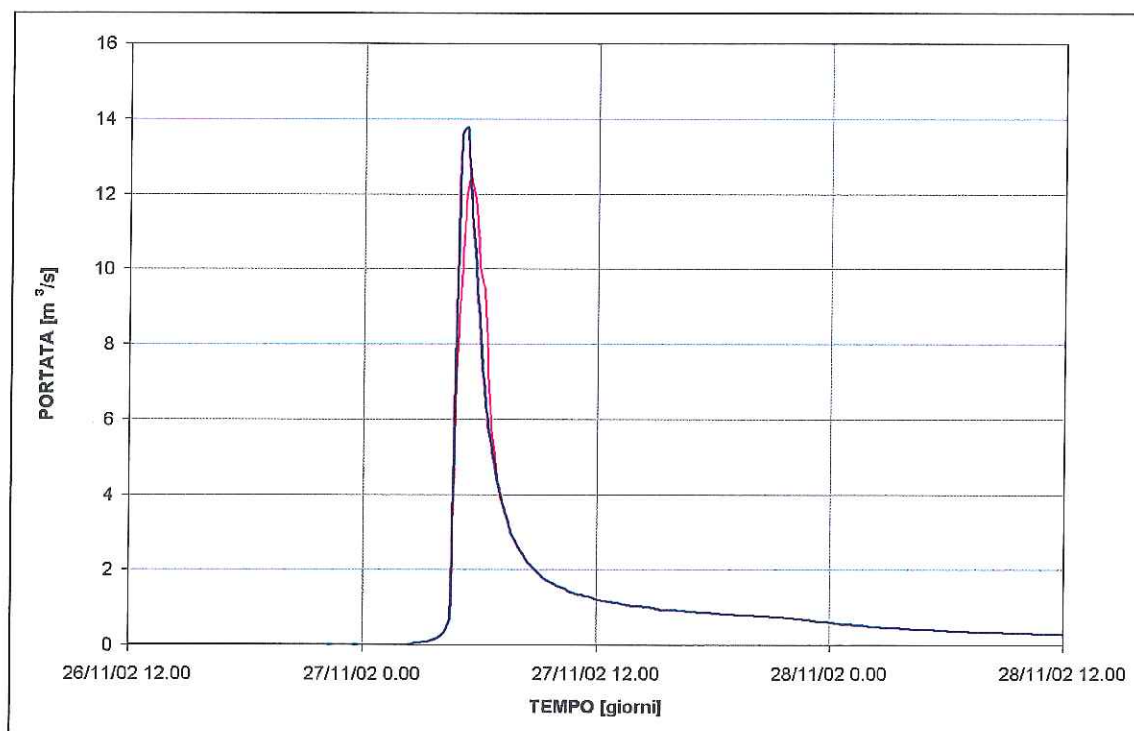
Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.23$, $a(T=200) = 80 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 166 mm, a cui corrispondono 0.50 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 51, ha una portata al colmo pari a $13.7 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.19 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

Per simulare poi la limitazione della portata al colmo conseguente alla configurazione della rete fognaria, la quale è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a circa $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$, si è predisposto un modello costituito da un serbatoio dotato di una tubazione in uscita che limita la portata massima al valore desunto.

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma scaricato nel Lambro, la rete fognaria del comune di Milano ha una capacità d'invaso tale per cui non si considera una riduzione dei volumi in ingresso all'asta fluviale.

Figura 51: Idrogramma sottobacino LAM19B



4.4.48 Sottobacino LAM19C

Il bacino LAM19C, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 74.1 (a monte ponte FS), ha un'estensione di circa 5 km² di territorio urbanizzato e comprende parte del territorio del comune di Milano. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

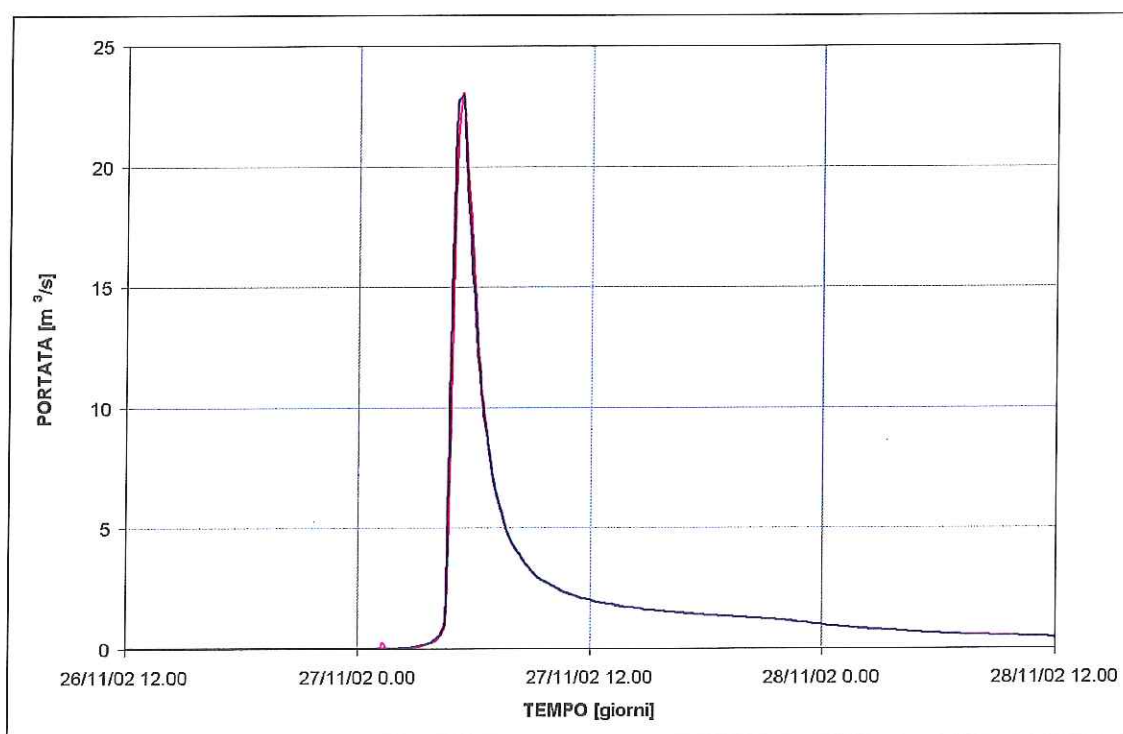
- $U_{max} = 10 \text{ mm};$
- $L_{max} = 5 \text{ mm};$
- $U/U_{max} = 0;$
- $L/L_{max} = 0;$
- $CQOF = 0.3;$
- $CK_{1,2} = 2.5 \text{ ore};$
- $CKIF = 24 \text{ ore};$
- $TOF = 0.$

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.23$, $a(T=200) = 80 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 166 mm, a cui corrispondono 0.83 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 52, ha una portata al colmo pari a $22.9 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.32 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.38.

La configurazione della rete fognaria è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a quella entrante nel sistema, sia in termini di portata al colmo, sia in termini di volume.

Figura 52: Idrogramma sottobacino LAM19C



4.4.49 Sottobacino LAM19D

Il bacino LAM19D, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 69 bis (Ponte Lambro - Milano), ha un'estensione di circa 4 km^2 di territorio urbanizzato e comprende parte del territorio del comune di Milano. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO).

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

- $U_{\text{max}} = 10 \text{ mm}$;

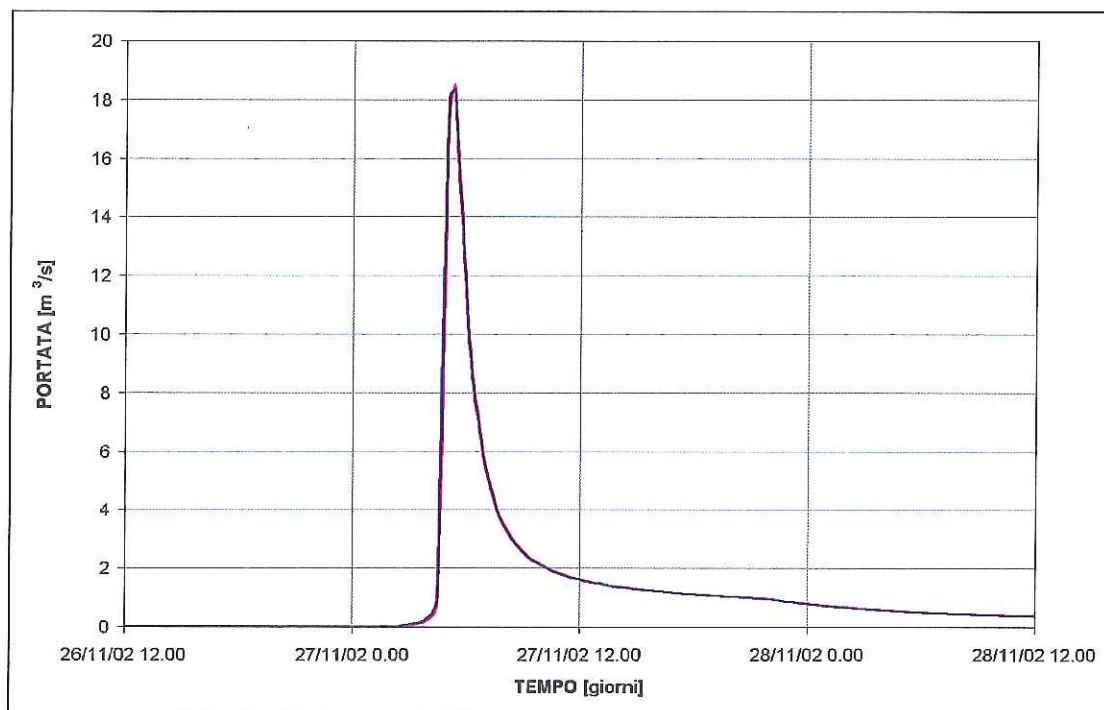
- $L_{max} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0$;
- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.3$;
- $CK_{1,2} = 2.5 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.23$, $a(T=200) = 80 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 166 mm, a cui corrispondono 0.66 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso alla rete fognaria. Tale idrogramma, riportato in figura 53, ha una portata al colmo pari a $18.3 \text{ m}^3/\text{s}$ e un volume complessivo pari a circa 0.26 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.39.

La configurazione della rete fognaria è in grado di convogliare nel reticolo superficiale una portata al colmo pari a quella entrante nel sistema, sia in termini di portata al colmo, sia in termini di volume.

Figura 53: Idrogramma sottobacino LAM19D



4.4.50 Sottobacino LAM20

Il bacino LAM20, afferente all'asta del Lambro in corrispondenza della sezione LA 63.1bis (in prossimità dell'impianto di depurazione di Peschiera Borromeo, ha un'estensione di circa 109.27 km² (di cui 37.44 km² di territorio urbanizzato) e comprende il territorio dei comuni di Brugherio, Cologno Monzese, Cernusco sul Naviglio, Vimodrone, Pioltello, Segrate e Peschiera Borromeo. Tale bacino è urbanizzato, i versanti sono pianeggianti e sono privi di reticolo superficiale in grado di recapitare nel Lambro le portate meteoriche, pertanto il comportamento idrologico è di tipo urbano (modello NAM-URBANO). Le reti comunali recapitano le portate meteoriche direttamente nel collettore consortile del Consorzio Acqua Potabile di Milano; alcuni comuni sono muniti di vasche di laminazione, pertanto si ha una riduzione delle portate recapitate allo stesso.

I principali parametri idrologici del modello afflussi-deflussi di tale sottobacino sono, riferiti alla sola porzione di territorio urbanizzato:

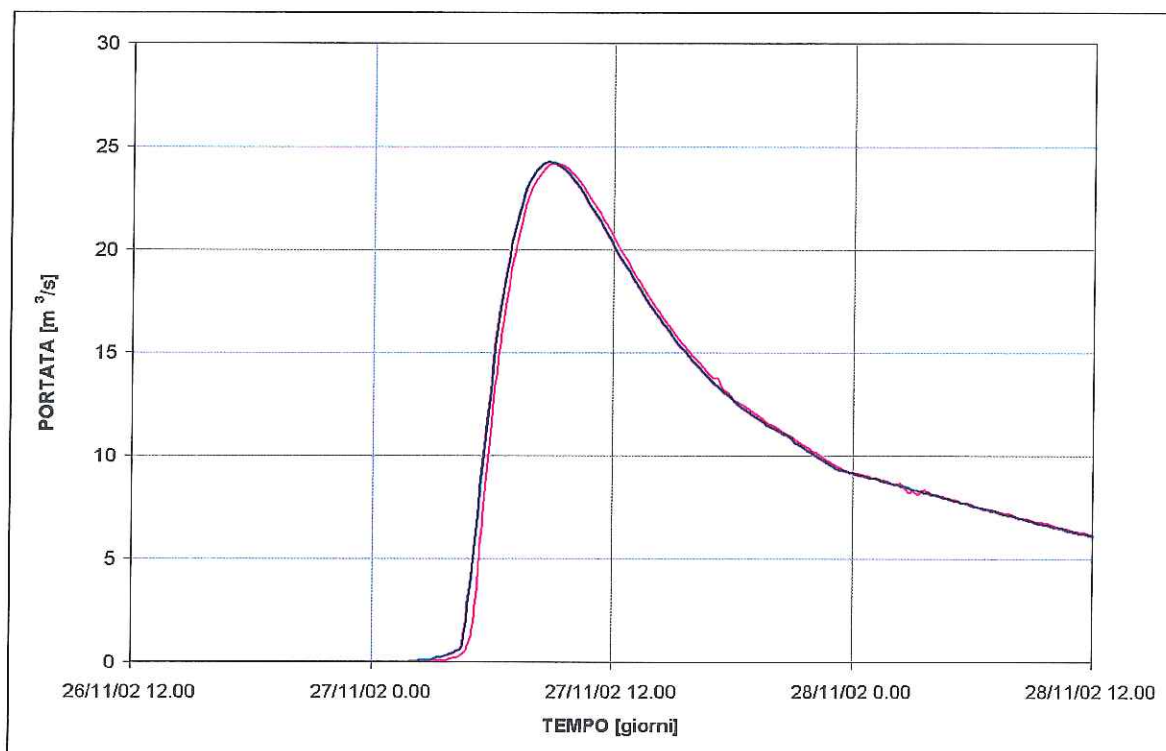
- $U_{max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 5 \text{ mm}$;
- $U/U_{max} = 0$;
- $L/L_{max} = 0$;
- $CQOF = 0.2$;
- $CK_{1,2} = 8 \text{ ore}$;
- $CKIF = 24 \text{ ore}$;
- $TOF = 0$.

Considerando la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 200 anni relativa a tale sottobacino ($n = 0.25$, $a(T=200) = 80 \text{ mm/ora}^n$), l'altezza di precipitazione lorda è pari a 177 mm, a cui corrispondono 6.6 milioni di metri cubi (considerando solo la porzione di sottobacino contribuente, cioè quella urbana).

L'idrogramma in uscita dal modello NAM rappresenta l'onda in ingresso al collettore consortile, pertanto tiene conto, attraverso un valore del parametro CQOF inferiore rispetto agli altri bacini, dell'effetto di laminazione dovuto alla presenza di vasche di laminazione. Tale idrogramma, riportato in figura 54, ha una portata al colmo pari a 24.4 m³/s e un volume complessivo pari a circa 2 milioni di metri cubi, per cui il coefficiente di afflusso naturale medio è pari a circa 0.30.

La configurazione della rete fognaria consortile e del recapito è in grado di convogliare nel Lambro una portata al colmo pari a quella entrante nel sistema, sia in termini di portata al colmo, sia in termini di volume.

Figura 54: Idrogramma sottobacino LAM20



4.5 PORTATE AL COLMO DEI BACINI URBANI SUDDIVISE PER COMUNE

I risultati riportati nel paragrafo precedente sono relativi ai vari sottobacini secondo cui è stato scomposto il bacino idrografico del Lambro. Non sempre al singolo sottobacino corrisponde un unico comune.

Considerando i sottobacini che contribuiscono alla formazione della piena attraverso i soli contributi urbani (LAM10 ÷ LAM20), risulta utile estrapolare i valori delle portate al colmo per ogni comune; partendo dai valori riportati in precedenza e dalla delimitazione dei bacini, si ottengono i seguenti valori di portata al colmo:

- SOVICO: 3 m³/s;
- MACHERIO: 4 m³/s;
- BIASSONO: 4 m³/s;
- ARCORE: 6 m³/s;
- VILLASANTA: 6 m³/s;
- VEDANO AL LAMBRO: 4 m³/s;
- MONZA: 69 m³/s;
- CONCORREZZO: 5 m³/s;

- SEREGNO: 8 m³/s;
- GIUSSANO: 6 m³/s;
- CARATE BRIANZA: 2 m³/s;
- VERANO BRIANZA: 1 m³/s;
- DESIO: 15 m³/s;
- LISSONE: 13 m³/s;
- NOVA MILANESE: 8 m³/s;
- MUGGIÒ: 8 m³/s;
- SESTO SAN GIOVANNI: 70 m³/s;
- MILANO: 67 m³/s;
- C.A.P. (BRUGHERIO, COLOGNO, CERNUSCO S/N, VIMODRONE, PIOLTELLO, SEGRATE, PESCHIERA BORROMEO): 30 m³/s.

5. TARATURA DEL MODELLO IDROLOGICO

La taratura del modello idrologico è stata condotta, unitamente alla taratura del modello idraulico, utilizzando i dati pluvio-idrometrici dell'evento meteorico della fine del mese di novembre 2002.

Tale evento ha provocato esondazioni estese in alcuni tratti dell'asta del Lambro, in modo particolare nei comuni posti sulle rive del lago di Pusiano, a Carate Brianza, Villasanta, nel centro storico di Monza, nel comune di Cologno Monzese e a Milano (Parco Lambro).

La simulazione dell'evento con l'utilizzo del modello idrologico-idraulico ha permesso di tarare i valori dei parametri dei modelli NAM dei singoli sottobacini.

I dati disponibili di tale evento sono relativi ai seguenti strumenti di misura:

- pluviometro di Caslino d'Erba (dati forniti dall'ARPA – Regione Lombardia);
- pluviometro di Molteno (dati forniti dalla Protezione Civile);
- pluviometro di Veduggio (dati forniti dall'ALSI – ex Consorzio Alto Lambro);
- pluviometro di Cusano Milanino (dati forniti dall'ARPA – Regione Lombardia);
- idrometro di Lambrugo (dati forniti dall'ARPA – Regione Lombardia);
- idrometro di Peregallo (dati forniti dall'ARPA – Regione Lombardia);

- idrometro di Villasanta (dati forniti dall'Associazione ADAL);
- idrometro di via Feltre a Milano (dati forniti dall'ARPA – Regione Lombardia).

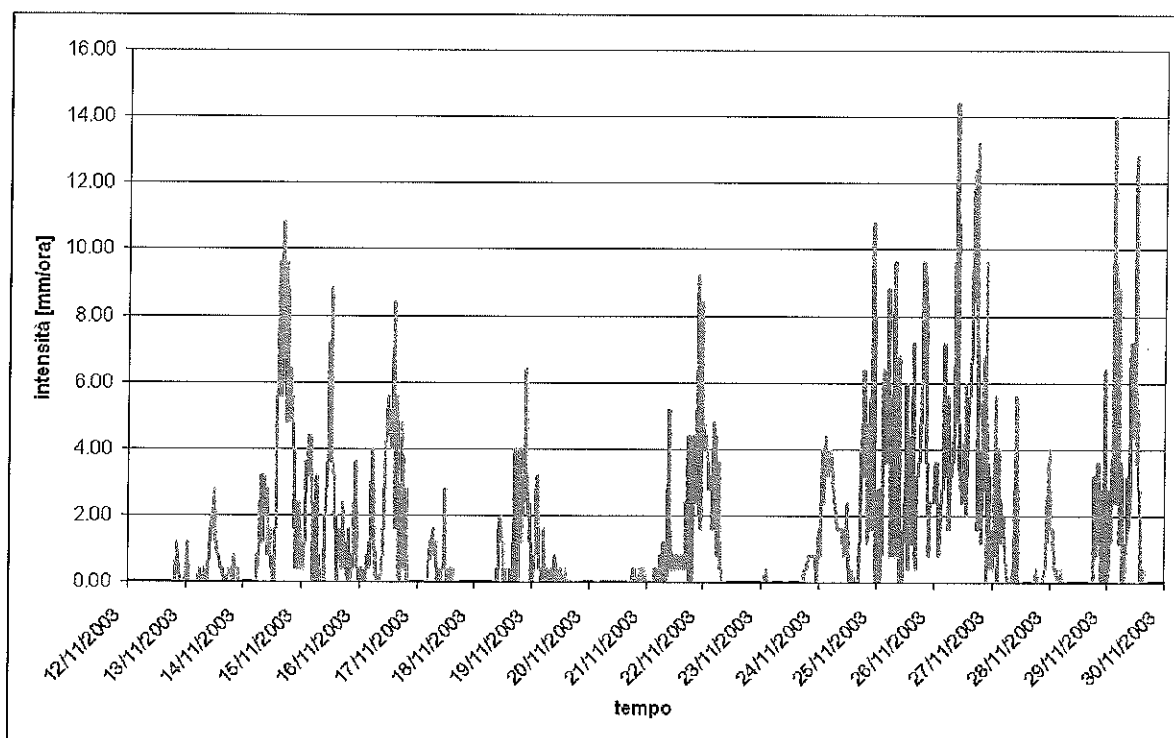
Nei successivi paragrafi vengono presi in considerazione ed analizzati i dati registrati dai pluviometri di Caslino d'Erba, Molteno, Veduggio e Cusano Milanino. Per quanto riguarda gli idrometri si rimanda l'analisi dei dati registrati alla relazione idraulica.

5.1 PLUVIOMETRO DI CASLINO D'ERBA

L'evento di novembre 2002 (riportato nella figura 55) registrato dal pluviometro di Caslino d'Erba ha le seguenti caratteristiche:

- altezza complessiva di precipitazione: 611.40 mm;
- intensità massima: 14.40 mm/ora;
- intervallo temporale di registrazione: 0.5 ore.
- altezza massima registrata in 1 ora: 12.6 mm;
- altezza massima registrata in 3 ore: 29.2 mm;
- altezza massima registrata in 6 ore: 43.6 mm;
- altezza massima registrata in 12 ore: 73.8 mm;
- altezza massima registrata in 24 ore: 121.6 mm;
- altezza massima registrata in 1 giorno: 121.6 mm;
- altezza massima registrata in 3 giorni: 256.2 mm;
- altezza massima registrata in 5 giorni: 318.0mm;
- altezza massima registrata in 10 giorni: 411.8 mm;
- altezza massima registrata in 15 giorni: 587.0 mm.

Figura 55: Dati registrati dal pluviometro di Caslino durante l'evento del 12-30 novembre 2002



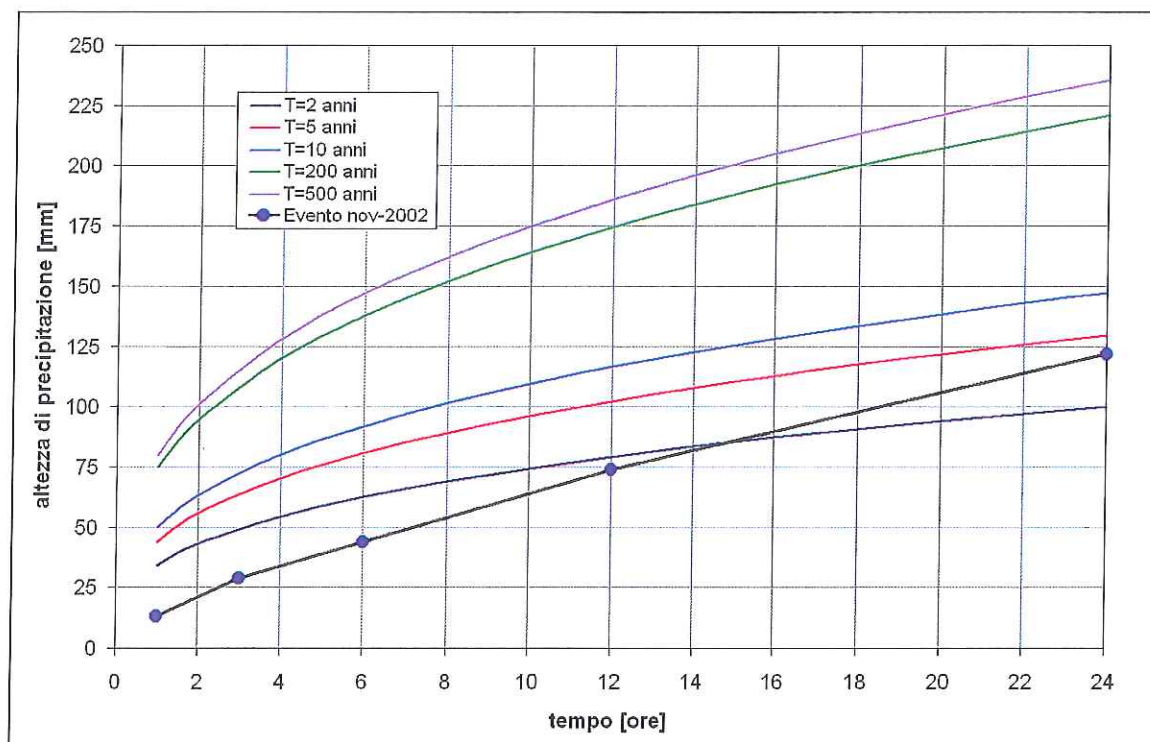
Per determinare il tempo di ritorno di tale evento, considerando durate inferiori alle 24 ore, si sono considerati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica, riportati nella tabella 2, relativamente al sottobacino LAM1.

Per il pluviometro di Caslino, i parametri delle curve di possibilità pluviometrica dedotti dalle curve iso-a e iso-n (cfr. allegato 1), riferiti ad eventi meteorici compresi nelle 24 ore, assumono i seguenti valori:

- $n = 0.34$;
- $a (T = 2 \text{ anni}) = 34 \text{ mm/ora}^n$;
- $a (T = 5 \text{ anni}) = 44 \text{ mm/ora}^n$;
- $a (T = 10 \text{ anni}) = 50 \text{ mm/ora}^n$;
- $a (T = 200 \text{ anni}) = 75 \text{ mm/ora}^n$;
- $a (T = 500 \text{ anni}) = 80 \text{ mm/ora}^n$;

Nella Figura 56 sono riportate le curve di possibilità pluviometrica relative a diversi tempi di ritorno e all'evento reale, dal quale si evince che l'evento del 12÷30 novembre 2002 ha raggiunto mediamente, per le brevi durate, un tempo di ritorno inferiore a 5 anni (per durate inferiori alle 12 ore il tempo di ritorno è inferiore a 2 anni).

Figura 56: Curve di possibilità pluviometrica a Caslino d'Erba ($t < 24$ ore)



Per determinare, invece, il tempo di ritorno di tale evento, considerando durate superiori alle 24 ore, si sono considerati le curve di possibilità pluviometrica fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Po (relativamente alle durate di 1, 2, 3, 4 e 5 giorni), da cui sono stati estrapolati i valori delle altezze di precipitazione relative a durate superiori.

Per il pluviometro di Caslino sono stati forniti i seguenti valori:

- per $T = 10$ anni:

- $t = 1$ giorno $h = 146.8$ mm
- $t = 2$ giorni $h = 194.6$ mm
- $t = 3$ giorni $h = 229.5$ mm
- $t = 4$ giorni $h = 258.0$ mm
- $t = 5$ giorni $h = 282.6$ mm

- per $T = 20$ anni:

- $t = 1$ giorno $h = 168.7$ mm
- $t = 2$ giorni $h = 221.4$ mm
- $t = 3$ giorni $h = 259.5$ mm

- $t = 4$ giorni $h = 290.5$ mm
- $t = 5$ giorni $h = 317.1$ mm
- per $T = 50$ anni:
 - $t = 1$ giorno $h = 197.1$ mm
 - $t = 2$ giorni $h = 255.4$ mm
 - $t = 3$ giorni $h = 297.2$ mm
 - $t = 4$ giorni $h = 331.0$ mm
 - $t = 5$ giorni $h = 359.8$ mm
- per $T = 100$ anni:
 - $t = 1$ giorno $h = 217.3$ mm
 - $t = 2$ giorni $h = 279.1$ mm
 - $t = 3$ giorni $h = 323.1$ mm
 - $t = 4$ giorni $h = 358.4$ mm
 - $t = 5$ giorni $h = 388.5$ mm
- per $T = 200$ anni:
 - $t = 1$ giorno $h = 238.1$ mm
 - $t = 2$ giorni $h = 303.5$ mm
 - $t = 3$ giorni $h = 349.8$ mm
 - $t = 4$ giorni $h = 386.9$ mm
 - $t = 5$ giorni $h = 418.3$ mm
- per $T = 500$ anni:
 - $t = 1$ giorno $h = 265.4$ mm
 - $t = 2$ giorni $h = 335.3$ mm
 - $t = 3$ giorni $h = 384.3$ mm
 - $t = 4$ giorni $h = 423.5$ mm
 - $t = 5$ giorni $h = 456.5$ mm

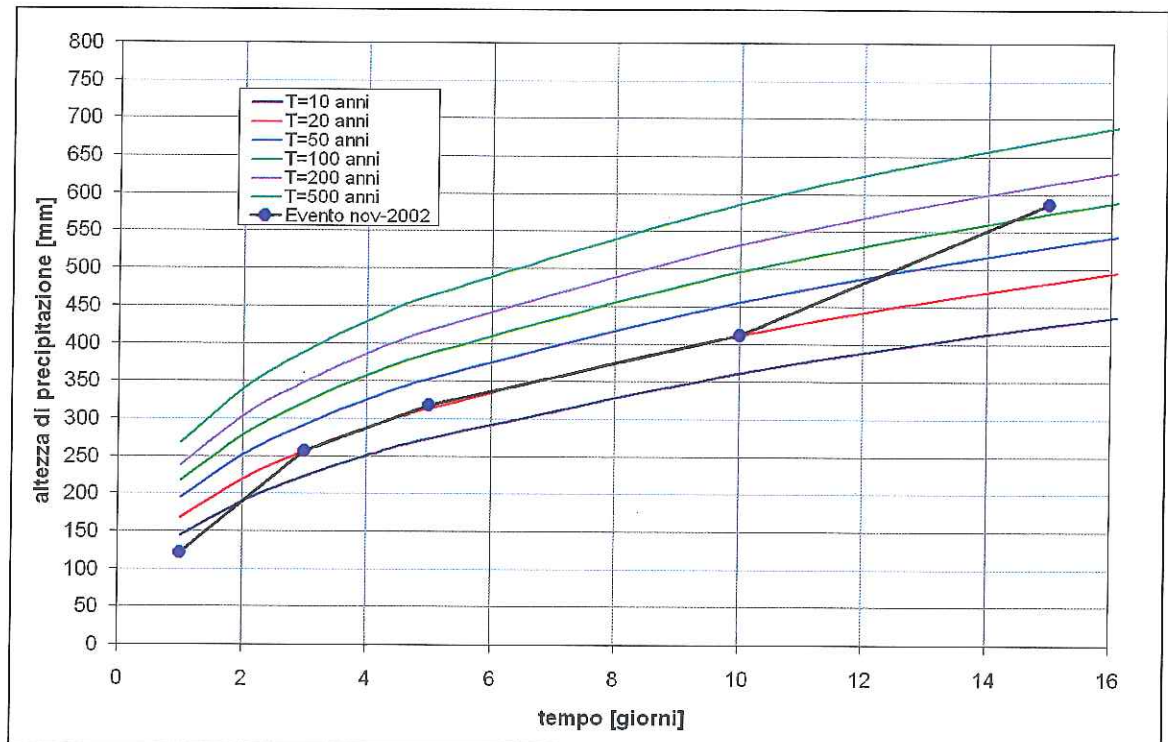
Da tali valori è possibile estrapolare i parametri delle curve di possibilità pluviometrica, in modo da poter ottenere almeno delle indicazioni per i valori delle altezze di precipitazione per durate superiori a 5 giorni.

I valori ottenuti dall'interpolazione dei dati forniti sono i seguenti:

- $n(T = 10 \text{ anni}) = 0.4;$
- $a(T = 10 \text{ anni}) = 40.3 \text{ mm/ora}^n;$
- $n(T = 20 \text{ anni}) = 0.39;$
- $a(T = 20 \text{ anni}) = 48.5 \text{ mm/ora}^n;$
- $n(T = 50 \text{ anni}) = 0.37;$
- $a(T = 50 \text{ anni}) = 60 \text{ mm/ora}^n;$
- $n(T = 100 \text{ anni}) = 0.36;$
- $a(T = 100 \text{ anni}) = 69 \text{ mm/ora}^n;$
- $n(T = 200 \text{ anni}) = 0.35;$
- $a(T = 200 \text{ anni}) = 78.2 \text{ mm/ora}^n;$
- $n(T = 500 \text{ anni}) = 0.34;$
- $a(T = 500 \text{ anni}) = 90.9 \text{ mm/ora}^n;$

Nella Figura 57 sono riportate le curve di possibilità pluviometrica relative a diversi tempi di ritorno e all'evento reale, dal quale si evince che l'evento del 12÷30 novembre 2002 ha raggiunto per durate inferiori a 10 giorni un tempo di ritorno pari a circa 10 anni. Considerando invece il tempo intercorso tra l'inizio dell'evento (13 novembre) e il termine del picco dell'evento stesso (28 novembre), pari a circa 15 giorni, il tempo di ritorno è compreso tra 100 e 200 anni.

Figura 57: Curve di possibilità pluviometrica a Caslino d'Erba ($t > 24$ ore)



Nella simulazione idrologica-idraulica dell'evento reale tale precipitazione è stata attribuita ai sottobacini posti a monte dei laghi (Pusiano e Alserio), per cui: LAM1A, LAM1B, LAM1C, REZ, FOC, BIS, RAV, BOV, LAM2, LAM3A, LAM3B.

5.2 PLUVIOMETRO DI MOLTENO

Le registrazioni effettuate dal pluviometro di Molteno durante l'evento di novembre 2002 non sono complete, in particolare non ci sono valori nei periodi compresi tra il 17 e il 23 e fra il 24 e il 30. Per ottenere comunque una stima dell'evento verificatosi nella zona di Molteno si sono estrapolati i dati mancanti, partendo dai dati registrati dal pluviometro di Caslino e applicando l'ipotesi di proporzionalità tra le altezze di pioggia dei due pluviometri, partendo dai valori misurati nei giorni in cui entrambi i pluviometri hanno registrato i dati.

Tale procedura, seppur semplificata, permette di avere alcune indicazioni preziose sul bacino afferente al principali affluente naturale del Lambro, la Bevera di Molteno.

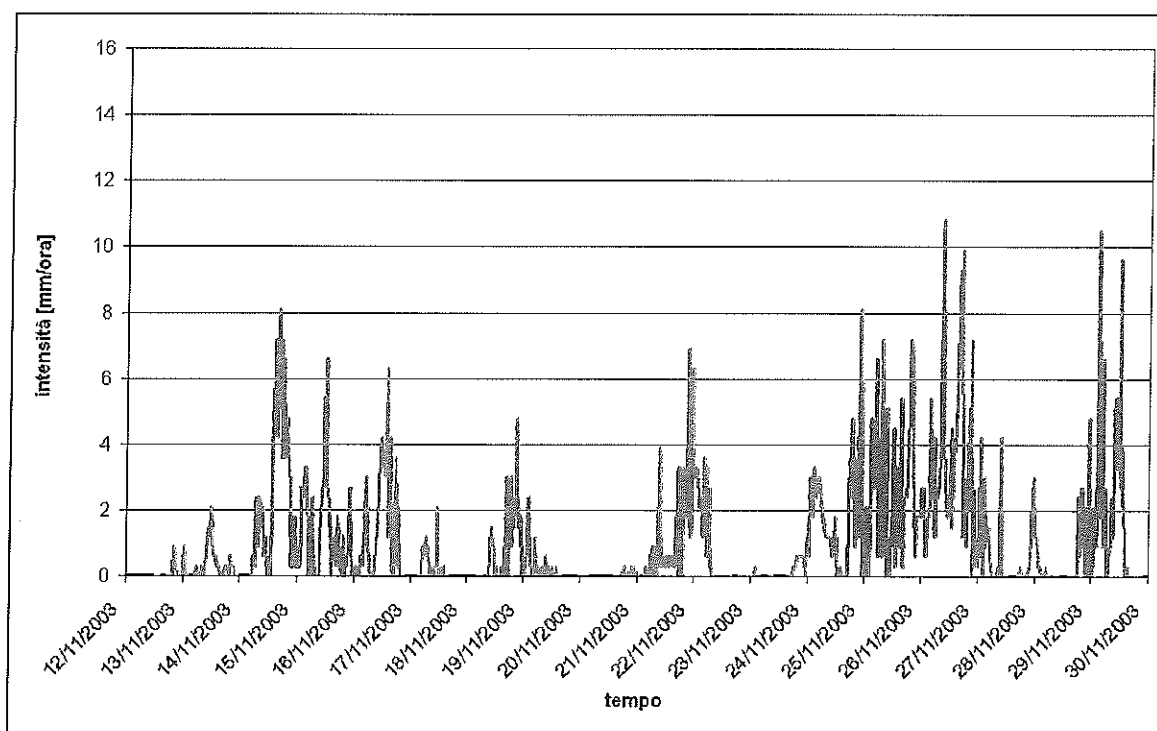
Si evidenzia, comunque, che essendo l'evento in questione poco intenso per le brevi durate e molto prolungato nel tempo, come dimostrato dall'analisi delle precipitazioni registrate a Caslino, l'ipotesi di proporzionalità tra i valori di precipitazione può essere accettata, seppur con ovvie approssimazioni.

I valori di precipitazione così ottenuti sono rappresentati nella figura 58, sotto forma di intensità di precipitazione oraria.

L'evento così ottenuto ha le seguenti caratteristiche:

- altezza complessiva di precipitazione: 458.55 mm;
- intensità massima: 10.80 mm/ora;
- intervallo temporale di registrazione: 0.5 ore.
- altezza massima registrata in 1 ora: 9.4 mm;
- altezza massima registrata in 3 ore: 21.9 mm;
- altezza massima registrata in 6 ore: 32.7 mm;
- altezza massima registrata in 12 ore: 55.3 mm;
- altezza massima registrata in 24 ore: 91.2 mm.
- altezza massima registrata in 1 giorno: 91.2 mm;
- altezza massima registrata in 3 giorni: 192.1 mm;
- altezza massima registrata in 5 giorni: 238.5 mm;
- altezza massima registrata in 10 giorni: 321.6 mm;
- altezza massima registrata in 15 giorni: 440.6 mm.

Figura 58: Dati registratie ricostruiti dal pluviometro di Molteno durante l'evento del 12-30 novembre 2002



Per determinare il tempo di ritorno di tale evento, considerando durate inferiori alle 24 ore, si sono considerati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica, riportati nella tabella 2, relativamente al sottobacino BEV1.

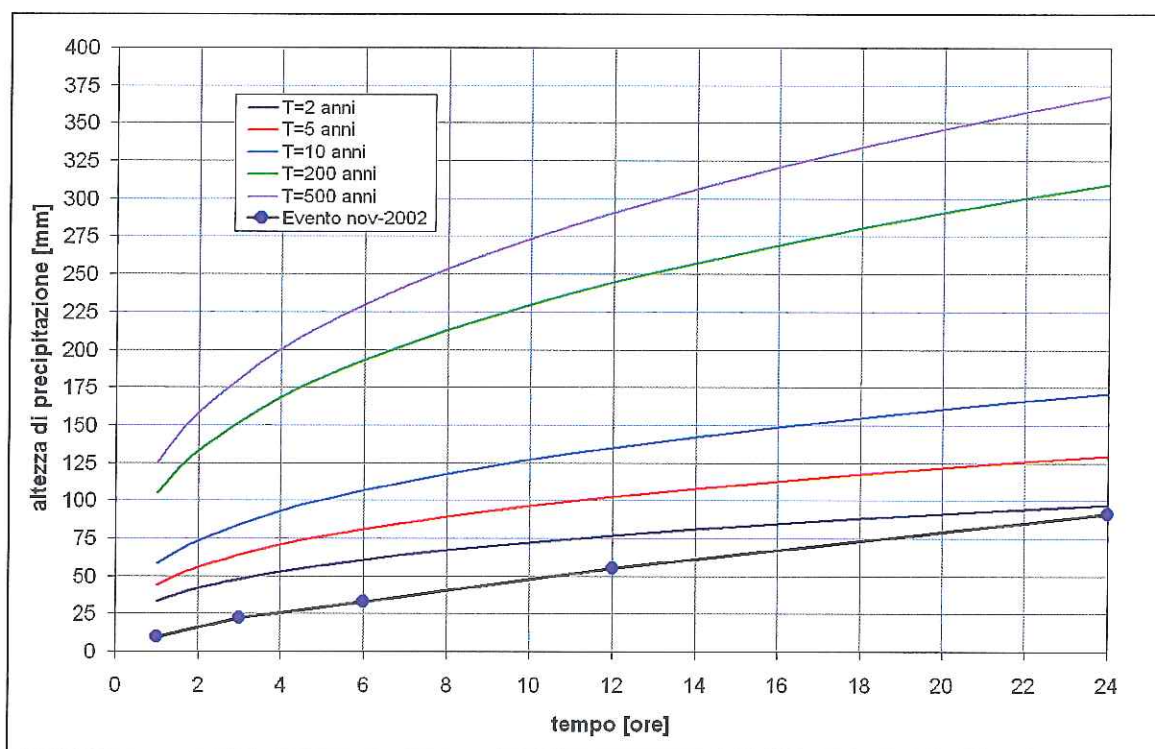
Per il pluviometro di Molteno, i parametri delle curve di possibilità pluviometrica dedotti

dalle curve iso-a e iso-n (vedere allegato 1), riferiti ad eventi meteorici compresi nelle 24 ore, assumono i seguenti valori:

- $n = 0.29$;
- $a(T = 2 \text{ anni}) = 33 \text{ mm/ora}^n$;
- $a(T = 5 \text{ anni}) = 44 \text{ mm/ora}^n$;
- $a(T = 10 \text{ anni}) = 58 \text{ mm/ora}^n$;
- $a(T = 200 \text{ anni}) = 105 \text{ mm/ora}^n$;
- $a(T = 500 \text{ anni}) = 125 \text{ mm/ora}^n$.

Nella Figura 59 sono riportate le curve di possibilità pluviometrica relative a diversi tempi di ritorno e all'evento reale, dal quale si evince che l'evento del 12-30 novembre 2002 ha per durate inferiori alle 24 ore, un tempo di ritorno inferiore a 2 anni.

Figura 59: Curve di possibilità pluviometrica a Molteno ($t < 24$ ore)



Per determinare, invece, il tempo di ritorno di tale evento, considerando durate superiori alle 24 ore, si sono considerati le curve di possibilità pluviometrica fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Po (relativamente alle durate di 1, 2, 3, 4 e 5 giorni), da cui sono stati estrapolati i valori delle altezze di precipitazione relative a durate superiori.

Per il pluviometro di Molteno sono stati forniti i seguenti valori:

- per $T = 10$ anni:
 - $t = 1$ giorno $h = 117.0 \text{ mm}$

- $t = 2$ giorni $h = 149.1$ mm
- $t = 3$ giorni $h = 171.7$ mm
- $t = 4$ giorni $h = 189.8$ mm
- $t = 5$ giorni $h = 205.2$ mm
- per $T = 20$ anni:
 - $t = 1$ giorno $h = 136.8$ mm
 - $t = 2$ giorni $h = 170.7$ mm
 - $t = 3$ giorni $h = 194.4$ mm
 - $t = 4$ giorni $h = 213.1$ mm
 - $t = 5$ giorni $h = 228.9$ mm
- per $T = 50$ anni:
 - $t = 1$ giorno $h = 162.2$ mm
 - $t = 2$ giorni $h = 197.9$ mm
 - $t = 3$ giorni $h = 222.3$ mm
 - $t = 4$ giorni $h = 241.4$ mm
 - $t = 5$ giorni $h = 257.4$ mm
- per $T = 100$ anni:
 - $t = 1$ giorno $h = 181.7$ mm
 - $t = 2$ giorni $h = 218.5$ mm
 - $t = 3$ giorni $h = 243.4$ mm
 - $t = 4$ giorni $h = 262.7$ mm
 - $t = 5$ giorni $h = 278.8$ mm
- per $T = 200$ anni:
 - $t = 1$ giorno $h = 200.7$ mm
 - $t = 2$ giorni $h = 238.1$ mm

- $t = 3$ giorni $h = 263.2$ mm
- $t = 4$ giorni $h = 282.6$ mm
- $t = 5$ giorni $h = 298.6$ mm
- per $T = 500$ anni:
 - $t = 1$ giorno $h = 226.1$ mm
 - $t = 2$ giorni $h = 264.3$ mm
 - $t = 3$ giorni $h = 289.5$ mm
 - $t = 4$ giorni $h = 308.9$ mm
 - $t = 5$ giorni $h = 324.8$ mm

Da tali valori è possibile estrapolare i parametri delle curve di possibilità pluviometrica, in modo da poter ottenere almeno delle indicazioni per i valori delle altezze di precipitazione per durate superiori a 5 giorni.

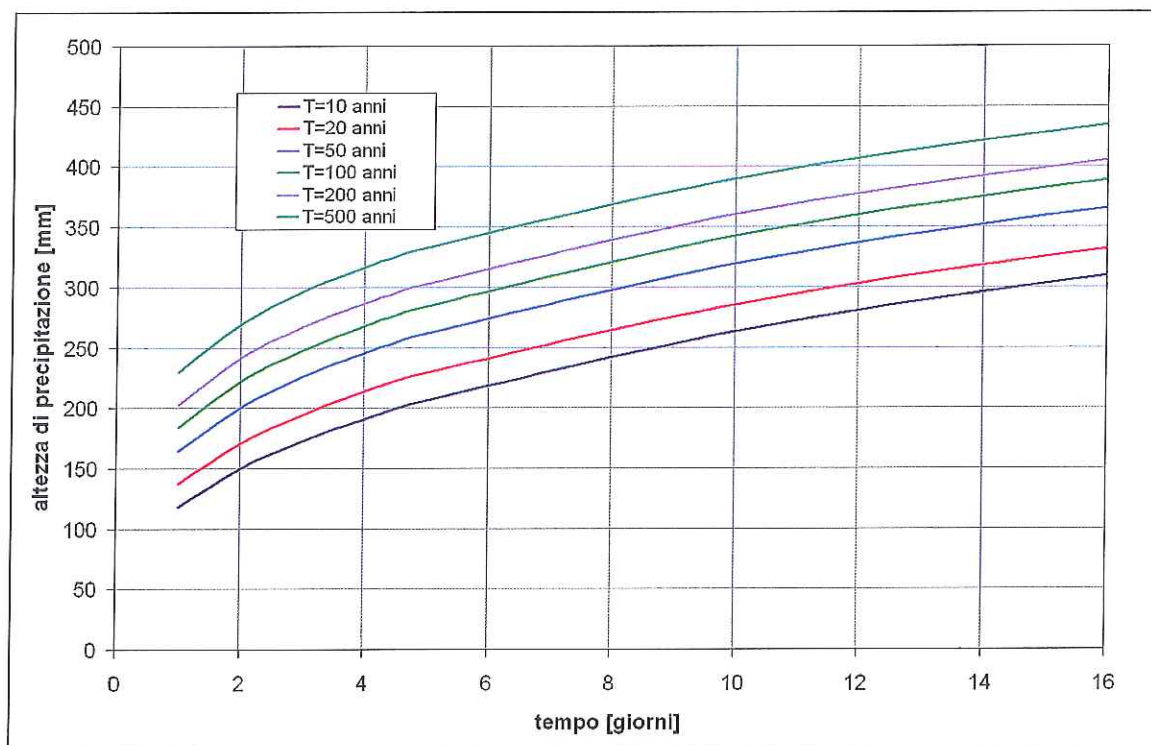
I valori ottenuti dall'interpolazione dei dati forniti sono i seguenti:

- $n(T = 10 \text{ anni}) = 0.35$;
- $a(T = 10 \text{ anni}) = 38.6 \text{ mm/ora}^n$;
- $n(T = 20 \text{ anni}) = 0.32$;
- $a(T = 20 \text{ anni}) = 49.5 \text{ mm/ora}^n$;
- $n(T = 50 \text{ anni}) = 0.29$;
- $a(T = 50 \text{ anni}) = 65.2 \text{ mm/ora}^n$;
- $n(T = 100 \text{ anni}) = 0.27$;
- $a(T = 100 \text{ anni}) = 78 \text{ mm/ora}^n$;
- $n(T = 200 \text{ anni}) = 0.25$;
- $a(T = 200 \text{ anni}) = 91.6 \text{ mm/ora}^n$;
- $n(T = 500 \text{ anni}) = 0.22$;
- $a(T = 500 \text{ anni}) = 110.6 \text{ mm/ora}^n$.

Nella Figura 60 sono riportate le curve di possibilità pluviometrica relative a diversi tempi di ritorno. A causa del fatto che le altezze di precipitazione dell'evento reale sono state ricostruite a partire dai valori registrati a Caslino, e che le curve di possibilità

pluviometrica per $t > 5$ giorni sono state ricavate per estrapolazione dai valori forniti per $t < 5$, non è possibile definire il tempo di ritorno dell'evento reale. Comunque è possibile affermare che l'evento del 12÷30 novembre 2002 ha raggiunto per le lunghe durate un tempo di ritorno molto elevato.

Figura 60: Curve di possibilità pluviometrica a Molteno ($t > 24$ ore)



Nella simulazione idrologica-idraulica dell'evento reale tale precipitazione è stata attribuita ai seguenti sottobacini: LAM4, LAM5, BEV1AB, BEV1C, GAN, PAS.

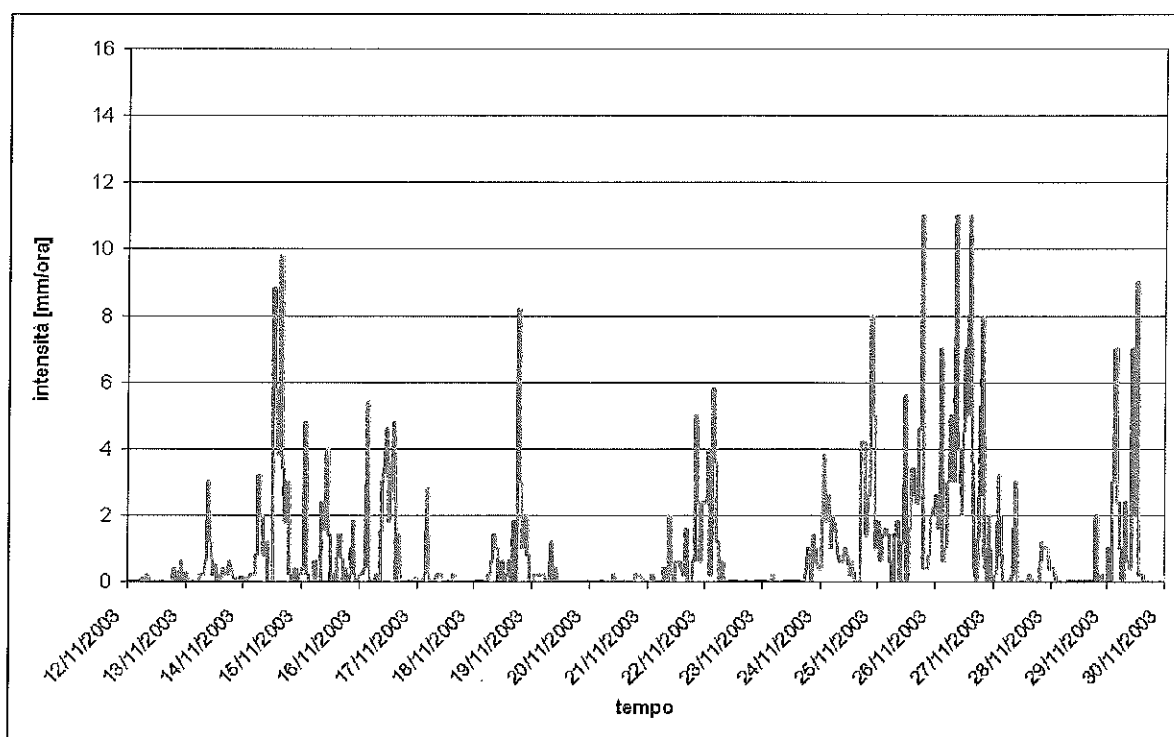
5.3 PLUVIOMETRO DI VEDUGGIO

L'evento di novembre 2002 (riportato nella figura 61) registrato dal pluviometro di Caslino d'Erba ha le seguenti caratteristiche:

- altezza complessiva di precipitazione: 402.70 mm;
- intensità massima: 11 mm/ora;
- intervallo temporale di registrazione: 0.5 ore.
- altezza massima registrata in 1 ora: 11 mm;
- altezza massima registrata in 3 ore: 23 mm;
- altezza massima registrata in 6 ore: 33.4 mm;

- altezza massima registrata in 12 ore: 59.6 mm;
- altezza massima registrata in 24 ore: 95.2 mm.
- altezza massima registrata in 1 giorno: 95.2 mm;
- altezza massima registrata in 3 giorni: 178.6 mm;
- altezza massima registrata in 5 giorni: 211.2 mm;
- altezza massima registrata in 10 giorni: 282.5 mm;
- altezza massima registrata in 15 giorni: 374.5 mm.

Figura 61: Dati registrati dal pluviometro di Veduggio durante l'evento del 12-30 novembre 2002



Per determinare il tempo di ritorno di tale evento, considerando durate inferiori alle 24 ore, si sono considerati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica, riportati nella tabella 2, relativamente al sottobacino BEV2.

Per il pluviometro di Veduggio, i parametri delle curve di possibilità pluviometrica dedotti dalle curve iso-a e iso-n (vedere allegato 1), riferiti ad eventi meteorici compresi nelle 24 ore, assumono i seguenti valori:

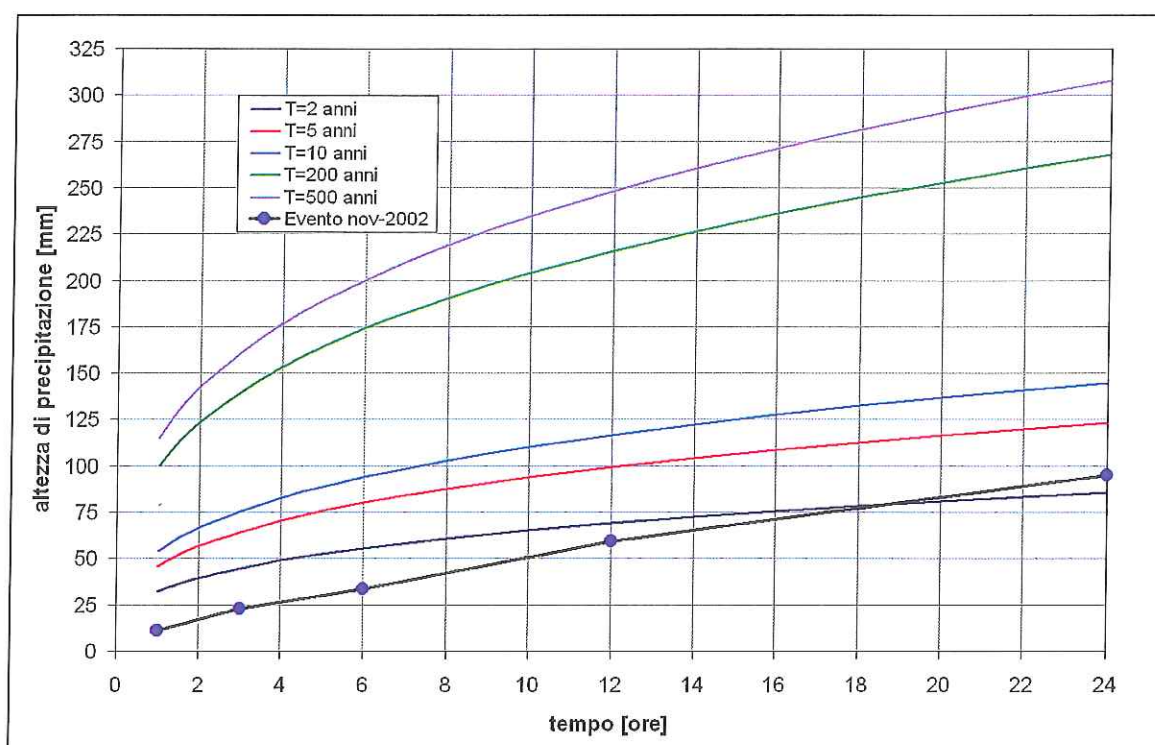
- $n = 0.31$;
- $a (T = 2 \text{ anni}) = 32 \text{ mm/ora}^n$;
- $a (T = 5 \text{ anni}) = 46 \text{ mm/ora}^n$;

- $a(T = 10 \text{ anni}) = 54 \text{ mm/ora}^n$;
- $a(T = 200 \text{ anni}) = 100 \text{ mm/ora}^n$;
- $a(T = 500 \text{ anni}) = 115 \text{ mm/ora}^n$.

Nella Figura 62 sono riportate le curve di possibilità pluviometrica relative a diversi tempi di ritorno e all'evento reale, dal quale si evince che l'evento del 12-30 novembre 2002 ha per durate inferiori alle 24 ore, un tempo di ritorno mediamente inferiore a 2 anni.

Per durate superiori alle 24 ore non si dispone di dati relativi alle curve di possibilità pluviometrica per il pluviometro di Veduggio.

Figura 62: Curve di possibilità pluviometrica a Veduggio ($t < 24$ ore)



Nella simulazione idrologica-idraulica dell'evento reale tale precipitazione è stata attribuita ai seguenti sottobacini: LAM6, BEV2, LAM7, BEV3, LAM7, LAM8, BRO, CAN, PEG, LAM9, LAM10, MOL, LAM11, LAM12, LAM13, LAM16A÷D.

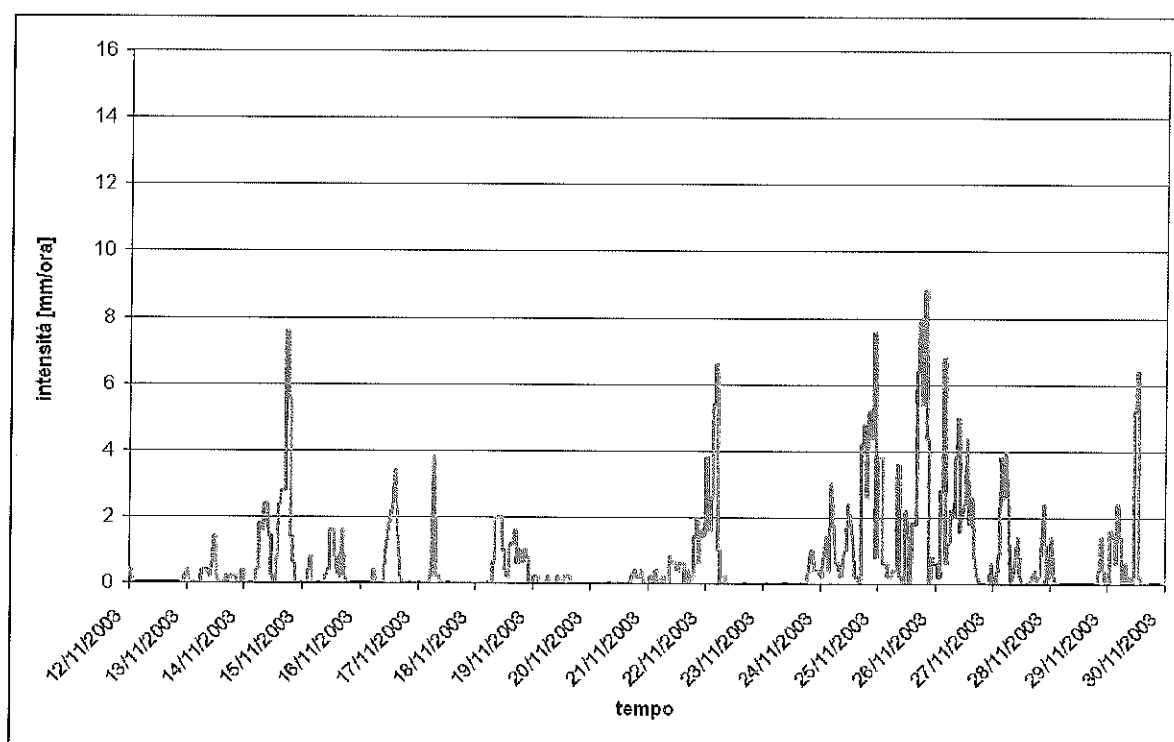
5.4 PLUVIOMETRO DI CUSANO MILANINO

L'evento di novembre 2002 (riportato nella figura 63) registrato dal pluviometro di Cusano Milanino ha le seguenti caratteristiche:

- altezza complessiva di precipitazione: 308.4 mm;

- intensità massima: 8.8 mm/ora;
- intervallo temporale di registrazione: 0.5 ore.
- altezza massima registrata in 1 ora: 8.8 mm;
- altezza massima registrata in 3 ore: 22.2 mm;
- altezza massima registrata in 6 ore: 34.8 mm;
- altezza massima registrata in 12 ore: 44.8 mm;
- altezza massima registrata in 24 ore: 74.6 mm.
- altezza massima registrata in 1 giorno: 74.6 mm;
- altezza massima registrata in 3 giorni: 148.8 mm;
- altezza massima registrata in 5 giorni: 174.0 mm;
- altezza massima registrata in 10 giorni: 235.2 mm;
- altezza massima registrata in 15 giorni: 292.2 mm.

Figura 63: Dati registrati dal pluviometro di Cusano Milanino durante l'evento del 12-30 novembre 2002



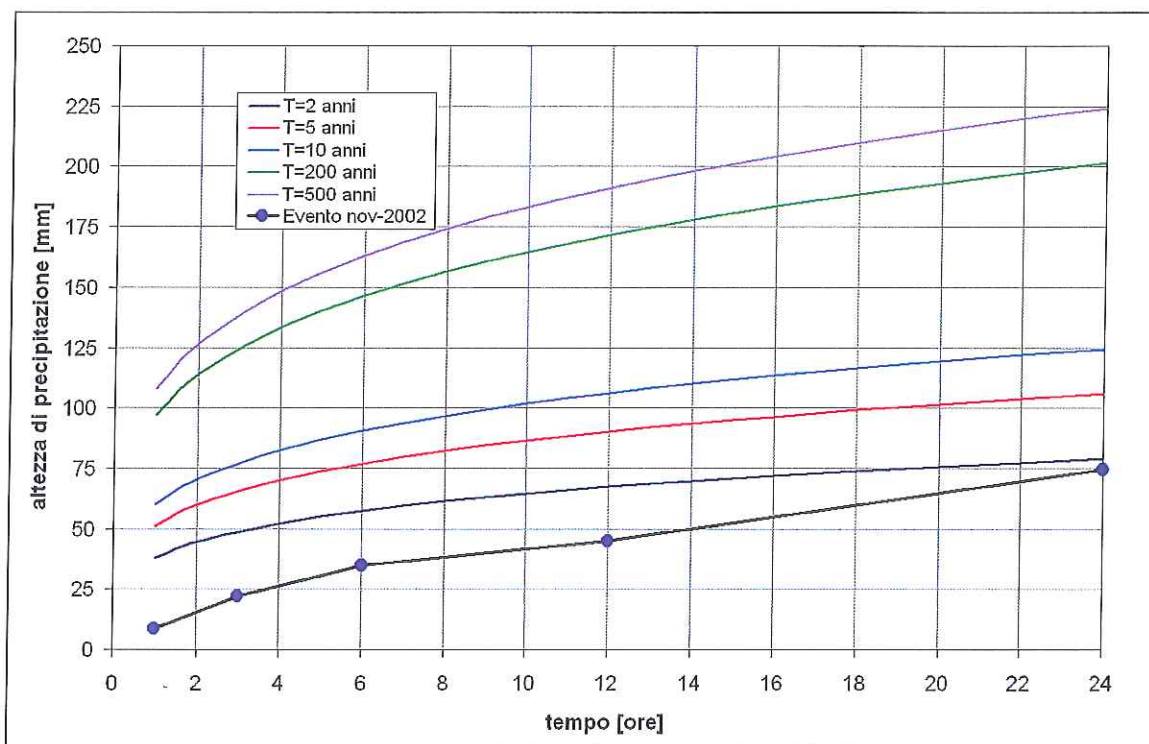
Per determinare il tempo di ritorno di tale evento, considerando durate inferiori alle 24 ore, si sono considerati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica riportati nell'Allegato 1:

- $n = 0.23$;
- $a (T = 2 \text{ anni}) = 38 \text{ mm/ora}^n$;

- $a(T = 5 \text{ anni}) = 51 \text{ mm/ora}^n$;
- $a(T = 10 \text{ anni}) = 60 \text{ mm/ora}^n$;
- $a(T = 200 \text{ anni}) = 97 \text{ mm/ora}^n$;
- $a(T = 500 \text{ anni}) = 108 \text{ mm/ora}^n$.

Nella Figura 64 sono riportate le curve di possibilità pluviometrica relative a diversi tempi di ritorno e all'evento reale, dal quale si evince che l'evento del 12-30 novembre 2002 ha per durate inferiori alle 24 ore, un tempo di ritorno inferiore a 2 anni.

Figura 64: Curve di possibilità pluviometrica a Cusano Milanino ($t < 24$ ore)



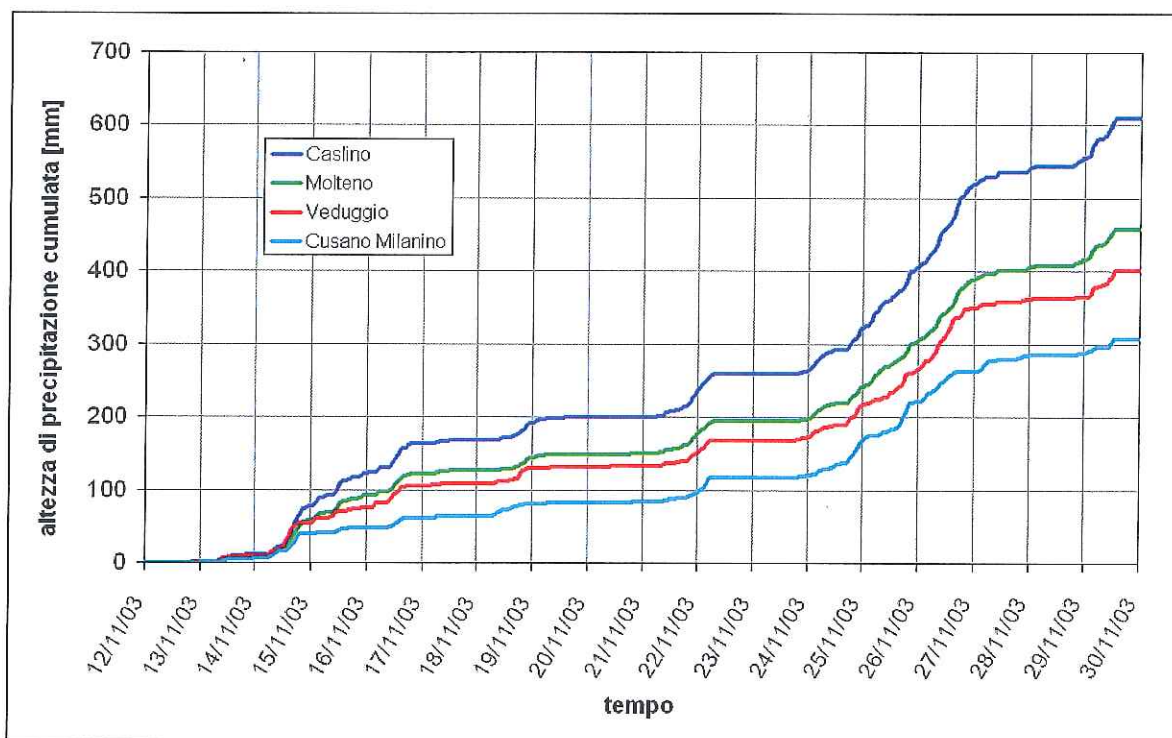
Nella simulazione idrologica-idraulica dell'evento reale tale precipitazione è stata attribuita ai seguenti sottobacini: LAM14, LAM15, LAM16E÷G, LAM17, LAM18, LAM19, LAM20.

5.5 CONCLUSIONI

Dall'analisi sopraesposta e dal grafico riportato nella figura 65, dove sono riportati gli andamenti delle altezze di precipitazione cumulata per i quattro pluviometri considerati (Caslino, Molteno, Veduggio e Cusano Milanino), si può osservare come l'evento

verificatosi nella seconda metà del mese di novembre del 2002 sia stato più gravoso, in termini di altezza di precipitazione complessiva, per la parte alta del bacino del Lambro rispetto alla parte più meridionale.

Figura 65: Confronto fra le altezze cumulate di precipitazione 12-30 novembre 2002

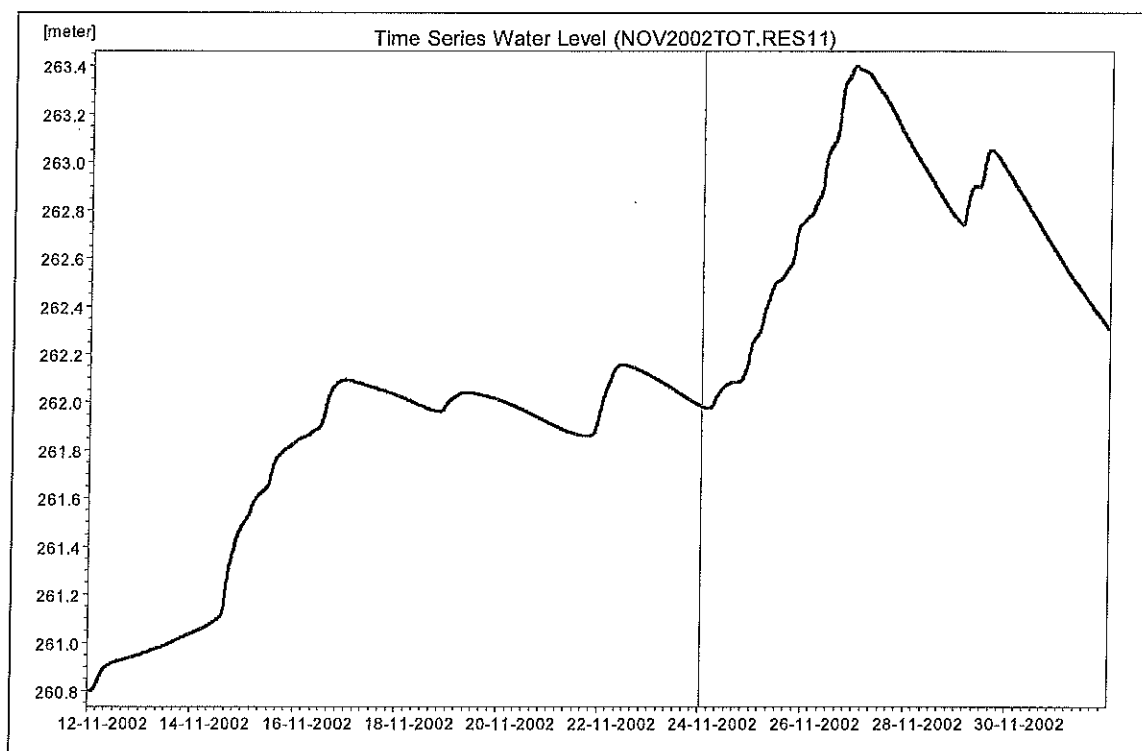


Dall'analisi del suddetto grafico e delle figure relative ai dati registrati dai diversi pluviometri (fig. 55, 58, 61 e 63) è possibile evidenziare come l'evento principale del 24÷27 novembre sia stato preceduto da una serie di eventi comunque significativi, specie se considerati tutti nel loro insieme e in sequenza.

In particolare fino al giorno precedente all'evento principale sono caduti rispettivamente 260 mm (Caslino), 195 mm (Molteno), 169 mm (Veduggio) e 117 mm (Cusano Milanino). Tali precipitazioni hanno contribuito a saturare le coltri superficiali di terreno, aumentando notevolmente l'afflusso netto nel fiume in occasione dell'evento principale (24÷27 novembre).

Inoltre, per quanto riguarda il bacino a monte del lago di Pusiano, i 260 mm piovuti prima del 24 novembre hanno comportato un invaso progressivo del lago di Pusiano, con bilancio di volumi tra ingresso ed uscita che ha comportato un'eccedenza stimata in circa 6.000.000 di m³, che ha portato il livello del lago ad valore pari a circa 262 m s.m., al quale corrispondono le prime esondazioni nei territori rivieraschi.

Figura 66: Andamento dei livelli nel lago di Pusiano durante l'evento del 12-30 novembre 2002



Un ulteriore elemento che caratterizza l'evento in esame è rappresentato dalla dinamica con cui si è mossa la precipitazione, la quale ha interessato prima la zona meridionale del bacino e successivamente la zona settentrionale.

Tale caratteristica ha impedito la sovrapposizione delle onde di piena "naturali" della parte settentrionale con le onde di piena "urbane" della parte meridionale; se tale sovrapposizione si fosse verificata, i danni sarebbero stati molto più ingenti.

Tale dinamica si può osservare dalla lettura della mappe radar di Monte Lema (MeteoSvizzera) ove si evince un movimento della perturbazione con direzione da sud-ovest a nord-est (dalla Liguria alle prealpi).

Nelle figure successive sono riportati i fotogrammi relativi al 14 novembre alle ore 15:10, 16:20 e 17:30 e al 25 novembre alle ore 15:30 e 15:40, nei quali si evidenzia la dinamica dei due eventi.

Figura 67: a cura di Agrigate - fonte Meteo Svizzera

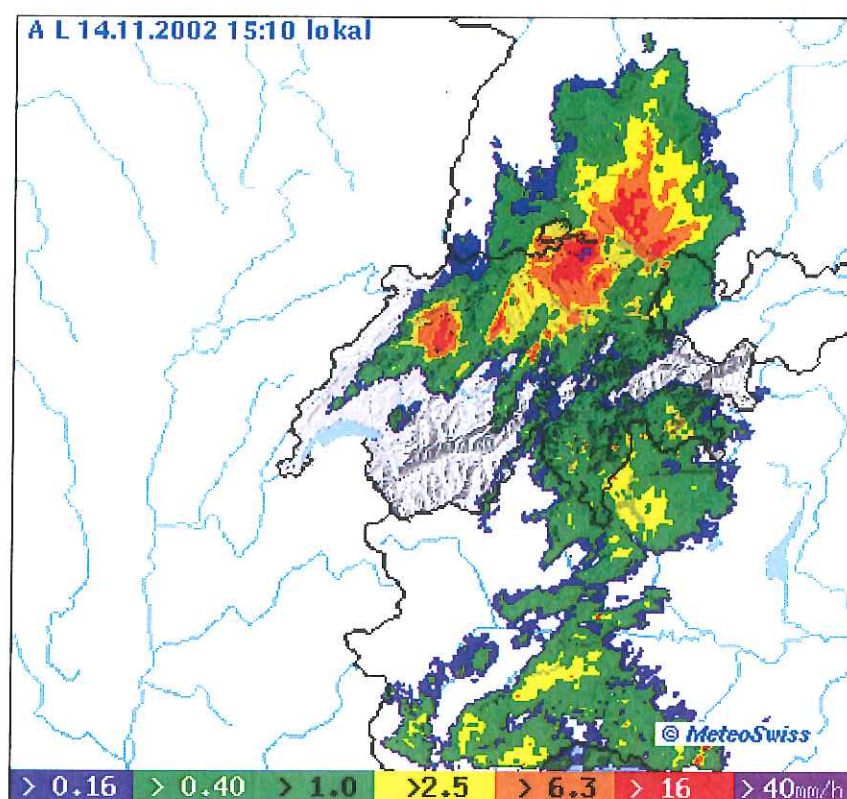


Figura 68: a cura di Agrigate - fonte Meteo Svizzera

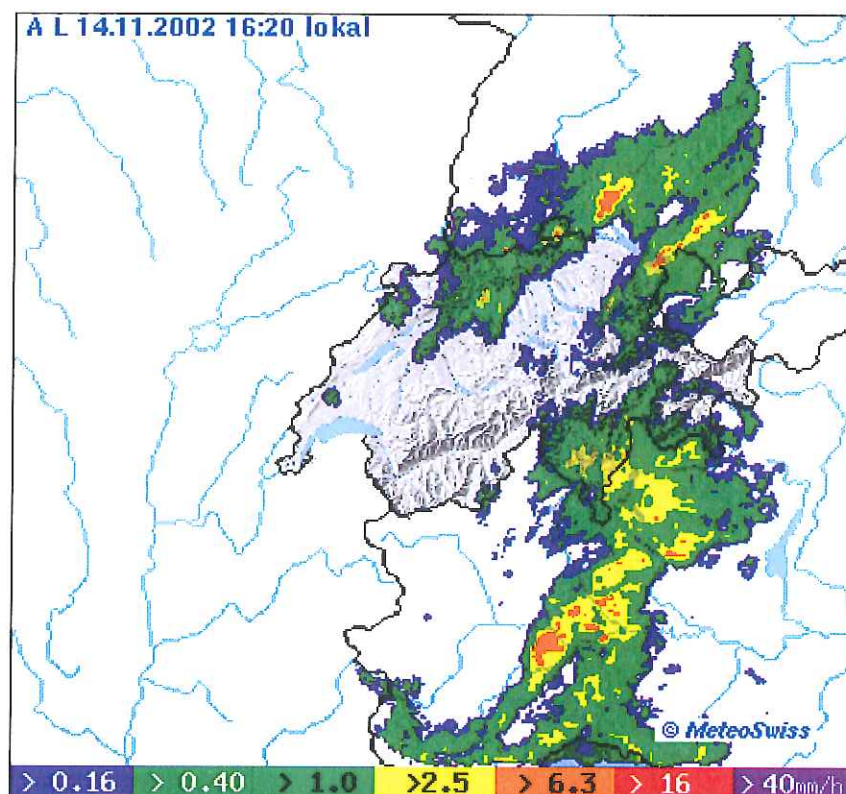


Figura 69: a cura di Agrigate - fonte Meteo Svizzera

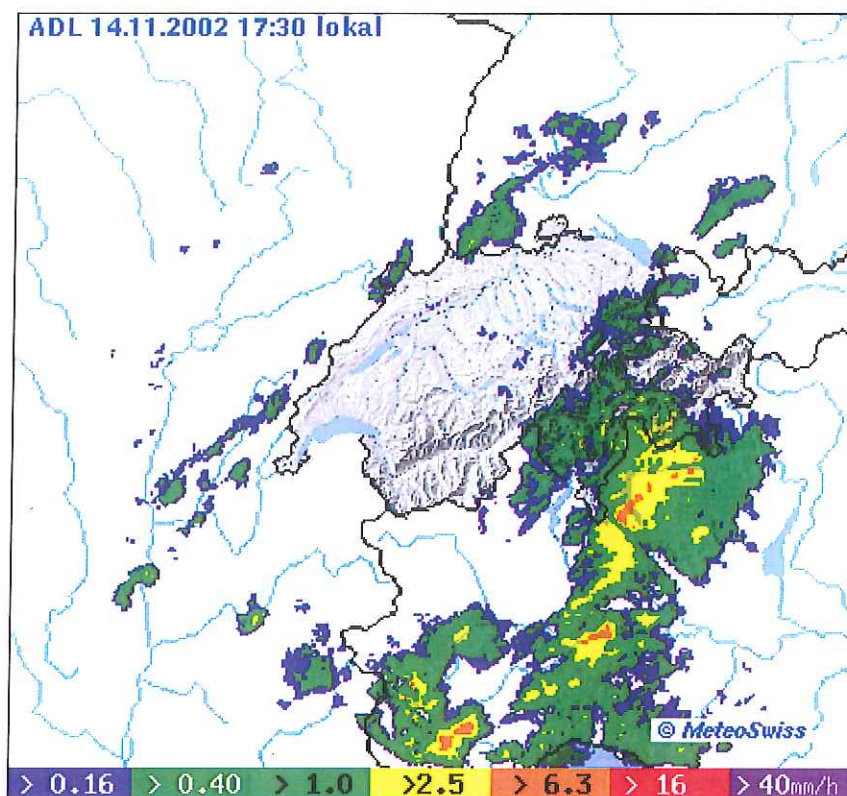


Figura 70: a cura di Agrigate - fonte Meteo Svizzera

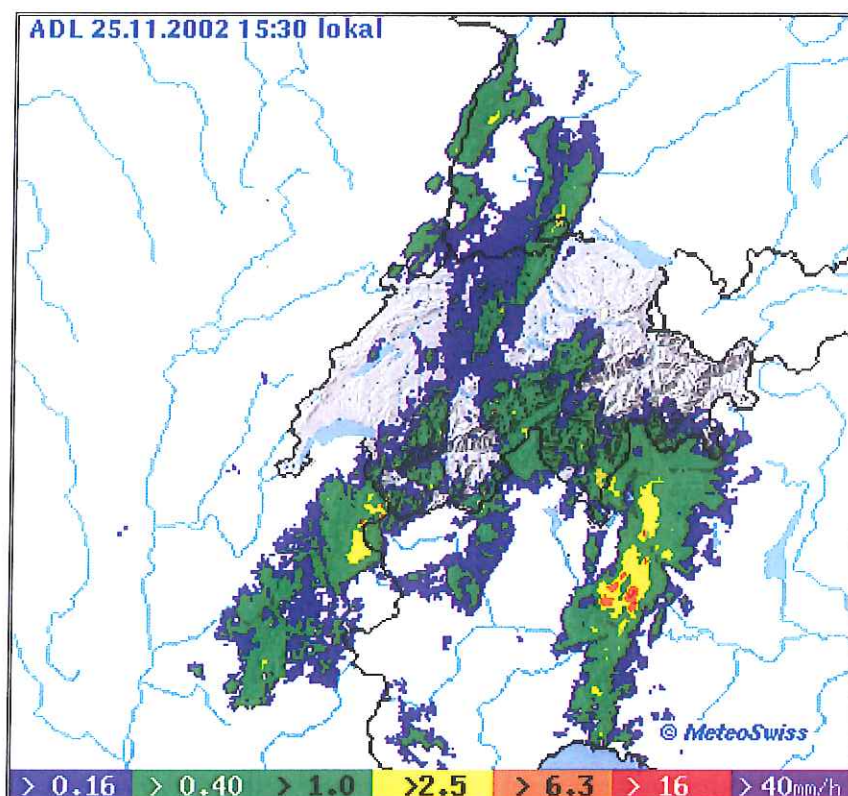
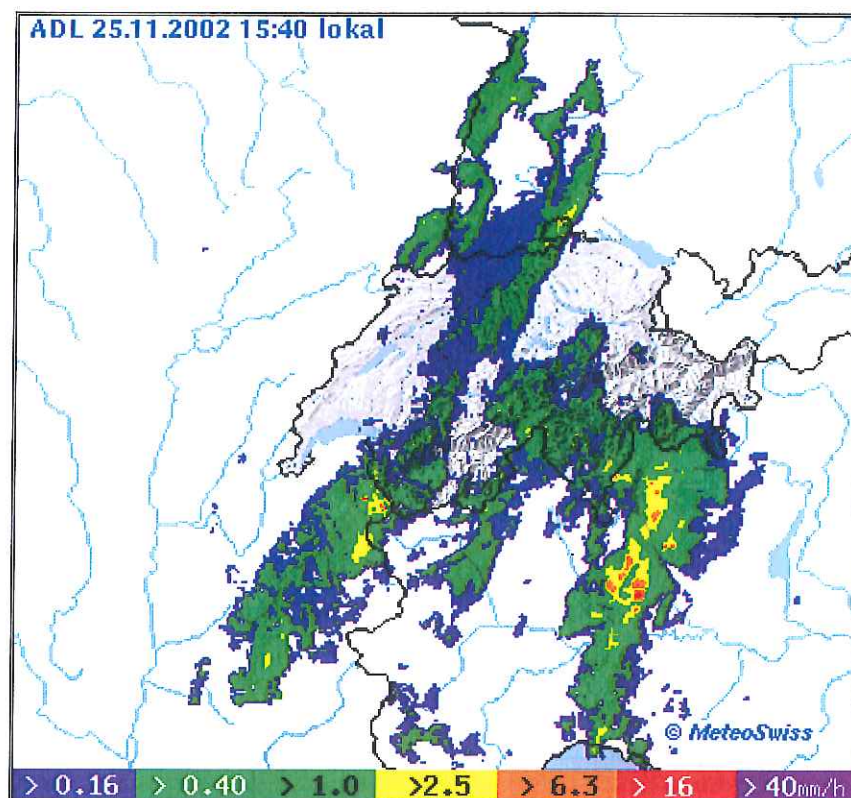


Figura 71: a cura di Agrigate - fonte Meteo Svizzera



In sintesi le indagini pluviometriche portano ad ipotizzare come la piena del fiume Lambro sia stata determinata prevalentemente da:

- elevate precipitazioni che, pur non essendo molto intense per le brevi durate, nel lungo periodo (10-15 giorni) hanno comportato notevoli afflussi in termini di volume, soprattutto nella parte settentrionale del bacino;
- gli elevati volumi affluiti nella parte settentrionale hanno comportato:
- un elevato apporto in uscita dal lago di Pusiano (cfr. relazione idraulica) già a massimo invaso il giorno 24 novembre;
- un elevato apporto della Bevera di Molteno (principale affluente di monte) causato soprattutto dal fatto che il bacino era in condizioni saturate prima dell'evento più gravoso del 25÷27 novembre, come testimoniato dagli allagamenti segnalati il giorno 21 novembre.

Maggiori dettagli sul comportamento idraulico dell'asta del Lambro durante l'evento di piena del novembre 2002 sono riportati nella relazione idraulica.

Di seguito viene riportata una tabella con i valori delle portate al colmo e i volumi complessivamente scaricati da ogni sottobacino durante l'evento del 12÷30 novembre 2002, dalla quale è evidente come i principali siano giunti dalla parte settentrionale del bacino (bacini a monte de laghi e bacini delle Bevere).

Tabella 4: Evento di piena 12-30/11/2002. Portate al colmo e volumi.

Bacino	Q max	V tot
	[m3/s]	[m3x1'000'000]
LAM1A	34.9	6.6
REZ	24.9	5.2
FOC	16.7	3.5
BIS	14.3	3.0
RAV	20.2	4.3
BOV	9.9	2.0
LAM1B	16.7	3.1
LAM1C	15.4	3.0
LAM2	39.2	9.4
LAM3A	34.2	6.8
LAM3B	3.5	1.0
LAM4	1.3	0.3
LAM5	8.4	2.0
BEV1AB	21.2	5.7
GAN	13.9	3.5
PAS	1.8	0.6
BEV1C	14.6	3.4
LAM6	7.5	1.9
BEV2	19.8	5.1
LAM7	3.4	0.8
BEV3	21.9	5.5
LAM8	7.8	2.0
BRO	5.6	1.2
CAN	3.0	0.6
PEG	9.0	2.0
LAM9	10.5	2.0
LAM10	3.4	0.9
MOL	9.0	3.2
LAM11	3.1	0.8
LAM12	2.1	0.5
LAM13	1.6	0.4
LAM14A	1.2	0.3
LAM14B	2.2	0.5
LAM14C	2.2	0.5
LAM14D	0.5	0.1
LAM15	4.9	1.2
LAM16A	9.8	3.4
LAM16B	2.7	0.7
LAM16C	6.3	1.6
LAM16D	5.4	1.6
LAM16E	2.5	0.6
LAM16F	2.5	0.6
LAM16G	5.1	1.2
LAM17	5.9	1.5
LAM18	1.8	0.4
LAM19A	2.0	0.5
LAM19B	2.0	0.5
LAM19C	3.3	0.9
LAM19D	2.6	0.7
LAM20	9.6	6.1

6. PORTATE SCARICABILI SECONDO IL P.R.R.A.

Il Piano Regionale di Risanamento delle Acque della Regione Lombardia, al fine di tutelare i corsi d'acqua della Lombardia generalmente inadeguati a ricevere le portate meteoriche urbane ed extraurbane, definisce dei limiti allo scarico delle reti fognarie, in modo da contenere l'entità delle portate meteoriche scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica dei ricettori.

I limiti generali riportati nel P.R.R.A. sono i seguenti:

- 20 l/s per ogni ettaro impermeabile, relativamente alle aree di ampliamento e di espansione residenziali e industriali;
- 40 l/s per ogni ettaro impermeabile, relativamente alle aree già dotate di pubblica fognatura.

Applicando il limite di 40 l/s per ogni ettaro impermeabile alle superfici urbanizzate dei sottobacini del Lambro che contribuiscono alla formazione delle piene solo attraverso i contributi urbani, si ottengono i valori di portata limite secondo il P.R.R.A. (Tabella 5). Nella medesima tabella vengono riportati i valori delle portate scaricate secondo il modello idrologico descritto in precedenza.

Il valore della superficie impermeabile è stato ottenuto per ogni sottobacino moltiplicando il valore della superficie urbanizzata per un fattore pari a 0.3.

Tabella 5: Portate limite allo scarico secondo il P.R.R.A.

Nome bacino	$Q_{max} PRRA$	$Q_{max} NAM-URB$
	$[m^3/s]$	$[m^3/s]$
LAM10	4.8	10.5
LAM11	4.2	8.8
LAM12	2.6	4.4
LAM13	1.9	2.8
LAM14A	1.9	11.4
LAM14B	1.1	6.7
LAM14C	3.4	21.0
LAM14D	0.8	5.2
LAM15	8.2	11.5
LAM16A	18.5	10.6
LAM16B	3.8	5.8
LAM16C	8.9	15.2
LAM16D	8.6	12.9
LAM16E	3.8	8.4
LAM16F	4.0	8.4
LAM16G	7.8	18.6
LAM17	9.6	69.6
LAM18	2.8	5.5
LAM19A	3.6	14.0
LAM19B	3.6	12.5
LAM19C	6.0	23.2
LAM19D	4.8	18.7
LAM20	44.9	24.3
TOT.	159.6	330.0

Complessivamente le portate al colmo secondo la limitazione imposta dal P.R.R.A. rappresentano il 48% della portata scaricata attualmente secondo il modello idrologico.

Osservando i valori sopra riportati si evidenziano alcune particolarità:

- per i bacini LAM14A÷LAM14D (Monza), LAM17 (Sesto San Giovanni) e LAM19A÷LAM19D (Milano) c'è un'elevata differenza fra i valori dedotti dai limiti del P.R.R.A. e le portate scaricabili; tale differenza è dovuta al fatto che le reti fognarie dei suddetti comuni hanno una configurazione tale da riuscire a recapitare portate più elevate rispetto altri comuni.
- Il bacino LAM16A (Giussano, Seregno, Carate Brianza e Verano Brianza) ha un valore di portata scaricata allo stato attuale inferiore al limite di Piano, per il fatto che tali comuni sono muniti di una vasca volano in grado di laminare le portate meteoriche e di scaricare una portata al colmo pari a circa $10 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Il bacino LAM20 (Consorzio Acqua Potabile) ha anch'esso un valore di portata scaricata inferiore rispetto al limite del P.R.R.A., in quanto alcuni dei comuni afferenti al Consorzio sono muniti di vasche volano e inoltre la sezione di recapito limita la portata in uscita a valori prossimi a quelli dichiarati.

ALLEGATO I – PLUVIOGRAFIA

1. PREMESSA

Al fine di determinare il regime delle portate transitanti nei corsi d'acqua oggetto del lavoro, è necessario utilizzare un modello di trasformazione afflussi-deflussi, il quale a partire da misure di precipitazione puntuali fornisce le corrispondenti portate. Le serie storiche di livelli e di portate risultano infatti assolutamente insufficienti per determinare il regime idrografico dei corsi d'acqua in esame; inoltre va notato che, qualora, si fosse potuto disporre di una valida serie di dati relativi alle portate transitanti in diverse sezioni, le particolari condizioni dei corsi d'acqua considerati, soggetti a numerose esondazioni, non avrebbe consentito di considerare tali portate valide per una effettiva valutazione della capacità di deflusso del bacino.

Per costruire quindi un modello afflussi-deflussi è necessario innanzitutto definire il regime pluviometrico che caratterizza il territorio, operando una attenta valutazione della disponibilità delle serie storiche dei dati di pioggia sul bacino in esame e nelle zone limitrofe.

Si è partiti quindi nella raccolta ed elaborazione di tutti i dati disponibili con particolare riferimento al recente *Rapporto sulla valutazione delle piene per l'Italia nord occidentale (2001)* di C. De Michele e R. Rosso od alla pubblicazione *Il regime delle piogge intense a Milano (1976)* di U. Moisello. Effettuate elaborazioni puntuali, determinata cioè per ciascuna stazione la LSPP si è andati a studiare la variazione spaziale della stessa attraverso la costruzione delle curve iso-a, per diversi tempi di ritorno, ed iso-n.

Successivamente, al fine di una ulteriore validazione del lavoro svolto, sono stati confrontate le variazioni spaziali dell'informazione pluviografica così determinata con quella effettuata da Maione et al. denominato "*Modello regionale per la stima delle piogge di breve durata ed elevato tempo di ritorno*" (2000), il quale a fronte di una minore disponibilità locale di dati presenta però il vantaggio di essere molto più solida ed affidabile.

2. STAZIONI PLUVIOGRAFICHE

Per l'analisi statistica delle piogge storiche sono state indagate tutte le stazioni di misura di precipitazioni, dotate di pluviografo registratore, poste sia all'interno dei bacini dei corsi d'acqua oggetto del presente lavoro, sia posti nelle immediate vicinanze. Tra questi sono stati considerati solo quei pluviografi per i quali siano disponibili più di 20 anni di osservazioni, con l'eccezione del pluviografo di Bereguardo che è stato considerato sebbene fosse disponibile una serie storica di soli 17 anni, in quanto localizzato in un'area scarsamente densa di informazioni.

Sono state elaborate le serie storiche di pluviografi in parte appartenenti al comune di Milano, e in parte al SIMI. I primi, sono 16 pluviografi situati a Milano o nei comuni dell'hinterland, i secondi come detto, sono tutti i pluviografi con serie storiche superiori a 20 anni (a parte Bereguardo), posti nel bacino o nelle immediate vicinanze, ma tutti al di fuori del comune di Milano.

Nella tabella seguente è riportato l'elenco delle stazioni considerate con il rispettivo numero di anni di osservazione.

Stazioni SIMI

<i>nome stazione</i>	<i>cod. stazione</i>	<i>Numero anni di osservazione</i>
Asso	1031	33
Beregardo	1174	17
Bergamo	1021	46
Busto Arsizio	1057	39
Carate Brianza	1037	22
Codogno	1029	34
Como	956	41
Costa Masnaga	1035	23
Crema	1023	41
Gallarate	1056	25
Ispira	1157	23
Lavena	1095	34
Lecco	967	31
Lodi	1006	23
Marcallo	1059	23
Melegnano	1043	22
Miorina	1164	24
Mortara	1181	23
Saronno	1053	20
Treviglio	1005	43
Varese	1045	28
Venegono	1051	29

Stazioni comune di Milano

<i>nome bacino</i>	<i>Codice pluviografo</i>	<i>Numero anni di osservazione</i>
Marino	1	33
Vignola	2	33
Sacco	3	33
Gattamelata	4	33
Sondrio	5	33
Pareto	6	33
Nosedo	7	33
Ronchettino	8	33
Monluè	9	33
Crescenzago	10	33
Milanino	11	33
Garbagnate	12	33
Ronchetto s. N.	13	33

<i>nome bacino</i>	<i>Codice pluviografo</i>	<i>Numero anni di osservazione</i>
Baggio	14	33
Bruzzano	15	33
Monviso	16	33

3. DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DELLA CURVA DI POSSIBILITA' CLIMATICA

Generalità

L'obiettivo di questa fase è stato quello di calcolare le altezze massime annuali di pioggia nelle stazioni sopraelencate per tempi di ritorno di 2, 5, 10, 50, 100, 200 e 500 anni, attraverso la determinazione delle LSPP, nella classica forma $h = a_r t^n$.

Il valore dei parametri a_r e n è stato ricavato in maniera differente per i pluviografi del SIMI e per quelli del comune di Milano. Come già anticipato, per i primi sono stati utilizzati i valori di a_r e n forniti dallo studio del *Rapporto sulla valutazione delle piene per l'Italia nord occidentale (2001)* di C. De Michele e R. Rosso, mentre per i secondi si sono utilizzati i valori ricavati dallo studio di U. Moisello, *Il regime delle piogge intense a Milano (1976)*. Per quanto riguarda la stazione di Bereguardo è stata utilizzata un'ulteriore metodologia che verrà in seguito descritta. Illustriamo brevemente la metodologia utilizzata nei diversi casi per ricavare i parametri della legge di Gumbel.

Pluviografi del SIMI

Nel *Rapporto sulla valutazione delle piene per l'Italia nord occidentale (C. de Michele, R. Rosso, 2001)*, estratto dal *rapporto Nazionale VAPI*, sono state considerate le serie storiche di piogge intense di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore, di 366 stazioni di misura con almeno 20 anni di osservazione e numerosità media 34 anni, tutte localizzate tra bacino padano e Liguria.

L'obiettivo di tale studio è stato quello di definire delle aree che avessero valori omogenei dei parametri a e n delle curve di possibilità pluviometriche. Per fare questo sono stati innanzitutto stimati, per ogni pluviografo, i parametri di forma k , di scala α e di posizione ε , della distribuzione generalizzata del valore estremo (GEV), in base all'ipotesi di invarianza di scala. I parametri k , α , ε sono stati stimati per i siti dove sono localizzate le stazioni pluviometriche a partire dai dati di precipitazione di breve durata e forte intensità.

Una volta stimati tali parametri risulta univocamente definita la relazione tra il tempo di ritorno T e il valore del coefficiente di crescita K_T

$$K_T = \varepsilon + (\alpha/k) (1 - e^{-ky_T}) \quad (1)$$

Dove y_T indica la variabile ridotta di Gumbel pari a

$$y_T = -\ln[\ln T / (T-1)] \quad (2)$$

L'altezza di pioggia cumulata per periodo di ritorno T -ennale va quindi valutata come

$$h_T(d) = m(d) K_T \quad (3)$$

dove $m(d)$ è il valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale caduta in d ore consecutive.

Per stimare la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata d è stata utilizzata una espressione del tipo:

$$m[h_T(d)] = a_1 d^n \quad (4)$$

dove i parametri a_1 e n sono stati valutati con regressione lineare ai minimi quadrati nelle 366 stazioni di misura considerate. Sono state così costruite delle mappe isoparametriche per l'intero territorio.

Nella tabella seguente sono riassunti i valori dei parametri per tutti i pluviografi del SIMI ritenuti utili per il presente lavoro.

nome stazione	cod. stazione	N	ε	α	k	a1	n
Asso	1031	33	0,878	0,244	0,083	36,5	0,352
Bergamo	1021	46	0,859	0,271	0,058	30,5	0,272
Busto Arsizio	1057	39	0,864	0,259	0,054	36,3	0,263
Carate Brianza	1037	22	0,836	0,260	-0,049	33,4	0,308
Codogno	1029	34	0,825	0,241	-0,131	28,1	0,257
Como	956	41	0,851	0,246	-0,029	31,9	0,296
Costa Masnaga	1035	23	0,772	0,325	-0,113	37,7	0,296
Crema	1023	41	0,859	0,219	-0,061	27,8	0,238
Gallarate	1056	25	0,833	0,200	-0,206	36,0	0,297
Ispra	1157	23	0,869	0,233	0,017	35,8	0,331
Lavena	1095	34	0,892	0,223	0,100	29,1	0,375
Lecco	967	31	0,854	0,241	-0,027	35,1	0,270
Lodi	1006	23	0,842	0,235	-0,087	25,7	0,247
Marcallo	1059	23	0,869	0,217	-0,026	32,1	0,279
Melegnano	1043	22	0,810	0,296	-0,062	30,3	0,270
Miorina	1164	24	0,817	0,295	-0,042	31,7	0,323
Mortara	1181	23	0,835	0,267	-0,038	19,7	0,310
Saronno	1053	20	0,795	0,341	-0,023	26,0	0,345
Treviglio	1005	43	0,825	0,285	-0,037	29,1	0,254
Varese	1045	28	0,852	0,241	-0,038	35,6	0,326
Venegono	1051	29	0,869	0,244	0,044	36,8	0,288

Noti tutti parametri è quindi possibile stimare il parametro a_T per ogni tempo di ritorno dalla seguente relazione

$$a_T = a_1 K_T \quad (5)$$

I valori così ottenuti sono riassunti nella tabella seguente

nome stazione	cod. stazione	a(T=2)	a(T=5)	a(T=10)	a(T=50)	a(T=100)	a(T=200)	a(T=500)
Asso	1031	35,3	44,6	50,3	61,7	66,1	70,2	75,3
Bergamo	1021	29,2	38,1	43,6	55,1	59,6	63,9	69,3
Busto Arsizio	1057	34,8	44,9	51,3	64,4	69,7	74,7	81,0
Carate Brianza	1037	31,1	41,4	48,6	65,3	72,7	80,4	91,0
Codogno	1029	25,7	34,4	40,9	57,7	65,9	74,9	88,2
Como	956	30,0	39,2	45,4	59,6	65,8	72,1	80,6
Costa Masnaga	1035	33,7	49,1	60,5	89,2	103,0	117,9	139,5
Crema	1023	26,1	33,4	38,6	50,7	56,2	61,9	69,9
Gallarate	1056	32,7	42,6	50,6	73,1	85,2	99,1	120,7
Ispra	1157	34,2	43,5	49,5	62,6	68,0	73,4	80,3
Lavena	1095	28,3	35,0	39,0	46,9	49,9	52,6	56,0
Lecco	967	33,1	42,9	49,6	64,8	71,4	78,1	87,2
Lodi	1006	23,9	31,3	36,7	49,7	55,8	62,3	71,4
Marcallo	1059	30,5	38,5	44,0	56,5	61,9	67,4	74,9
Melegnano	1043	27,9	38,6	46,2	64,1	72,3	80,8	92,5
Miorina	1164	29,4	40,4	48,0	65,5	73,4	81,4	92,3
Mortara	1181	18,4	24,6	28,8	38,6	42,9	47,3	53,3
Saronno	1053	23,9	34,2	41,1	56,9	63,7	70,6	79,9
Treviglio	1005	27,1	36,8	43,5	58,8	65,6	72,5	81,9
Varese	1045	33,5	43,6	50,5	66,4	73,5	80,7	90,5
Venegono	1051	35,2	45,0	51,2	64,2	69,4	74,4	80,8

Caso particolare di Bereguardo

La stazione di Bereguardo, come precedentemente detto, è stata inserita tra quelle significative per il presente lavoro, nonostante la serie dei dati pluviometrici sia di soli 17 anni, in quanto localizzato in un'area scarsamente densa di informazioni.

La serie storica dei dati di pioggia di 1, 3, 6, 12 e 24 ore per tale stazione sono riportate nell'Allegato 1-A.

Per il calcolo dei coefficienti a e n si è utilizzata la seguente procedura:

Calcolo della media (μ) e dello scarto quadratico medio (σ) della serie storica, per ogni durata di pioggia a partire dalla serie dei dati storici.

Calcolo dei parametri caratteristici della distribuzione di Gumbel:

Tra i parametri che definiscono la distribuzione di probabilità di Gumbel e i parametri statistici relativi alla serie storica (μ e σ), sussistono le seguenti relazioni:

$$\alpha_t = 1,283/\sigma_t \quad (6)$$

$$u_t = \mu_t - 0,45 \cdot \sigma_t \quad (7)$$

Calcolo dell'altezza di pioggia $h_t(T)$:

Nel caso in cui si ipotizzi che la distribuzione di probabilità delle h sia, per tutte le durate, quella di Gumbel, è possibile scrivere una relazione diretta che esprima h in funzione della durata e del tempo di ritorno. La legge di Gumbel assegna alla pioggia $h_t(T)$ di durata t e tempo di ritorno T , il valore:

$$h_t(T) = u_t - (1/\alpha_t) * \ln[-\ln(1-1/T)] \quad (8)$$

Considerando i parametri u_t e α_t si ottiene, secondo la metodologia riportata nella pubblicazione *Il regime delle piogge intense a Milano (1976)* di U. Moisello,

$$h_t(T) = \mu_t * f(T) \quad (9)$$

con

$$f(T) = 1 - K [0.450 + 0.799 \ln(-\ln(1-1/T))] \quad (10)$$

dove K è pari al rapporto tra σ_t e μ_t

Per cui l'altezza di pioggia corrispondente a una certa durata e a un certo tempo di ritorno è dunque proporzionale alla media relativa alla durata considerata secondo un coefficiente di proporzionalità $f(T)$ che dipende dal particolare valore assunto da K .

Determinazione della curva di possibilità climatica:

La curva di possibilità climatica consente di stabilire il legame tra altezza h , durata t della pioggia e tempo di ritorno T . L'espressione utilizzata è la seguente:

$$h_t(T) = a_T * t^n \quad (11)$$

o equivalentemente

$$\text{Log } h_t(T) = \text{Log } a_T + n * \text{Log } t. \quad (12)$$

Con $h_t(T)$ altezza massima di pioggia espressa in [mm], corrispondente alla durata t e al tempo di ritorno T .

Ammissa l'invarianza del parametro n , l'equazione (11) vale anche per le medie μ_t delle altezze h di pioggia di durata t , ossia:

$$\mu_t = a * t^n \quad (13)$$

Considerando quindi le 5 coppie di valori $[t, \mu_t]$ per $t = 1, 3, 6, 12, 24$ ore si calcolano le corrispondenti coppie $[\text{Log } t, \text{Log } \mu_t]$. Mediante il metodo dei minimi quadrati si individua la retta interpolante i punti che ha coefficiente angolare pari ad n e ordinata all'origine pari a $\text{Log } a$.

I valori di a_T che appaiono nella relazione (11) si determinano attraverso la seguente relazione:

$$a_T = a * f(T) \quad (14)$$

I valori così ottenuti sono i seguenti.

nome stazione	cod. stazione	a (T=2)	a (T=5)	a (T=10)	a (T=50)	a (T=100)	a (T=200)	a (T=500)	N
Beregardo	1174	25.4	32.8	37.7	48.6	53.1	57.7	63.7	0.254

Pluviografi del comune di Milano

Il comune di Milano gestisce nell'area metropolitana 16 pluviografi che hanno cominciato a funzionare in anni diversi a partire dal 1895. Soltanto a partire dal 1938 però i pluviografi hanno assunto l'attuale distribuzione sul territorio.

Lo studio di U. Moisello del 1976 riguardante il regime delle piogge intense a Milano ha pertanto considerato come attendibili solo le serie storiche a partire dal 1938 fino ad arrivare al 1970, per tutti i 16 pluviografi, per durate di pioggia di 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150, 180, 240, 360 minuti. Poiché le registrazioni presentano diverse lacune, dovute a diverse interruzioni, casuali o deliberate, nel funzionamento degli apparecchi, e poiché attualmente funzionano nella stagione invernale (Dicembre, Gennaio, Febbraio) solo 7 stazioni su 16, il primo passo dello studio è stato quello di verificare l'ipotesi che i massimi si verifichino solo nelle stagioni non invernali. A questo scopo sono state prese in considerazione le annate di cui è completa la collezione dei pluviogrammi ed è stata studiata la distribuzione dei massimi nei diversi mesi relativamente alle durate di 15', 60', 180', 360'. E' stato così verificato che i massimi non si sono mai verificati nei mesi da Dicembre a Febbraio. Questo autorizza a ritenere che i valori rilevati rappresentino effettivamente il massimo annuale anche nei casi in cui non sono disponibili i dati relativi alle precipitazioni invernali.

Partendo quindi dalle serie storiche delle 16 stazioni sono stati calcolati i parametri statistici (media e scarto quadratico medio), per ogni stazione e per ogni durata di pioggia, necessari per calcolare i parametri α e u caratteristici della legge di Gumbel, nell'ipotesi quindi che i massimi annuali dell'altezza di pioggia di una determinata durata siano distribuiti secondo questa legge. Una volta noti tali parametri è stato possibile calcolare l'altezza di pioggia $h_t(T)$ di durata t e tempo di ritorno T secondo la seguente espressione:

$$h_t(T) = u_t - (1/\alpha_t) \ln[-\ln(1-1/T)]. \quad (15)$$

Considerando i parametri u_t e α_t si ottiene nuovamente,

$$h_t(T) = \mu_t * f(T) \quad (16)$$

con

$$f(T) = 1 - K [0.450 + 0.799 \ln(-\ln(1-1/T))] \quad (17)$$

dove K è pari al rapporto tra σ_t e μ_t

La curva di possibilità climatica, come precedentemente visto, ha la seguente forma:

$$h_t(T) = a_T * t^n \quad (18)$$

o equivalentemente

$$\text{Log } h_t(T) = \text{Log } a_T + n * \text{Log } t. \quad (19)$$

Con $h_t(T)$ altezza massima di pioggia espressa in [mm], corrispondente alla durata t e al tempo di ritorno T .

Ammissa l'invarianza del parametro n , l'equazione (18) vale anche per le medie μ_t delle altezze h di pioggia di durata t , ossia:

$$\mu_t = a * t^n \quad (20)$$

L'andamento dei punti nel piano bilogaritmico di μ_t e t ha suggerito di interpolarli con una spezzata a due lati ai quali corrispondono, rispettivamente, i valori a_1, n_1 per le durate minori di un'ora e a_2, n_2 per le durate maggiori di un'ora. Solo per il pluviografo di Monluè è apparso preferibile usare una sola retta. Nella seguente tabella sono riportati i valori di a_1, n_1, a_2, n_2 e di k , dato dal rapporto tra scarto quadratico medio e media del massimo totale annuo delle altezze di pioggia per le diverse durate.

nome pluviografo	Numero pluviografo	a_1	n_1	a_2	n_2	k
Marino	1	33	0,385	31,5	0,219	0,348
Vignola	2	37,7	0,447	34,6	0,236	0,353
Sacco	3	37,5	0,449	34,2	0,233	0,364
Gattamelata	4	34,8	0,449	31,9	0,205	0,330
Sondrio	5	39,4	0,400	37,7	0,200	0,346
Pareto	6	37,7	0,380	37,4	0,239	0,347
Nosedo	7	36,7	0,412	33,7	0,235	0,364
Ronchettino	8	29,6	0,379	28,7	0,286	0,357
Monluè	9	31,1	0,245			0,340
Crescenzago	10	33,4	0,266	33,4	0,208	0,422
Milanino	11	41,7	0,362	40,1	0,232	0,374
Garbagnate	12	36,2	0,438	33,9	0,279	0,381
Ronchetto s. N.	13	39,6	0,431	37,1	0,225	0,372
Baggio	14	41,4	0,394	38,4	0,226	0,405
Bruzzano	15	39,5	0,414	37,1	0,262	0,485
Monviso	16	39,2	0,552	34,2	0,213	0,318

Dalla seguente relazione si ricava il parametro a per ogni tempo di ritorno T per durate superiori a 1 ora

$$a_T = a_2[0,45+0,799\ln[-\ln(1-1/T)]] \quad (21)$$

mentre come n si considera n_2 per ogni tempo di ritorno, nell'ipotesi che la durata di pioggia sia maggiore di un'ora.

I valori di a_T così ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Nell'Allegato 1-B, invece, sono riportate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica di tutte le stazioni pluviometriche considerate.

nome stazione	pluviometro	a(T=2)	a(T=5)	a(T=10)	a(T=50)	a(T=100)	a(T=200)	a(T=500)
Marino	1	29.8	39.7	46.3	60.7	66.9	73.0	81.0
Vignola	2	32.7	43.7	51.1	67.2	74.0	80.8	89.7
Sacco	3	32.2	43.5	51.0	67.4	74.4	81.3	90.4
Gattamelata	4	30.2	39.8	46.1	60.0	65.9	71.7	79.4
Sondrio	5	35.7	47.5	55.3	72.5	79.8	87.0	96.6
Pareto	6	35.4	47.1	54.9	72.0	79.3	86.5	96.0
Nosedo	7	31.8	42.9	50.2	66.4	73.3	80.1	89.1
Ronchettino	8	27.1	36.4	42.5	56.0	61.7	67.4	75.0
Monluè	9	29.4	39.0	45.4	59.3	65.2	71.1	78.8
Crescenzo	10	31.2	43.9	52.4	71.0	78.9	86.7	97.0
Milanino	11	37.7	51.3	60.3	80.1	88.5	96.8	107.8
Garbagnate	12	31.9	43.6	51.3	68.4	75.6	82.7	92.2
Ronchetto s. N.	13	34.9	47.4	55.7	73.9	81.6	89.3	99.4
Baggio	14	36.0	50.0	59.4	79.9	88.6	97.2	108.6
Bruzzano	15	34.3	50.6	61.4	85.1	95.1	105.1	118.3
Monviso	16	32.5	42.3	48.9	63.2	69.3	75.3	83.3

4. DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI ISOVALORE DEI PARAMETRI A E N

Metodologia

Una volta definiti i valori puntuali dei parametri a_T e n per le stazioni pluviografiche di interesse, è stato necessario definire il valore di tali parametri anche per tutti i restanti punti interni al bacino dei corsi d'acqua considerati, ovvero individuare la variabilità spaziale dei parametri.

Sono state dunque costruite delle mappe di isovalore: una differente per ogni tempo di ritorno per quanto riguarda il parametro a_T , e una sola valida per ogni tempo di ritorno per il parametro n .

A tale scopo si è ricorsi all'utilizzo del programma SURFER 7.0 (Surface Mapping System) che fornisce diversi metodi per la costruzione della griglia e delle corrispondenti linee di livello. I metodi proposti si differenziano per la diversa interpretazione dei dati: ognuno di essi calcola i valori della grandezza in esame, in corrispondenza dei nodi della griglia, con un differente algoritmo.

La scelta è stata in favore del Kriging, uno dei metodi più flessibili e in grado di funzionare per quasi tutti i tipi di dati, poiché in grado di elaborare una mappa anche per campioni irregolarmente distribuiti nello spazio.

L'ipotesi fondamentale, alla base delle tecniche di analisi dei fenomeni spazio-temporali, consiste nell'assimilare il processo fisico, nel nostro caso il valore assunto dai parametri a_T e n , ad un processo stocastico spazio temporale $Z(x, \xi_j)$, in cui $x=x(x,y)$ indica il vettore delle coordinate spaziali cui il processo si riferisce e Z lo specifico parametro, di cui nella

maggior parte dei casi è completamente determinata nello spazio un'unica realizzazione ξ_I .

Si assumono, per ipotesi, opportune caratteristiche di regolarità:

Stazionarietà: nella regione A in cui il processo è definito vale la stazionarietà del secondo ordine se le funzioni di media, varianza e covarianza sono invarianti per traslazione in A;

Isotropia: implica che il variogramma del campo sia indipendente dalla direzione lungo la quale viene calcolato;

Ergodicità: tale ipotesi è fondamentale al fine di consentire la stima del processo a partire dalla conoscenza delle sue realizzazioni.

Il kriging cerca di determinare, in base all'unica realizzazione campionaria disponibile $Z(x_I, \xi_I)$, sia la struttura $Z(x, \xi)$, e cioè il variogramma con tecniche di inferenza statistica, sia la stima ottimale di $Z(x_0, \xi_I)$ per qualsiasi punto x_0 privo di misura, essendo i pesi usati per l'interpolazione dei dati funzione diretta del tipo di variogramma. In generale, fissata una regione, è impossibile conoscere la vera forma del variogramma, in quanto non sono noti né la struttura, né i parametri del modello probabilistico che rappresenta la variazione del parametro scelto.

Nell'analisi della correlazione spaziale delle precipitazioni hanno rilevanza non trascurabile gli effetti di disturbo indotti da due fattori: l'aggregazione spazio-temporale dei dati e l'orografia. Nell'ambito di questo lavoro il kriging è stato applicato trascurando questi effetti di disturbo, poiché l'area in esame è eterogenea e non permetterebbe di trattare l'intera zona con univoci accorgimenti nell'effettuare l'estrapolazione spaziale. Si è quindi preferito adottare un modello di validità generale scegliendo un variogramma di tipo lineare, come consigliato dallo stesso manuale del programma.

Essenzialmente nel caso di processi stazionari, il metodo stima il valore incognito della generica grandezza $Z(x_0)$, nel punto in cui non è a disposizione il valore, come combinazione lineare delle osservazioni $Z(x_i)$, $i=1,2,\dots,N$, note nella regione di studio:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_0^i Z(x_i) \quad (22)$$

ricercando i valori dei coefficienti λ_0^i che minimizzano la varianza dell'errore di stima.

Per poter disegnare una mappa delle isolinee, si è scelto chiaramente un gran numero di punti x_0 su una maglia regolare, senza considerare la posizione dei punti di misura. In tal caso il kriging funziona da interpolatore esatto, poiché i valori del parametro corrispondente ai punti in input vengono rispettati nel caso i punti coincidano con i nodi interpolati della griglia, poiché non è stato specificato il "nugget effect" (che entra in gioco se ci sono potenziali errori nella raccolta dei dati).

Le mappe isovalore dei parametri a_T e n così prodotte sono riportate in Allegato 1-C.

Analisi critica dei risultati

Dall'analisi delle curve di isovalore del parametro a_T riportate in Allegato, si ricava un andamento generale delle piogge crescente procedendo da sud verso nord. In particolare si nota che:

La zona a sud-ovest, intorno a Mortara, risulta poco piovosa per ogni tempo di ritorno.

L'area intorno a Milano risulta molto piovosa in particolare nelle zone di Bruzzano, Milanino e Baggio. All'aumentare del tempo di ritorno le zone con picchi di pioggia molto elevati rispetto al valor medio sul territorio, tendono a restringersi intorno ai tre pluviografi sopracitati.

La zona a nord-est di Busto Arsizio è caratterizzata da valori di a_T elevati per tempi di ritorno bassi; tali valori tendono a crescere con il tempo di ritorno meno rapidamente di quelli delle stazioni circostanti.

La zona compresa tra Lavena Ponte Tresa e Saronno risulta globalmente caratterizzata da valori medio-bassi del parametro a_T per qualsiasi tempo di ritorno, analogamente all'area sud-est del territorio in esame.

Nell'area nord ovest, si evidenzia un andamento del parametro a_T concentrico intorno alla stazione di Costa Masnaga, che risulta caratterizzato da valori molto elevati di pioggia per ogni tempo di ritorno.

L'andamento delle piogge nell'area in esame risulta quindi in generale crescente da sud verso nord con una locale crescita concentrica intorno a un triangolo costituito da Milano, Costa Masnaga e Gallarate.

Anche per quanto riguarda il parametro n si nota un trend crescente procedendo da sud-est verso nord-ovest, con valori massimi intorno alla stazione di Lavena Ponte Tresa.

5 MODELLO REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE

Generalità

Come già anticipato, al fine di una opportuna validazione dei risultati ottenuti al capitolo precedente si riporta di seguito il confronto con un recente lavoro. In particolare è interessante confrontare la distribuzione spaziale delle precipitazioni ottenuta nel presente lavoro, con quella ottenuta con il modello di regionalizzazione delle piogge definito nello studio "modello regionale per la stima delle piogge di breve durata ed elevato tempo di ritorno" di U. Maione, R. Romiti e M. Tomirotti. Qui di seguito viene brevemente descritto tale modello e i risultati ottenuti.

Oggetto dello studio sopracitato è la definizione di un modello regionale delle precipitazioni intense nel Bacino Padano.

A tal fine è stato utilizzato un modello probabilistico simile a quello proposto in precedenti articoli per l'analisi delle portate di piena dei corsi d'acqua italiani (Maione et al., 1998).

Tale modello, formulato per la variabile portata al colmo di piena per tempi di ritorno

T > 30 anni, presenta un'espressione del tipo:

$$\frac{Q}{\mu} = 1 + \alpha K(T)^{\beta} CV^{\chi} \quad (23)$$

in cui:

Q = portata al colmo di piena di tempo di ritorno T;

μ = media dei massimi annuali delle portate al colmo di piena;

$K(T) = -[0.45 + 0.779 \ln(-\ln(1-1/T))]$ = fattore moltiplicatore di Gumbel, dipendente dal tempo di ritorno;

CV = coefficiente di variazione.

Rispetto ai modelli di regionalizzazione del tipo 'portata indice', che assumono costanti nella regione di riferimento i momenti normalizzati di ordine superiore a 1, il modello (23) tiene conto delle caratteristiche di variabilità della Q tramite il coefficiente di variazione CV variabile localmente.

Rispetto ai modelli di 'portata indice', il modello (23) richiede la stima oltre che della media μ anche dello scarto quadratico medio σ .

In lavori precedenti è stato mostrato come per valori di CV compresi tra 0.25 e 1.70 (range questo che comprende in pratica i valori che la stessa statistica assume per gran parte dei corsi d'acqua italiani) la precedente può essere espressa nella più semplice forma:

$$\frac{Q}{\sigma} = a + b \ln T \quad (24)$$

Seguendo gli stessi sviluppi che hanno condotto alle (23) e (24), per le piogge di breve durata e forte intensità registrate nel bacino Padano si sono trovate le seguenti espressioni che di poco differiscono dalle precedenti:

$$\frac{h_d}{\mu_d} = 1 + 2.13 K(T)^{0.74} CV^{1.40} \quad (25)$$

$$\frac{h_d}{\sigma_d}(T) = 3.75 + 0.49 \ln T \quad (26)$$

dove h_d rappresenta l'altezza di precipitazione di durata d, e $\mu_d = \mu(h_d)$ e $\sigma_d = \sigma(h_d)$.

Si ha motivo di ritenere che questi modelli siano validi anche per l'intero territorio nazionale.

Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica

Come è noto il regime delle piogge di breve durata e forte intensità può essere sintetizzato statisticamente nelle cosiddette linee segnalatrici di possibilità climatica (LSPP) che

esprimono il legame tra l'altezza di pioggia in un punto della superficie terrestre, la sua durata e il tempo di ritorno.

Partendo dalla seguente espressione per definire la linee segnalatrici di possibilità climatica

$$h_{d,T} = a_T d^n \quad (27)$$

Si noti che a_T rappresenta la precipitazione della durata di 1 ora ed è ovviamente crescente con T ; n anche in questo caso è considerata invariante con il tempo di ritorno, e quindi la (27) può essere riscritta in forma più compatta

$$h = \mu(H_1) d^n K(T) \quad (28)$$

nella quale $\mu(H_1)$ è la media della variabile massima annuale dell'altezza di precipitazione di durata oraria e $K(T)$ è la cosiddetta curva di crescita della variabile normalizzata $\frac{h_d}{\mu_d}$.

Dall'ipotesi $CV(h_d) = CV = \text{cost}$, segue

$$\sigma = \mu(H_1) CV = \sigma(H_1) d^n. \quad (29)$$

In definitiva si ricava:

$$h_{d,T} = \frac{h}{\sigma} \sigma = c(3.75 + 0.49 \ln T) d^n \quad (30)$$

con c ed n parametri da stimare sulla base dei dati sperimentali disponibili utilizzando uno dei metodi usualmente adottati in elaborazioni statistiche di questo tipo.

In particolare il parametro n viene stimato col seguente semplice metodo basato sull'utilizzo dei soli dati di precipitazione della durata di 1 ora e 24 ore, ottenendo tramite la (29)

$$n = \frac{1}{\ln 24} \ln \frac{\sigma_{24}}{\sigma_1} = 0.315 \ln \frac{\sigma_{24}}{\sigma_1} \quad (31)$$

e quindi

$$h_d = [\sigma_1 (3.75 + 0.49 \ln T)] d^{0.315 \ln \sigma_{24} / \sigma_1}. \quad (32)$$

La (32) è stata utilizzata per stimare le L.S.P.P. di 33 pluviografi, scelti tra i 235 ricadenti nel bacino Padano e utilizzati per la taratura del modello regionale.

Regionalizzazione delle LSPP

La costruzione del modello generale delle piogge intense per il bacino Padano è stata

effettuata utilizzando dati registrati in 235 stazioni pluviografiche con più di 20 anni di osservazioni.

Tale modello consta nella sostanza in mappe che consentono di stimare, per ogni punto del bacino, i valori di σ_1 e σ_{24} da introdurre nelle (30) e (31).

Utilizzando i valori di σ_1 e σ_{24} , stimati a partire dalle serie storiche registrate nelle 235 stazioni considerate si sono tracciate le relative isolinee .

Si è proceduto anche a una rappresentazione delle isolinee σ_g relative alle piogge medie giornaliere, in quanto le stazioni pluviometriche sono molto più numerose di quelle pluviografiche e quindi la stima dei parametri della (32) risulta più precisa.

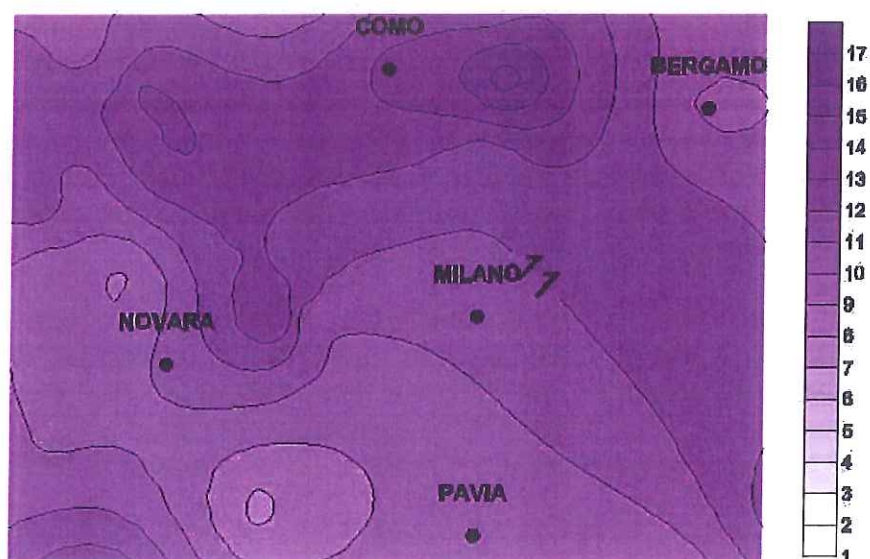
Ottenuta quindi, tramite una regressione lineare la relazione statistica che lega σ_{24} a σ_g :

$$\sigma_g = 3.85 + 0.81\sigma_{24} . \quad (33)$$

si è potuto verificare che le differenze nella stima delle LSPP tramite le σ_g e le σ_{24} sono modeste

Considerando vantaggioso stimare le σ_g , si è pensato di utilizzare le mappe delle isolinee σ_1 e σ_g per la verifica del modello proposto. Va notato dalla (29) che il parametro σ_1 coincide con il parametro a della (27), a meno di un fattore di proporzionalità funzione del tempo di ritorno. Per quanto esposto sopra, la mappa di isovalore di σ_1 sarà confrontabile come andamento spaziale alle mappe di isovalore di a .

Di seguito è riportata la mappa di isovalore del parametro σ_1 per la zona di nostro interesse.



Confronto dei risultati

L'andamento delle precipitazioni che si evince dalla mappa di isovalore di σ_1 risulta in linea con l'andamento che si ricava dalle mappe di isovalore del parametro a_T . Si può notare infatti come vi sia una tendenza crescente delle precipitazioni da sud a nord con lo stesso minimo intorno a Mortara (zona più chiara a est di Pavia), e con zone di massimo a est di Como, nella zona di Costa Masnaga e a ovest nella zona di Venegono e Gallarate.

Inoltre si ricorda che nell'ambito dello studio di regionalizzazione delle piogge intense sono stati considerati solo i pluviografi del Servizio Idrografico Nazionale; mentre nel presente studio sono stati presi in considerazione anche quelli del Comune di Milano in modo da utilizzare tutti i dati a disposizione per ottenere il maggior dettaglio possibile.

6. CONCLUSIONI

L'obiettivo di questa fase è stato, come detto, quello di calcolare le altezze massime annuali di pioggia per tempi di ritorno di 2, 5, 10, 50, 100, 200 e 500 anni in tutte le stazioni pluviografiche significative per l'area in esame, attraverso la determinazione delle LSPP, nella classica forma

$h = at^n$. Sono state considerate tutte le stazioni poste all'interno o nelle immediate vicinanze dei bacini dei corsi d'acqua oggetto del presente studio, purché avessero un numero di anni di osservazioni minimo di 20 anni. Sono stati così selezionati 22 pluviografi del SIMI e 16 pluviografi del Comune di Milano. E' stato inoltre considerato il pluviografo di Bereguardo per il quale erano disponibili solo 17 anni di osservazioni, poiché situato in una zona in cui l'informazione è particolarmente scarsa.

Per la determinazione dei parametri a_T e n delle LSPP sono stati utilizzati metodologie differenti per i pluviografi del SIMI e per quelli del comune di Milano. Come già anticipato, per i primi sono stati utilizzati i valori di a_T e n forniti dallo studio del *Rapporto sulla valutazione delle piene per l'Italia nord occidentale (2001)* di C. De Michele e R. Rosso, mentre per i secondi si sono utilizzati i valori ricavati dallo studio di U. Moisello, *Il regime delle piogge intense a Milano (1976)*. Per quanto riguarda la stazione di Bereguardo è stata utilizzata la metodologia simile a quella utilizzata per i dati di Milano, con riferimento agli eventi di durata maggiori di 1 ora.

Una volta ottenuti i valori puntuali di a_T e n nelle stazioni considerate sono stati ricavati i valori di questi parametri per tutti i punti dell'area in esame, mediante la costruzione di mappe di isovalore: una differente per ogni tempo di ritorno per quanto riguarda il parametro a_T , e una sola valida per ogni tempo di ritorno per il parametro n . Queste mappe sono state ottenute mediante l'utilizzo del programma SURFER 7.0 (Surface Mapping System).

I risultati così ottenuti sono stati infine confrontati con quelli ottenuti nello studio di U.Maione et al.

“Modello regionale per la stima delle piogge di breve durata ed elevato tempo di ritorno” (2000).

Occorre segnalare che nonostante si siano assemblati dati di diversa provenienza, elaborati talvolta con metodologie anche leggermente differenti, il risultato ottenuto non si discosta qualitativamente da quello ottenuto a scala più ampia con metodologie omogenee e consolidate.

D'altro canto la maggior definizione dell'informazione non deve indurre il lettore a enfatizzare oltre misura locali anomalie dei risultati. In questo senso la rappresentazione grafica di cui all'Allegato 1-C se da un lato permette di meglio rappresentare la fenomenologia, dall'altro esalta differenze che di fatto numericamente sono di entità poco significativa. In questo senso si rimanda alle successive fasi la scelta dei valori di pioggia da associare a ciascun bacino o sottobacino elementare, al fine della formazione del modello afflussi-deflussi.

ALLEGATO 1-A: SERIE STORICA DEI MASSIMI ANNUALI DELLE PIOGGE

BEREGUARDO Cod. 1174

Stazione Pluviometrica del S.I.I. 1174 BEREguardo – (Quota: 98 m.s.m.)

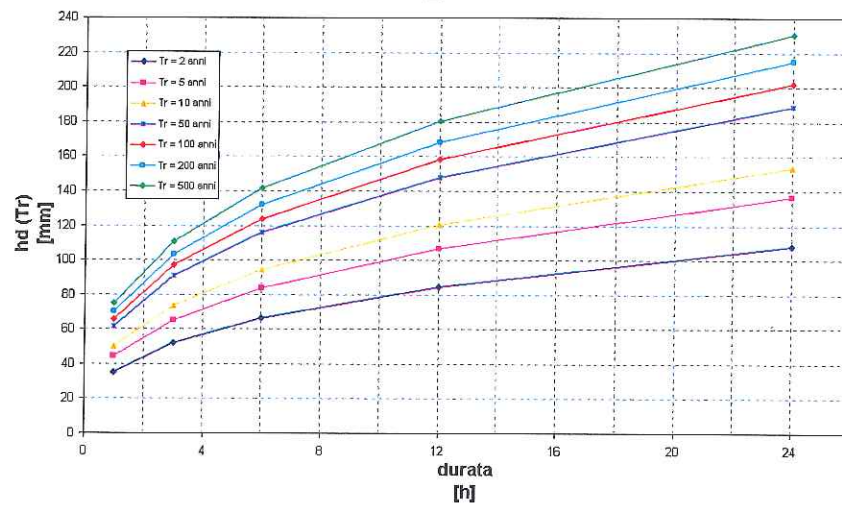
ANNO	d = 1 ora	d = 3 ore	d = 6 ore	d = 12 ore	d = 24 ore
1968	33.0	37.8	41.6	42.2	43.8
1969	11.0	20.8	25.8	32.6	55.6
1970	20.0	24.0	34.6	36.0	46.2
1971	22.4	34.4	34.4	34.4	41.6
1972	24.8	38.4	38.4	38.6	45.0
1973	36.4	40.8	41.2	49.2	64.6
1974	16.4	22.1	23.8	35.6	50.6
1975	23.8	26.2	31.7	49.3	86.1
1976	46.8	64.8	68.8	70.2	70.6
1977	29.4	46.1	53.0	66.5	92.2
1978	30.3	31.4	39.6	43.3	57.1
1979	29.8	44.7	62.1	80.7	106.5
1980	17.3	29.9	44.7	59.8	64.1
1981	25.9	41.4	57.4	62.6	62.6
1982	45.8	45.8	46.0	46.0	46.0
1983	17.9	31.0	40.6	41.2	61.2
1984	23.5	24.2	29.2	38.2	46.8

6.1.1.1.1.1 ° Dati	17	17	17	17	17
Media	26.74	35.52	41.94	48.61	61.23
SQM	9.80	11.32	12.50	14.28	18.56

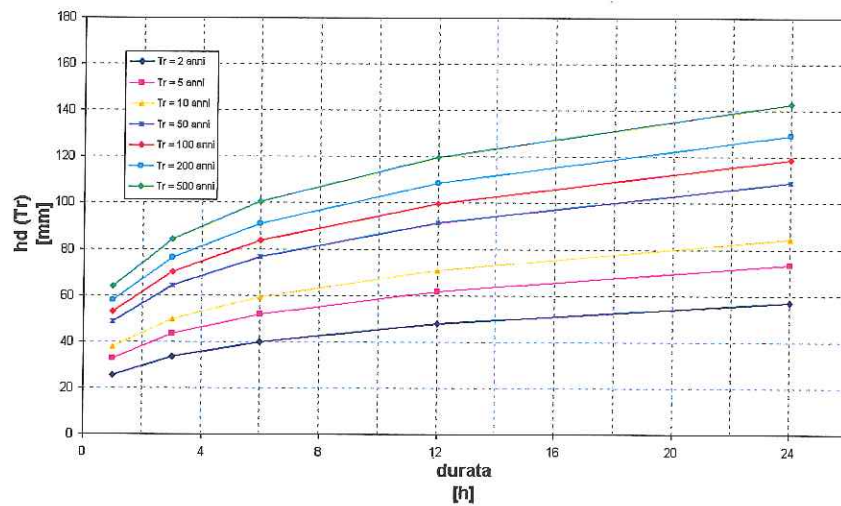
Tabella 1A: Serie storica dei massimi annuali delle piogge (mm) della durata di 1ora, 3ore, 6ore, 12ore, 24ore.

ALLEGATO 1-B LINEE SEGNALATRICI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

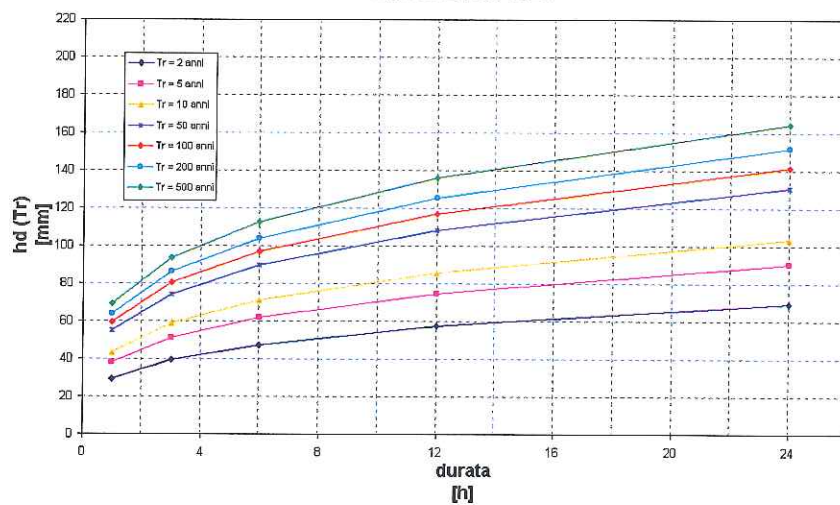
Asso _ cod. 1031



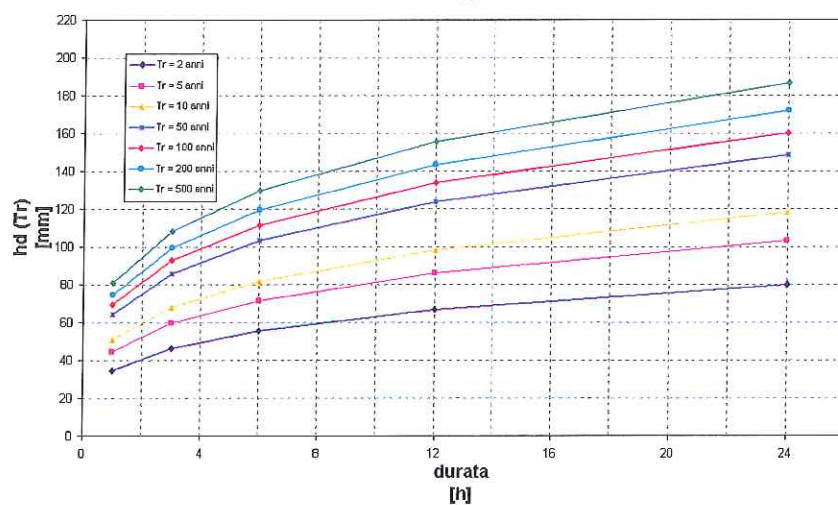
Beregardo _ cod. 1174



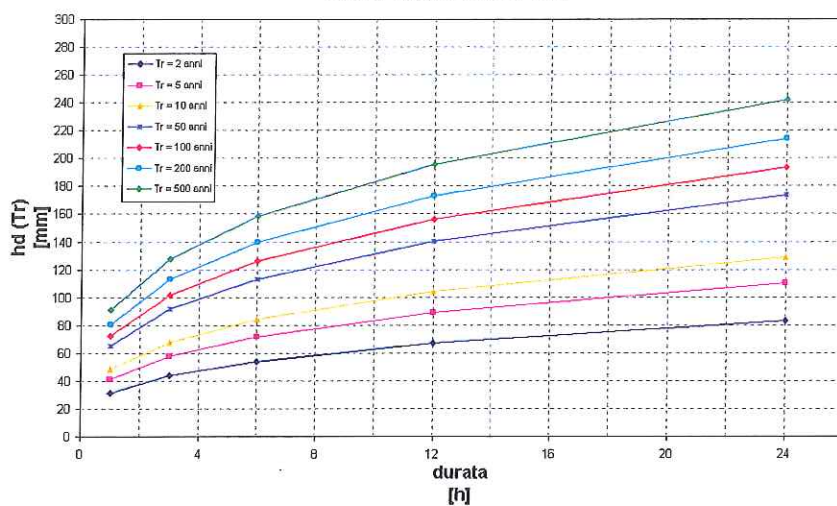
Bergamo _ cod. 1021



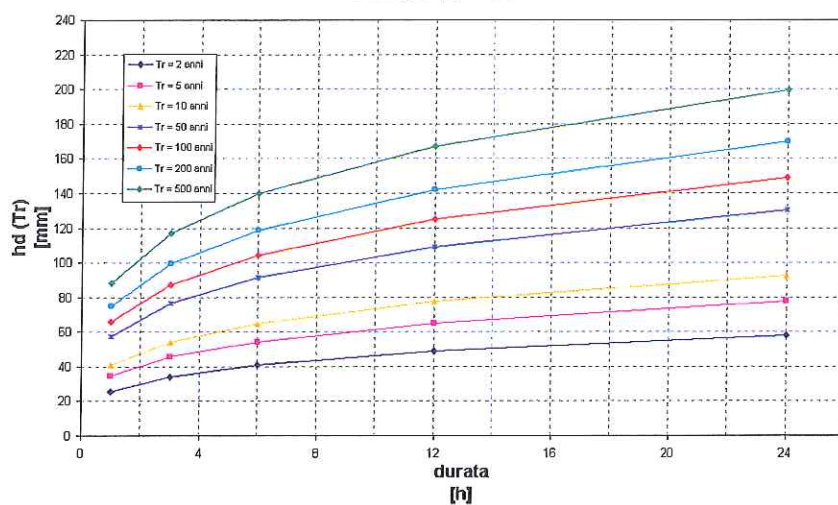
Busto Arsizio _ cod. 1057



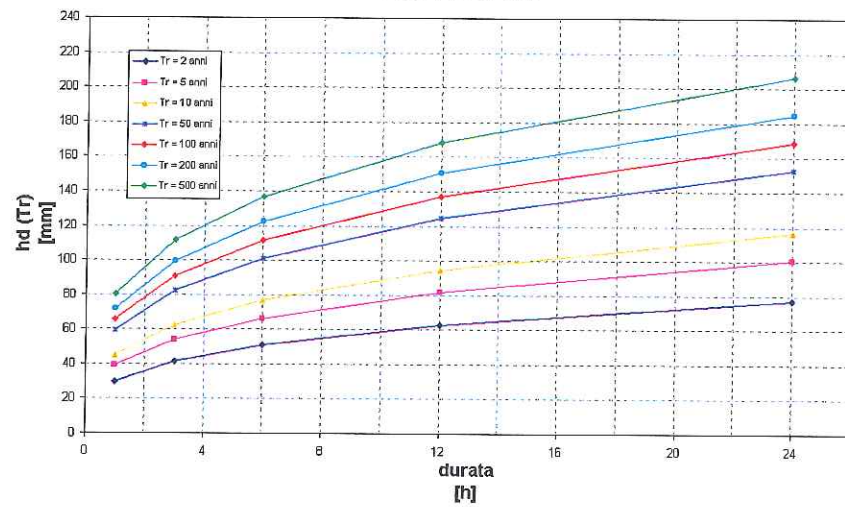
Carate Brianza _ cod. 1037



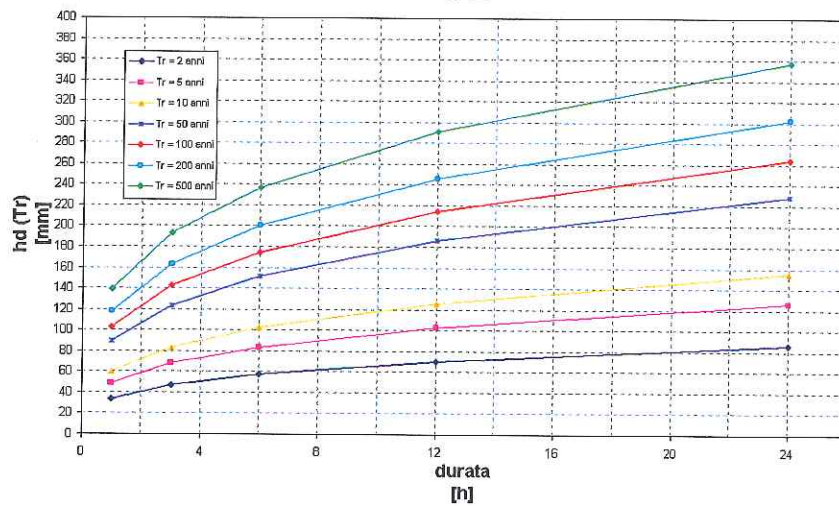
Codogno _ cod. 1029



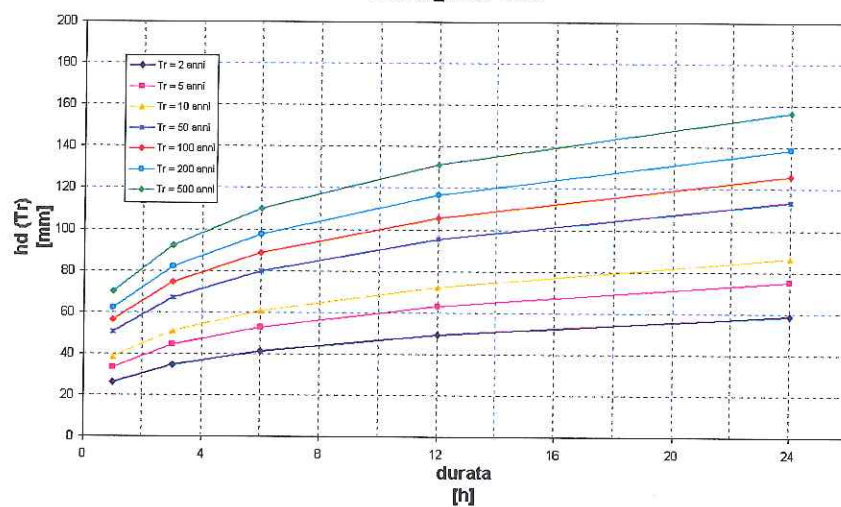
Como _ cod. 956



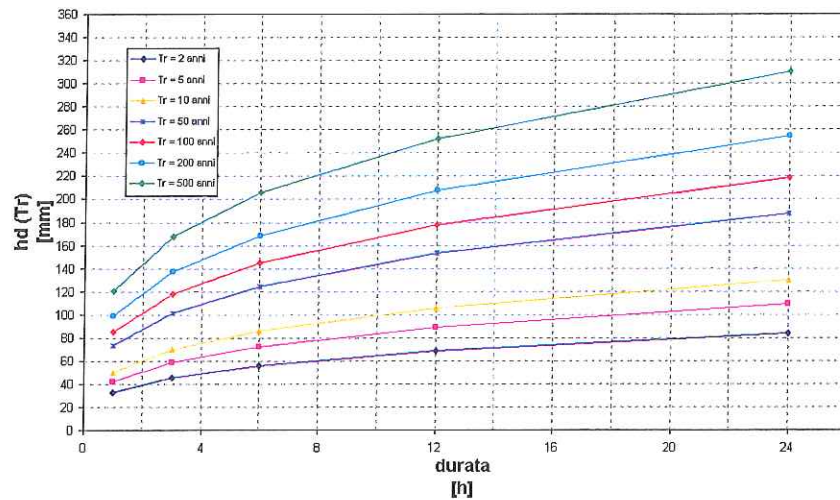
Costa Masnaga _ cod. 1035



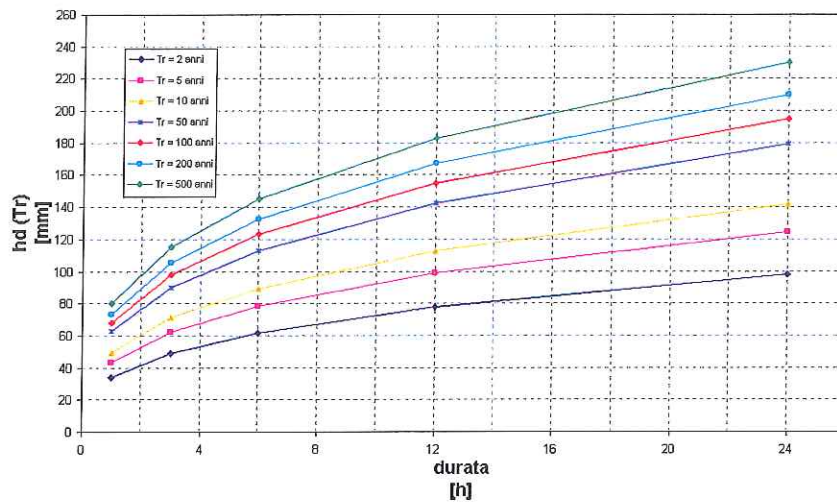
Crema _ cod. 1023



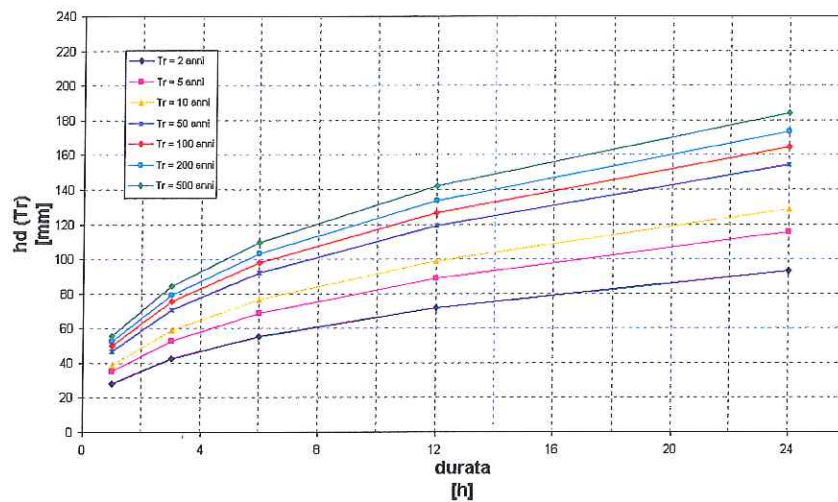
Gallarate_cod. 1056



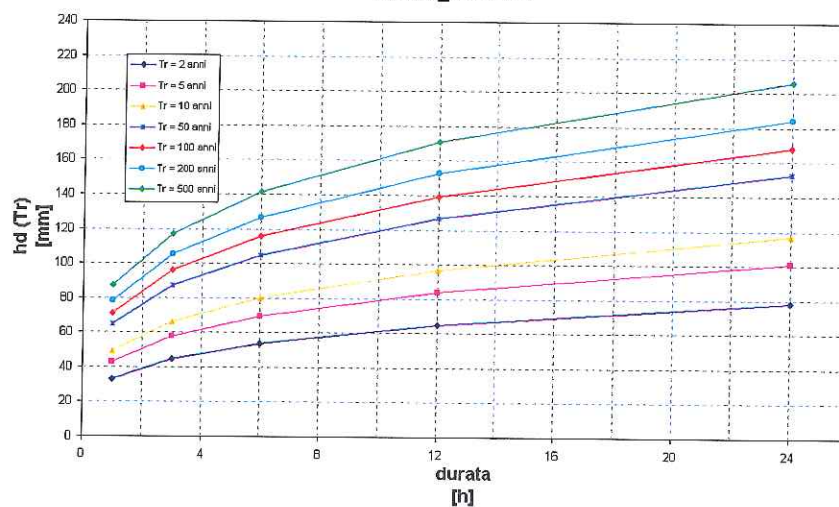
Ispra_cod. 1157



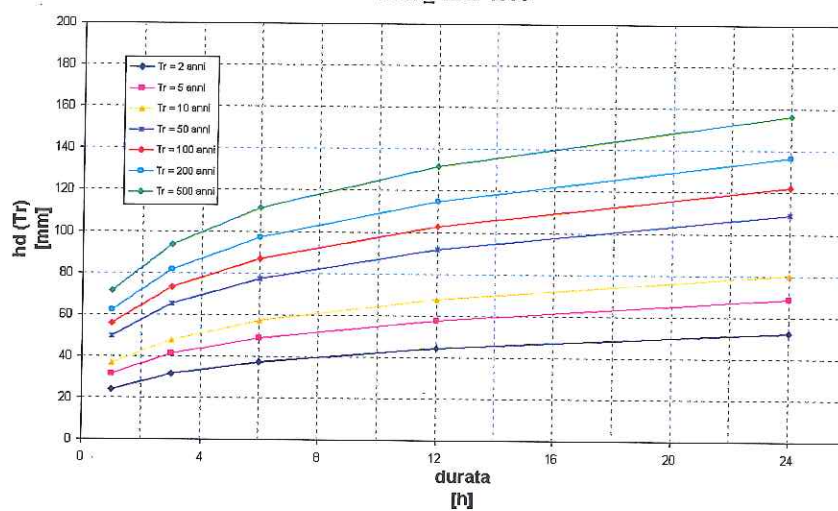
Lavena_cod. 1095



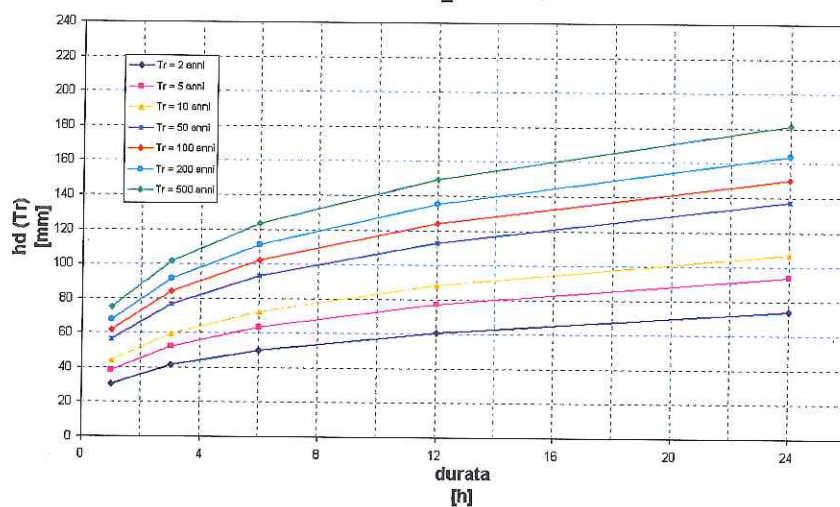
Lecco _ cod. 967



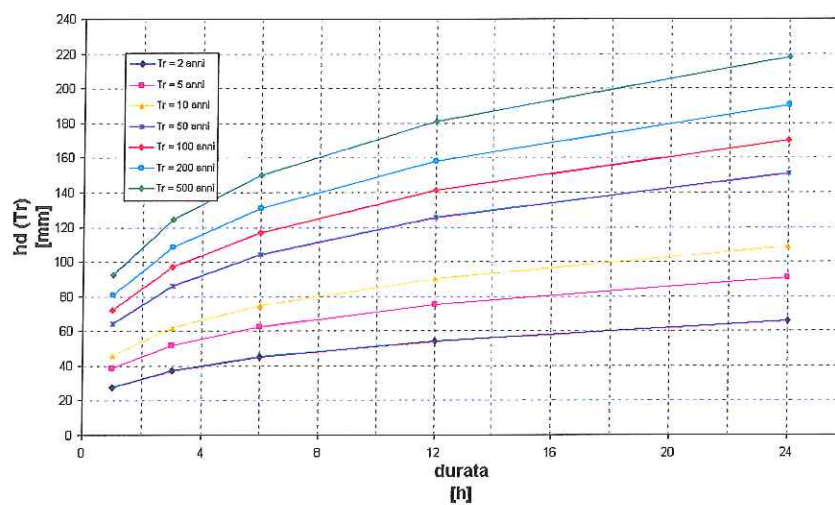
Lodi _ cod. 1006



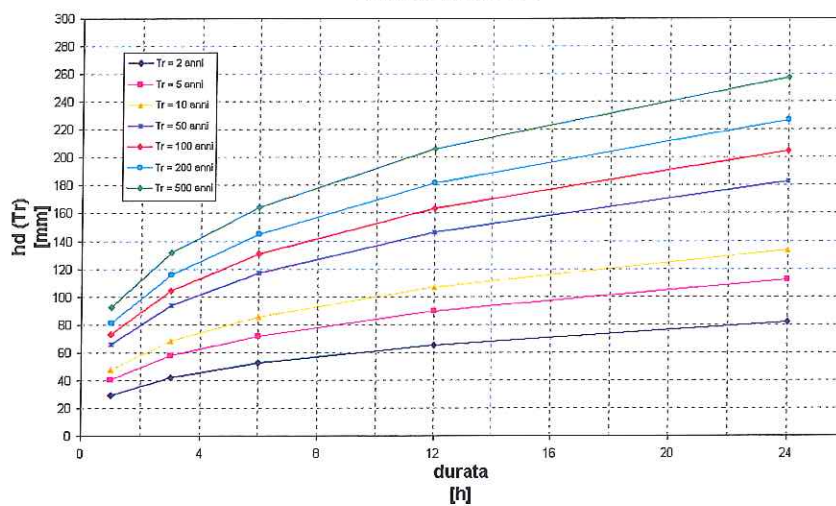
Marcallo _ cod. 1059



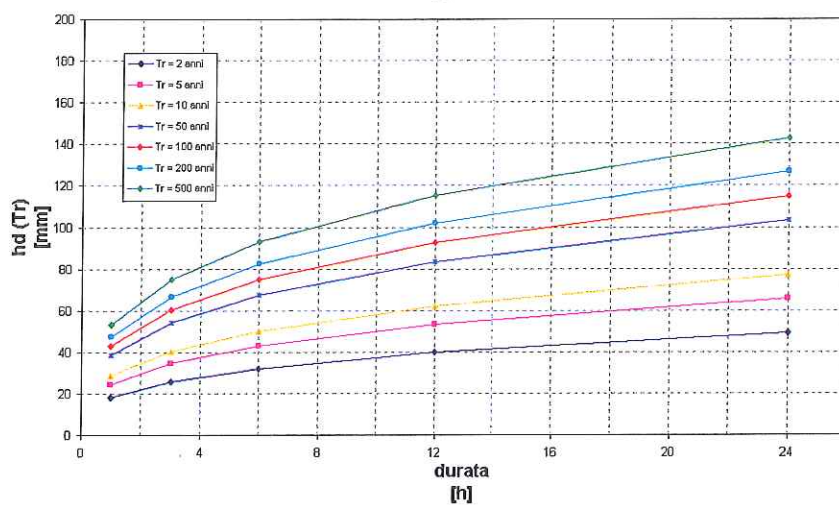
Melegnano_cod. 1043



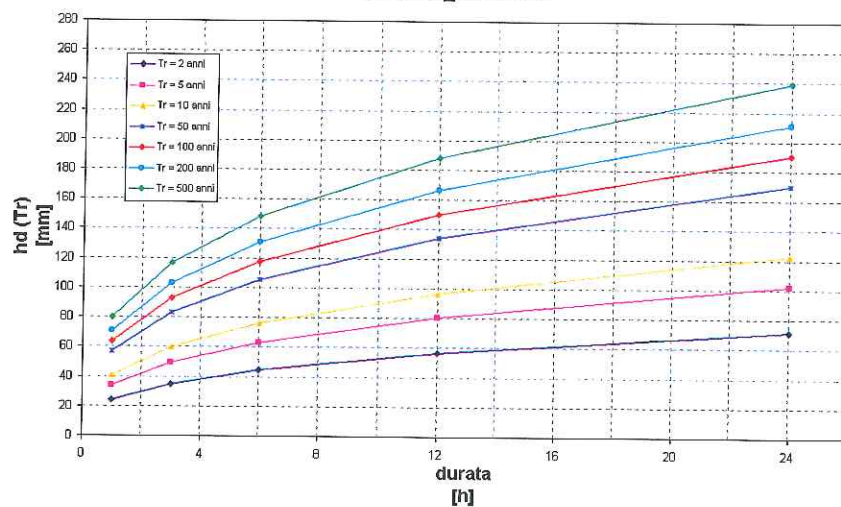
Miorina_cod. 1164



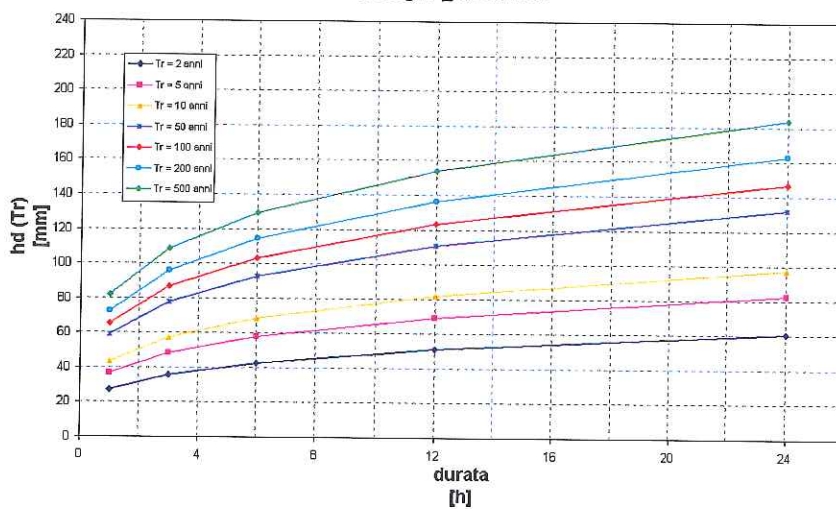
Mortara_cod. 1181



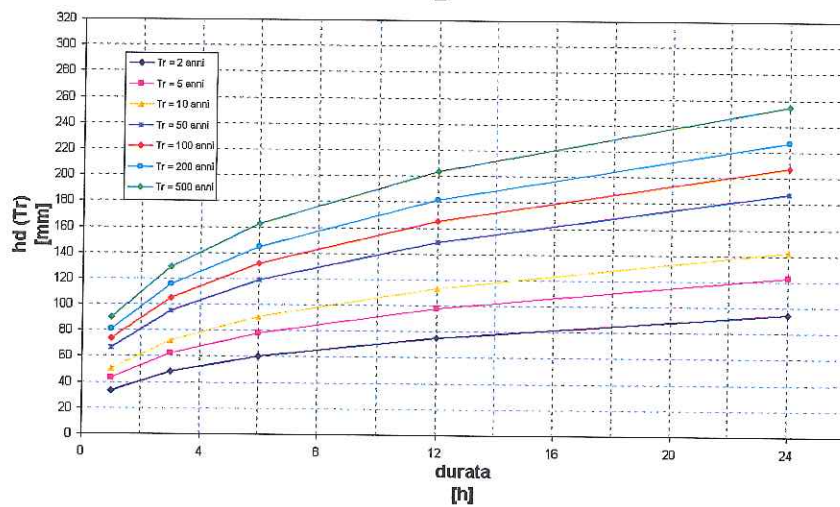
Saronno _cod. 1053



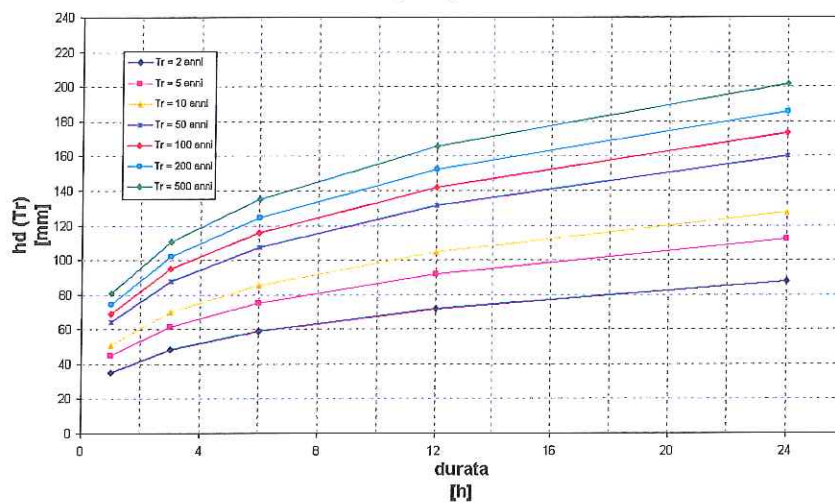
Treviglio _cod. 1005



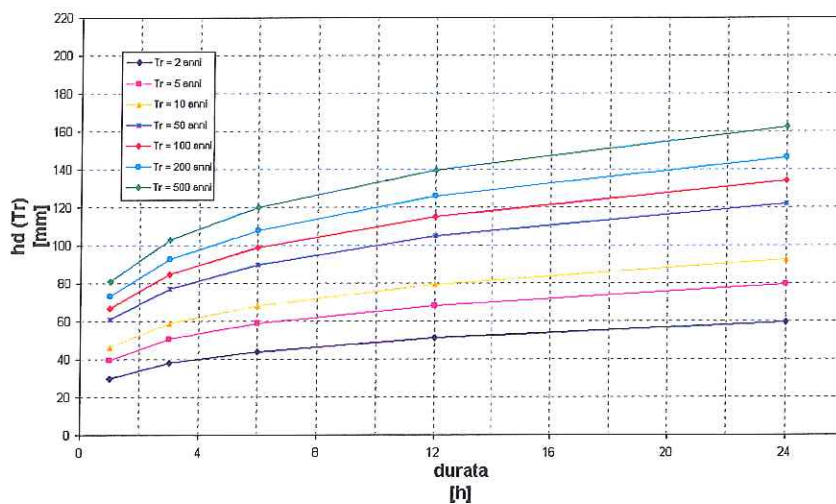
Varese _cod. 1045



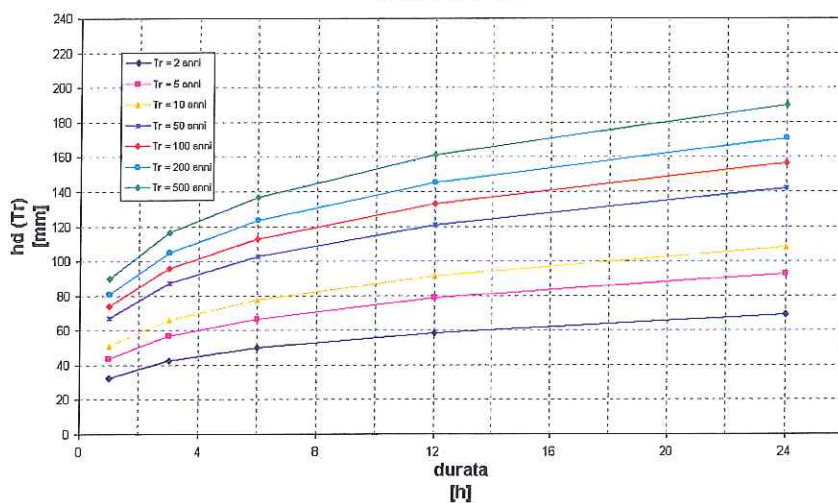
Venegono _ cod. 1051



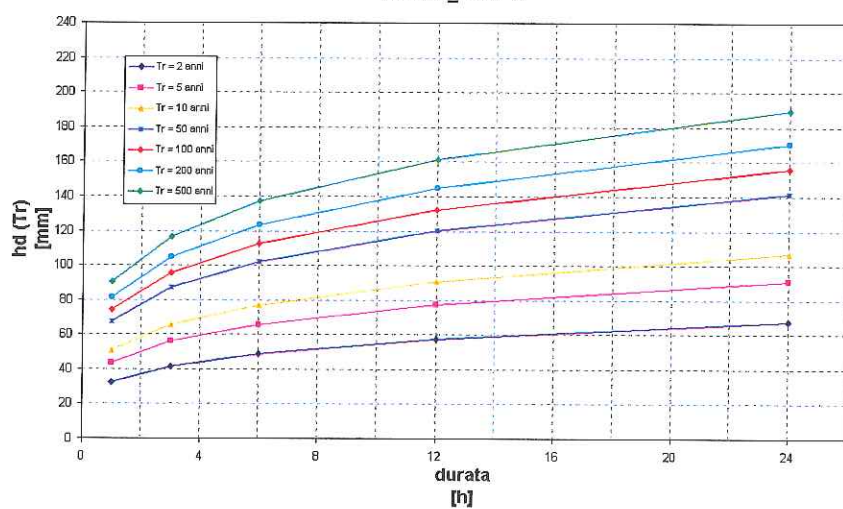
Marino _ cod. 1



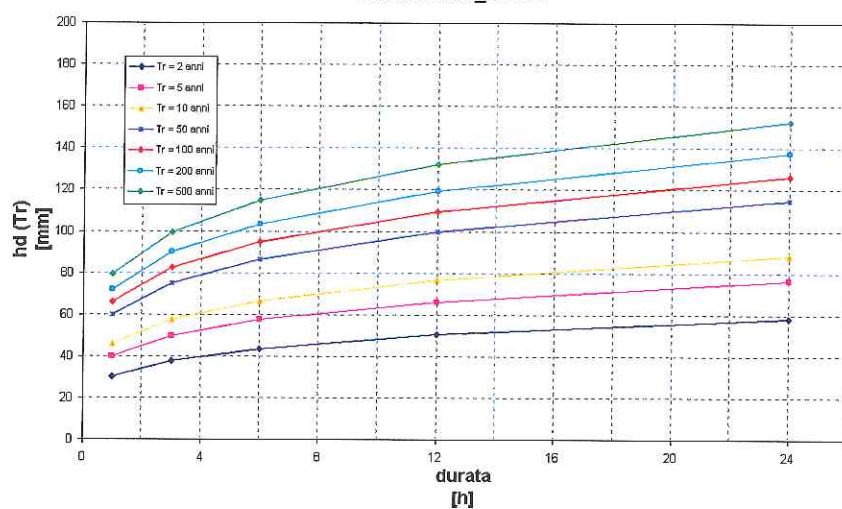
Vignola _ cod. 2



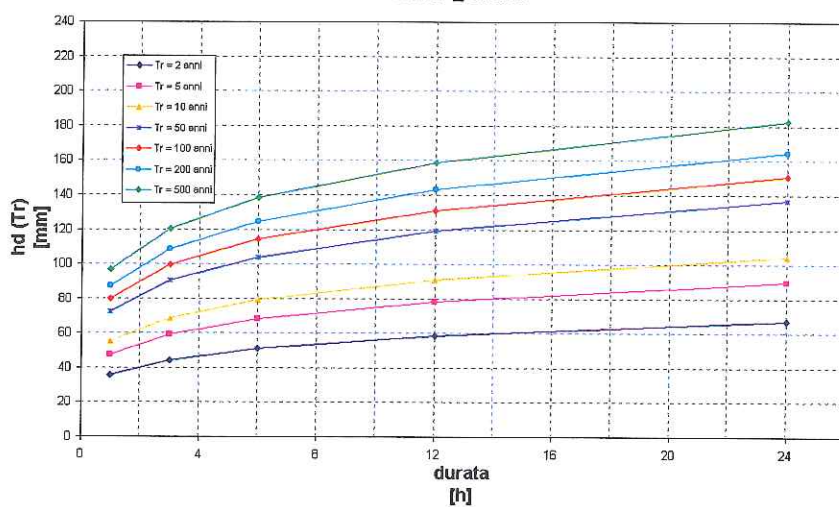
Sacco _ cod. 3



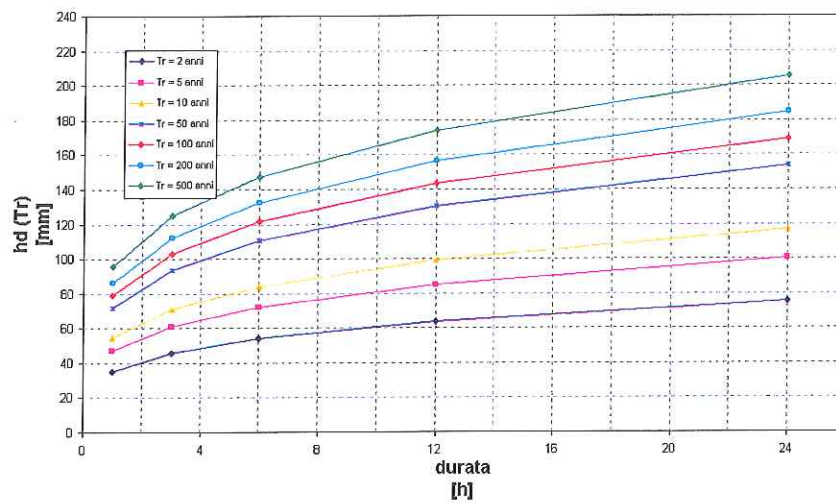
Gattamelata _ cod. 4



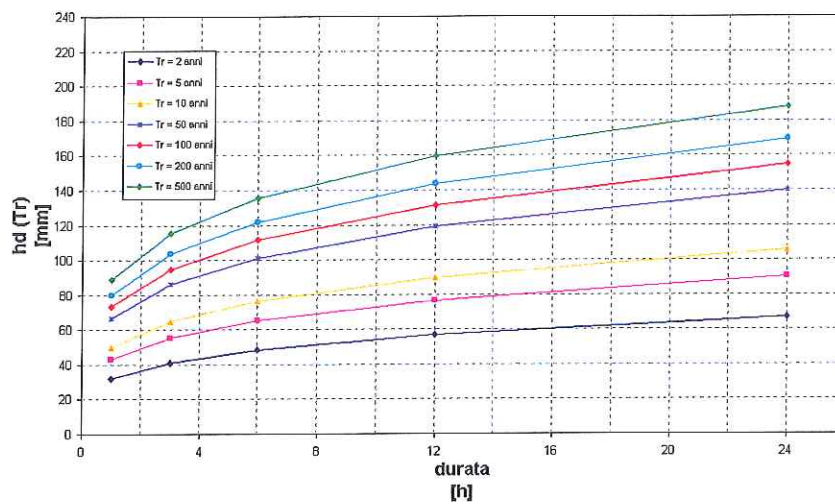
Sondrio _ cod. 5



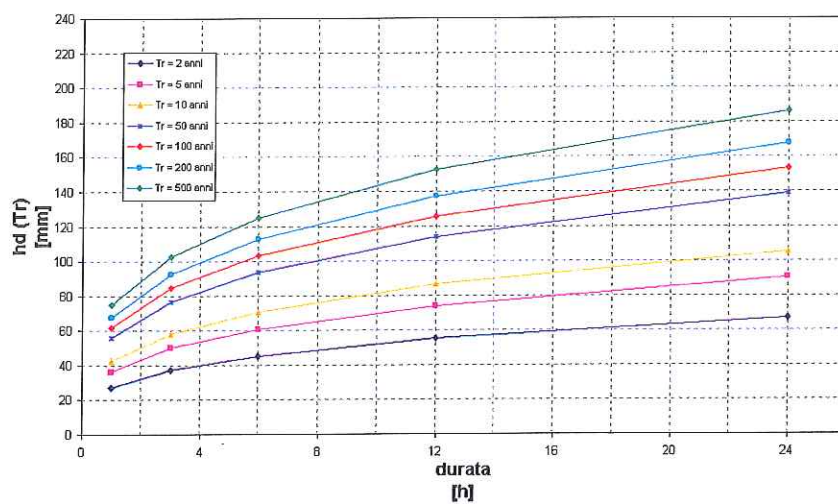
Pareto_cod. 6



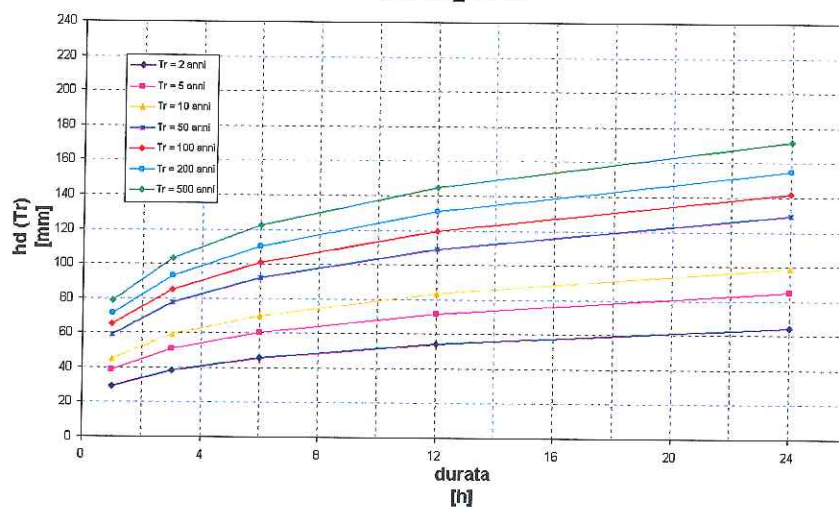
Nosedo_cod. 7



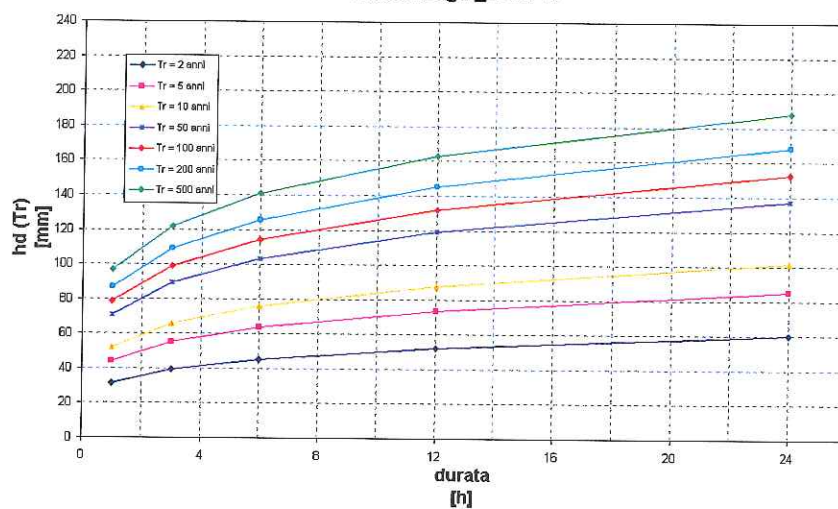
Ronchettino_cod. 8



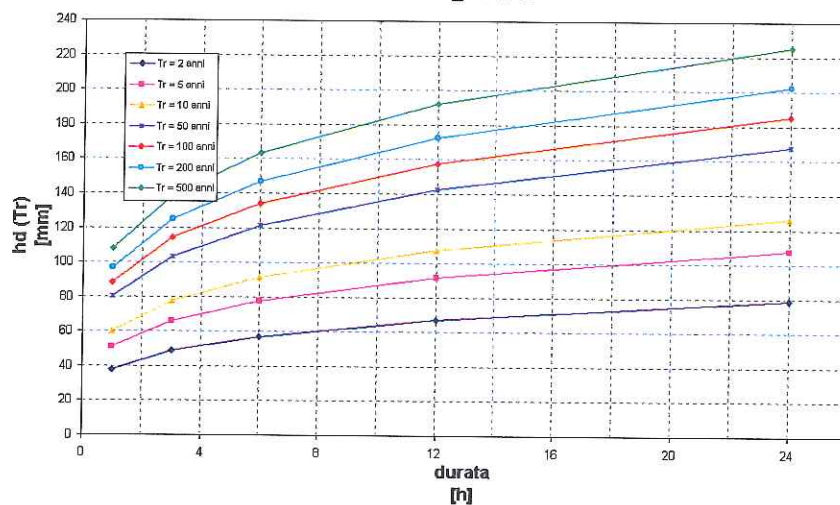
Monluè _ cod. 9



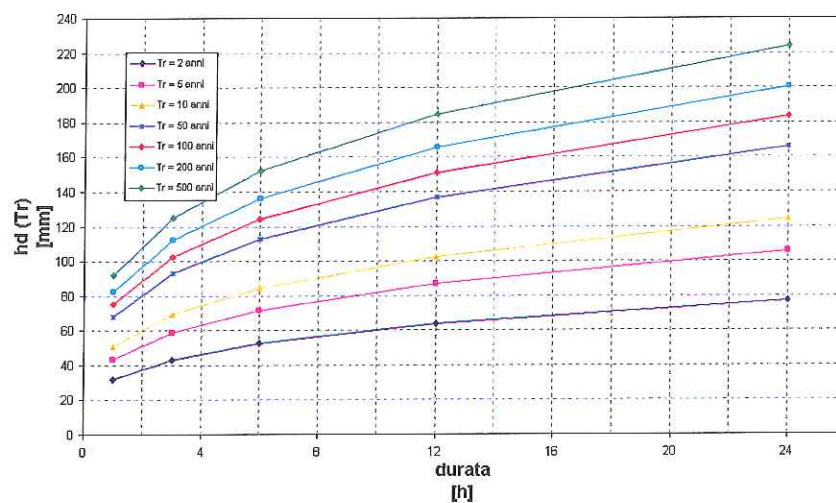
Crescenzago _ cod. 10



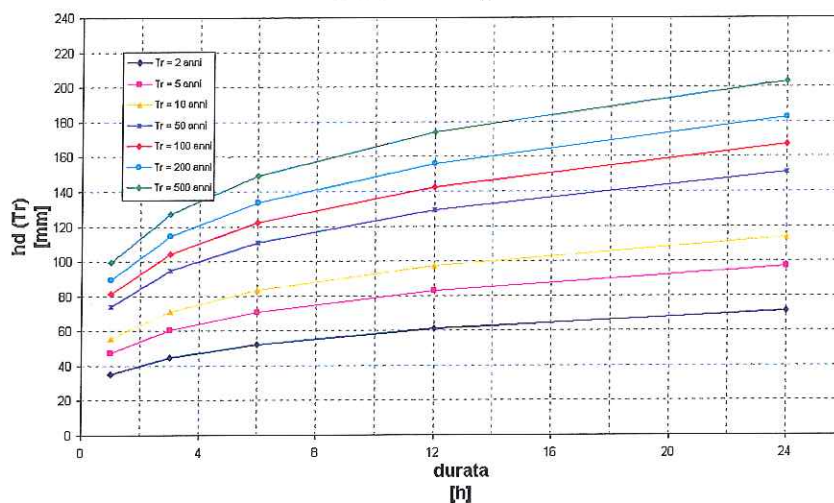
Milanino _ cod. 11



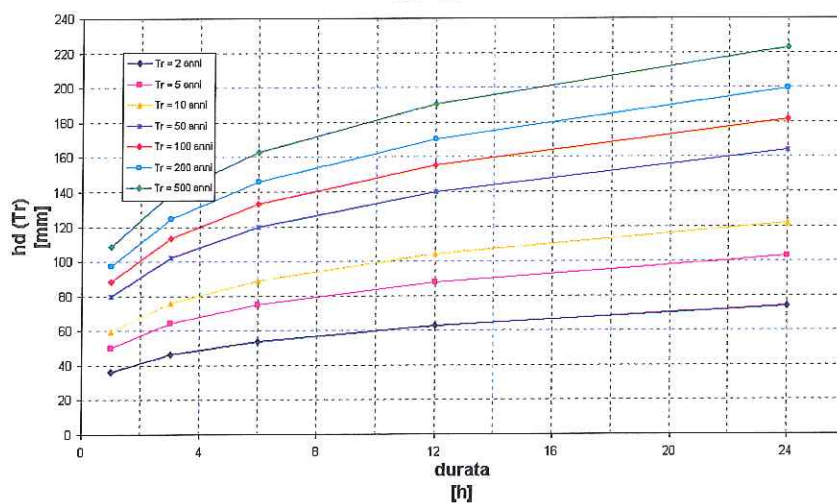
Garbagnate _ cod. 12



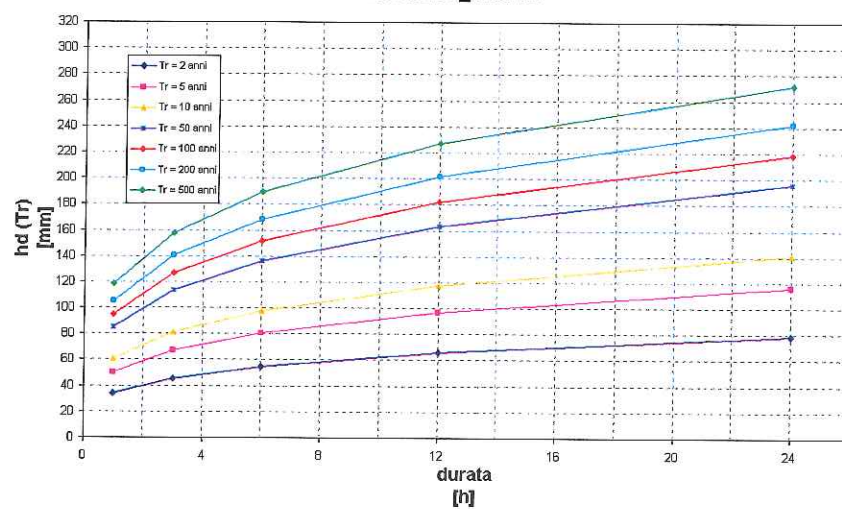
Ronchetto S. N. _ cod. 13



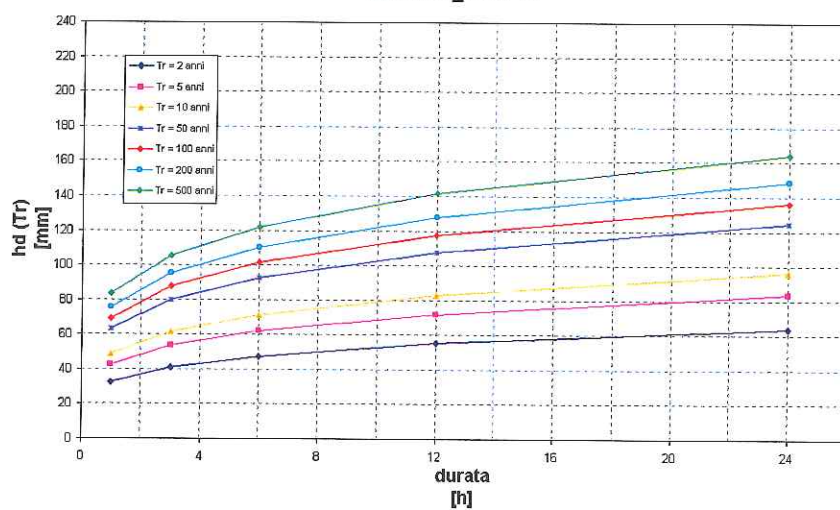
Baggio _ cod. 14



Bruzzano _ cod. 15

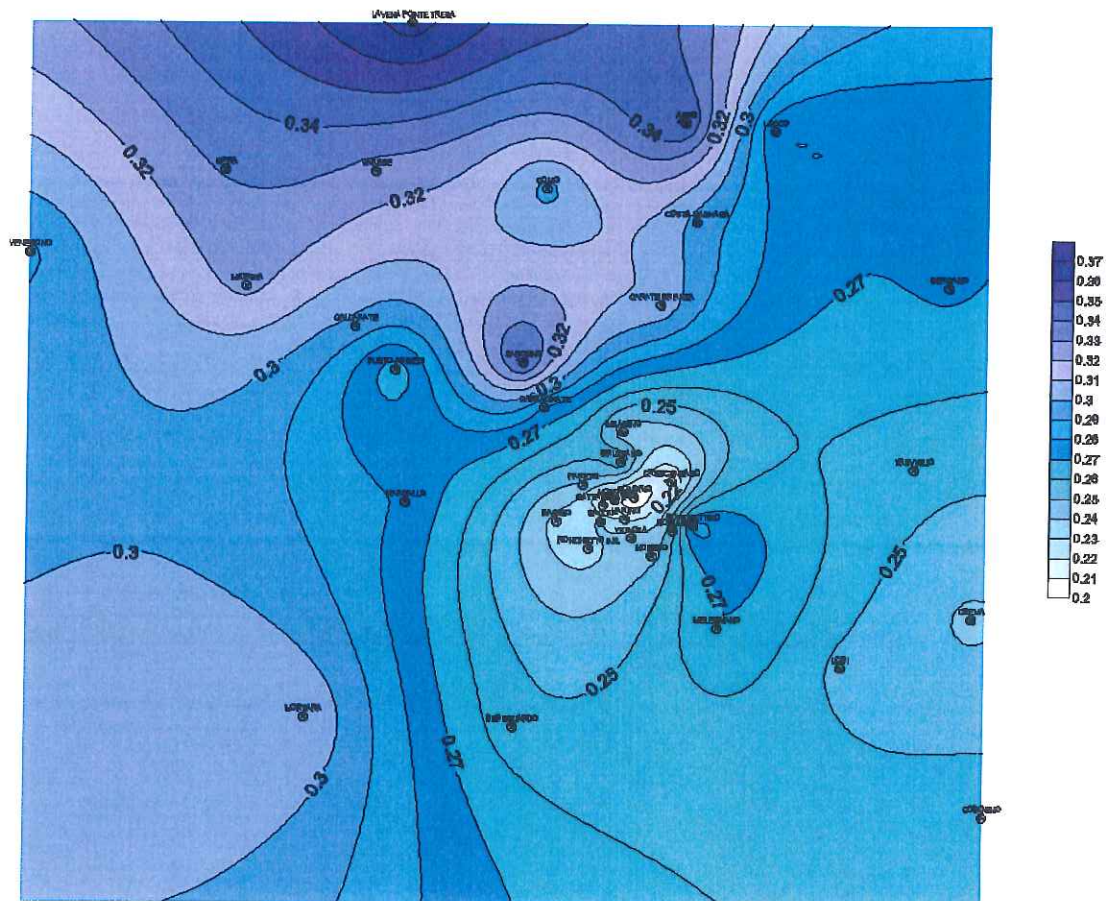


Monviso _ cod. 16

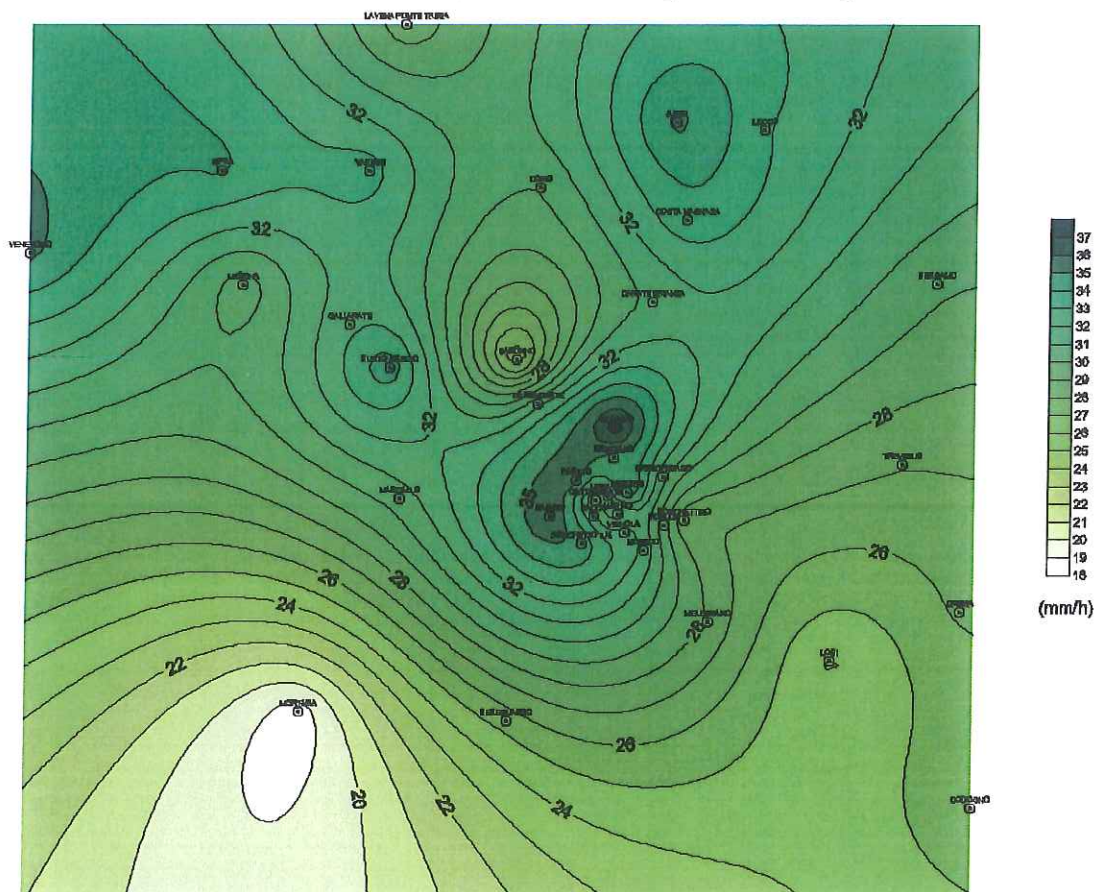


ALLEGATO 1-C CURVE DI ISOVALORE DEI PARAMETRI A_T E N

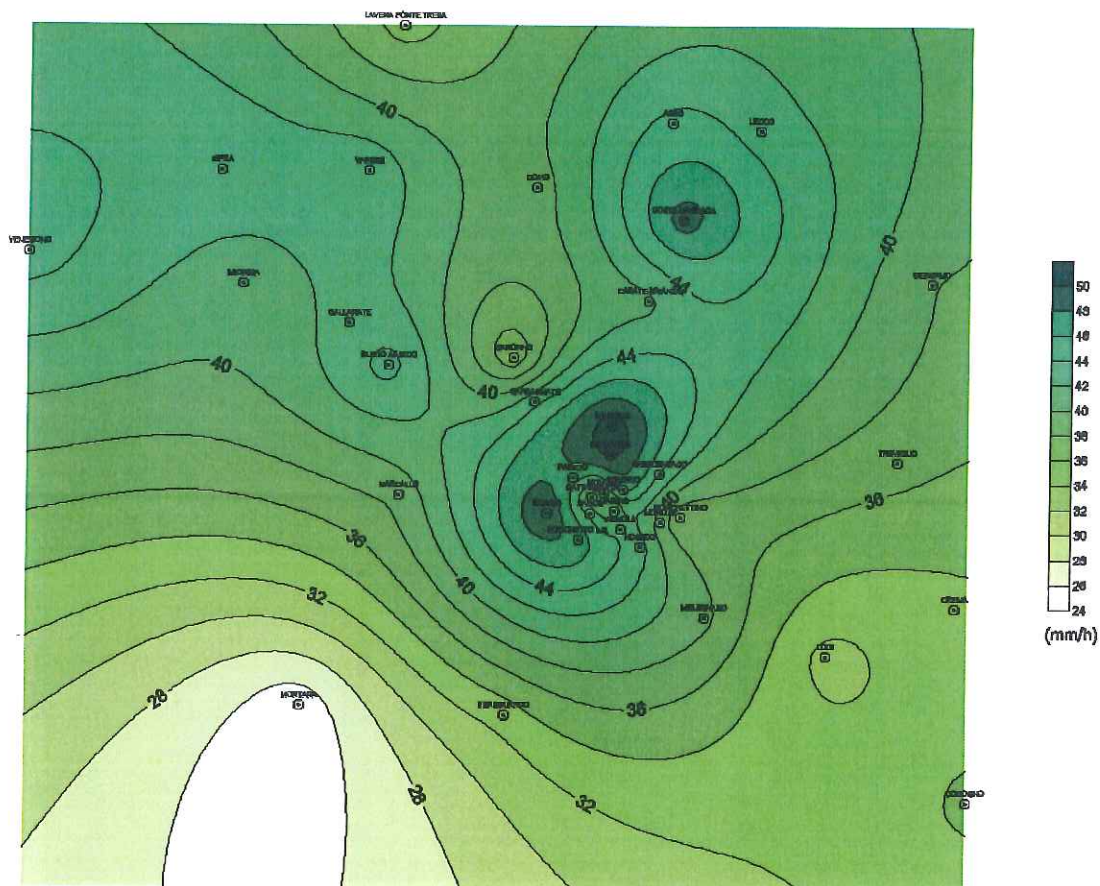
Curve di Isovalore del parametro n



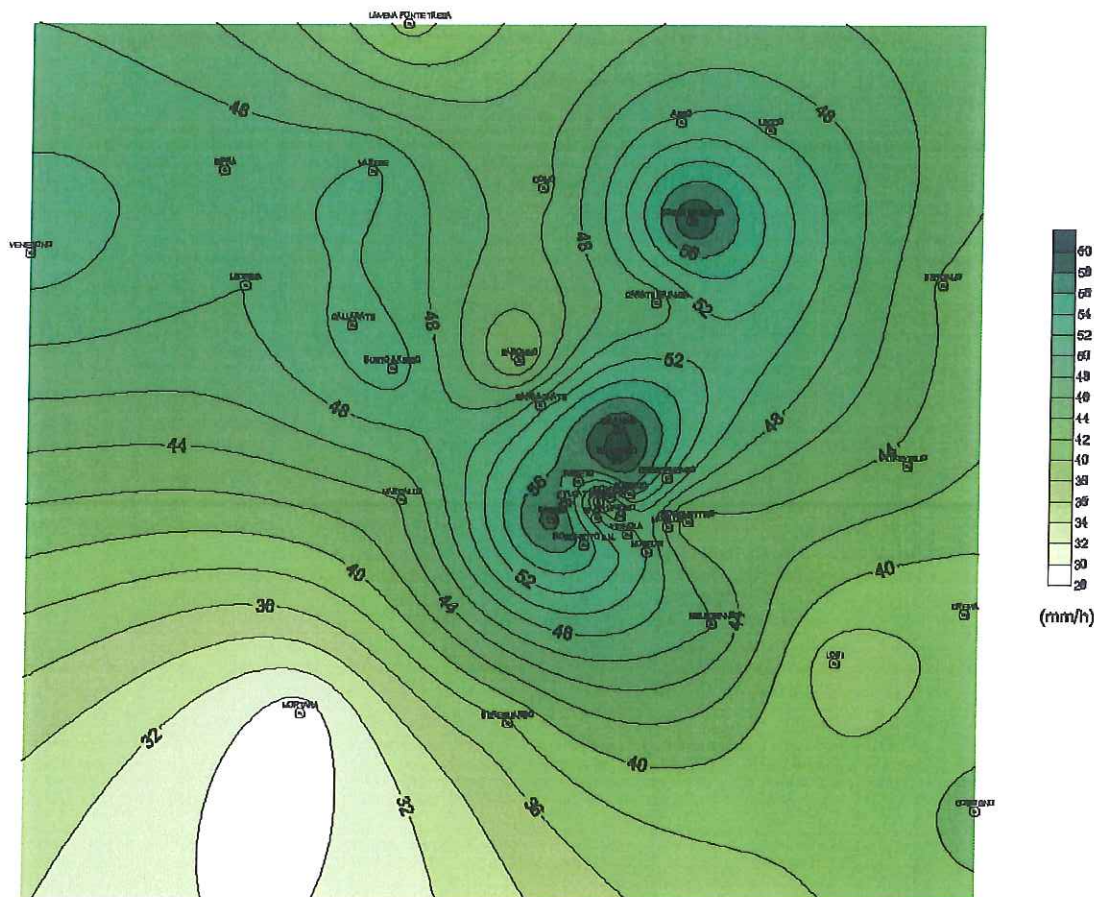
Curve di isovalore del parametro a ($T_r = 2$ anni)



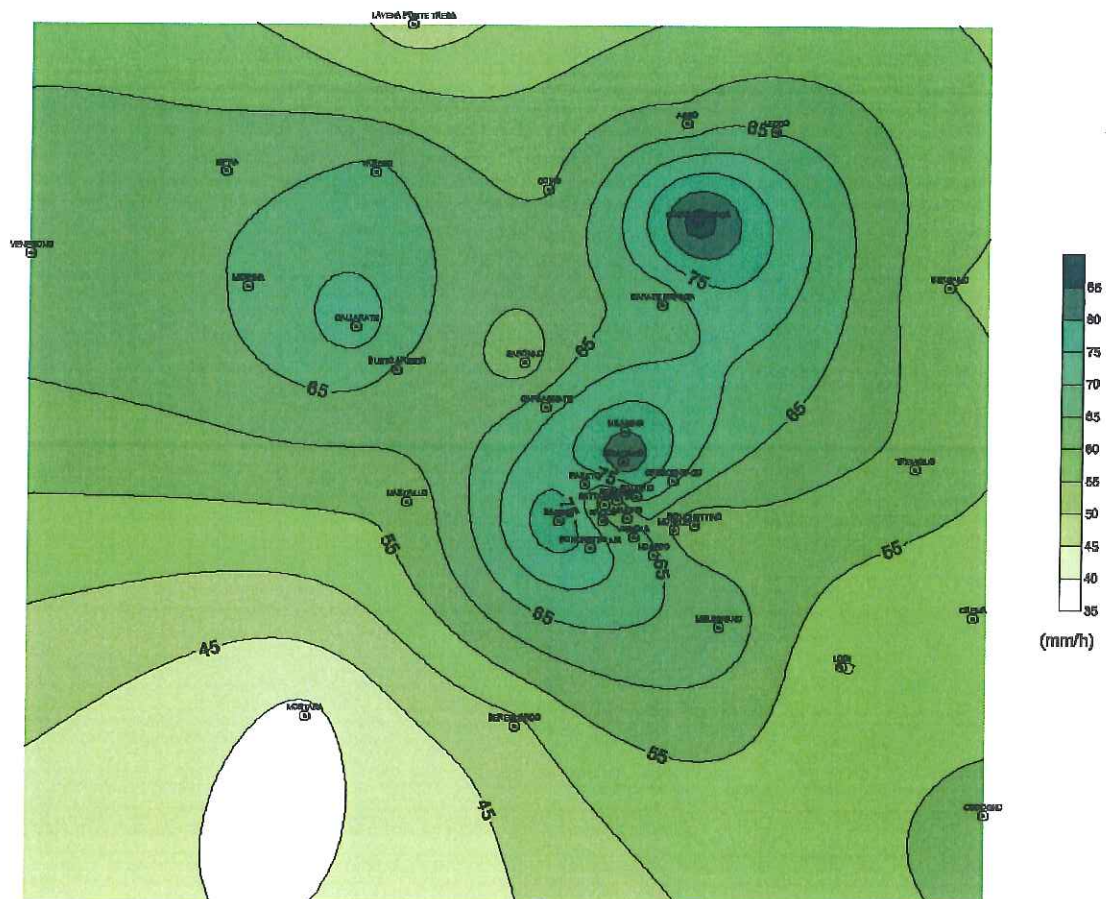
Curve di Isovalore del parametro a ($Tr = 5$ anni)



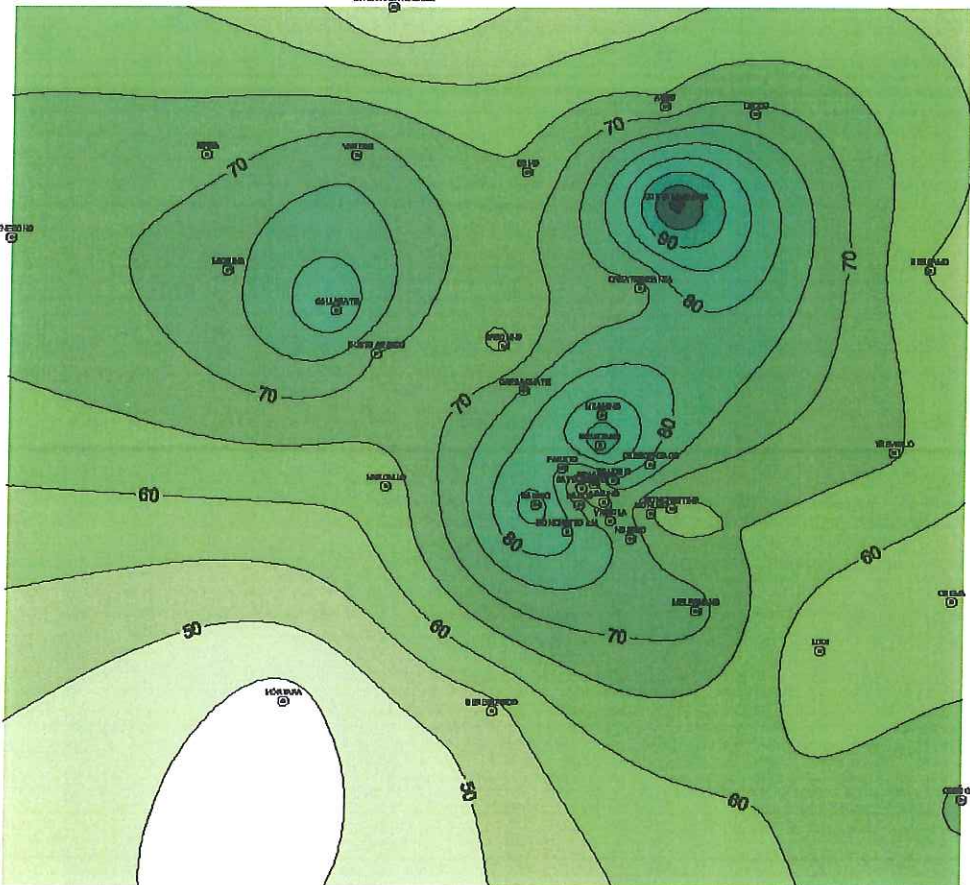
Curve di isovalore del parametro a ($T_r = 10$ anni)



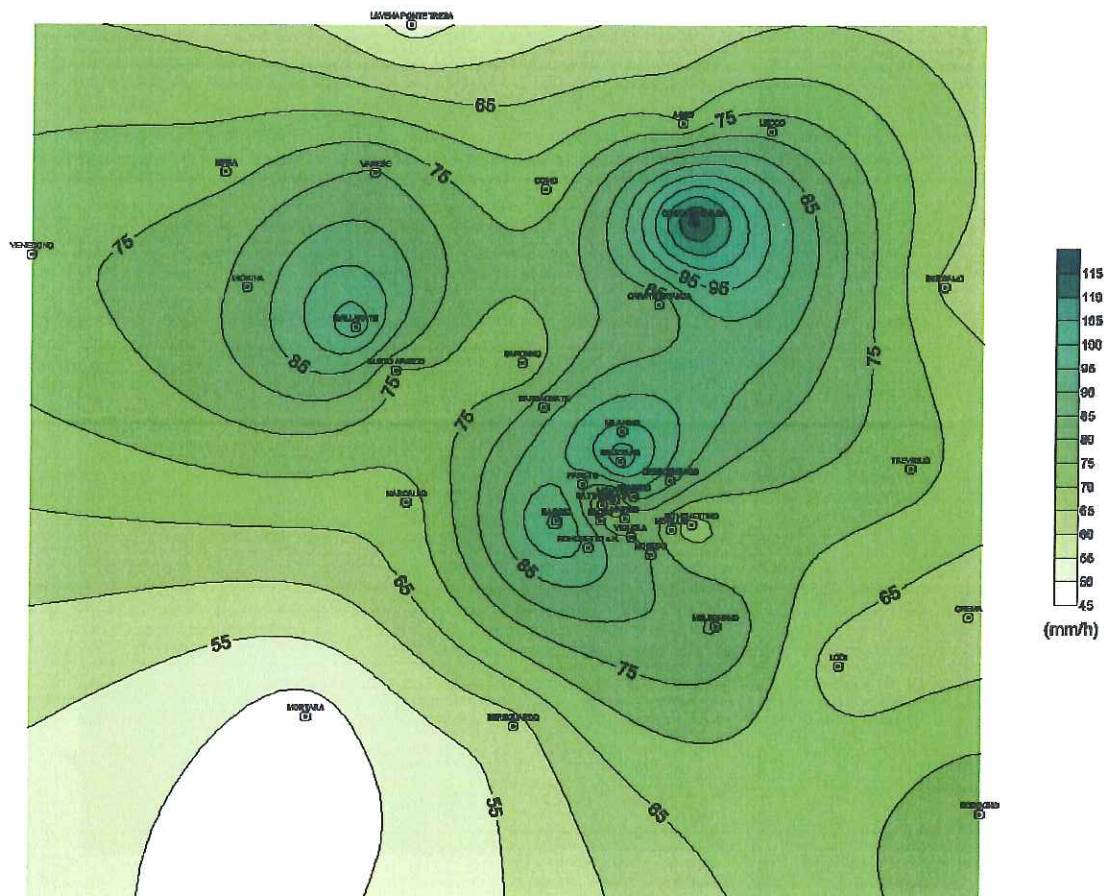
Curve di isovalore del parametro a ($Tr = 50$ anni)



Curve di isovalore del parametro a ($T_r = 100$ anni)



Curve di isovalore del parametro a ($T_r=200$ anni)



Curve di Isovalore del parametro a ($T_r = 500$ anni)

