

Michele Cattaneo, Ugo Maione, Paolo Mignosa, Massimo Tomirotti*

L'EVENTO DI PIENA DELL'OTTOBRE 2000 SUL BACINO DEL TICINO**

Sommario

Nella memoria viene analizzato dal punto di vista idrologico-statistico il recente evento di piena sul bacino del Ticino, caratterizzando dal punto di vista del tempo di ritorno le massime portate di colmo registrate durante l'evento nel Toce e nel Ticino emissario e i massimi livelli raggiunti dal Lago Maggiore.

Viene quindi simulata mediante modellazione matematica la propagazione della piena nel Ticino emissario indagando anche le ripercussioni che avrebbe avuto sui livelli di piena del lago e sulle portate nel Ticino la modifica, prospettata da più parti per attenuare i danni dell'esondazione lacuale, consistente nell'aumento della capacità di deflusso dell'incile.

Viene infine valutato l'effetto che l'incremento di portata nel Ticino emissario avrebbe provocato sui livelli idrometrici a Pavia confrontando i risultati ottenuti dal modello numerico nella situazione attuale ed in quella modificata.

1. INTRODUZIONE

I recenti eventi alluvionali che hanno interessato il Piemonte e la Valle d'Aosta si sono manifestati con notevole intensità sul bacino del Ticino, soprattutto nella valle del Toce. Come diretta conseguenza degli abbondanti afflussi, il Lago Maggiore ha raggiunto, nelle prime ore del 17 ottobre, il massimo livello registrato in questo secolo, superando di 35 cm il precedente massimo verificatosi durante l'evento dell'ottobre 1993.

La nota analizza, alla luce dei dati a tutt'oggi disponibili, questo evento, fornendone un inquadramento idrologico-statistico. Viene anche analizzata la propagazione della piena nel Ticino emissario e descritti gli effetti che un aumento della capacità di deflusso dell'incile, prospettata da più parti per attenuare i danni dell'esondazione lacuale, avrebbe avuto sui livelli del Verbano e sulle portate nel Ticino, con particolare riferimento alla situazione di Pavia.

2. ANALISI PLUVIOMETRICA

Nella porzione piemontese del bacino del Lago Maggiore (Fig. 1) le piogge, iniziate nella giornata del 12 ottobre, hanno acquistato maggiore intensità il giorno successivo. Nella giornata del 13 ottobre la direzione meridionale delle correnti si è mantenuta costante e si è verificato un rialzo dello zero termico, da 2900 a 3400 m s.l.m. sul Piemonte settentrionale (Regione Piemonte, 2000); sull'Ossola si sono registrate intensità orarie medie di 15-20 mm/ora con punte localizzate superiori ai 40 mm/ora a Lago Paioni e a Varzo.

L'evento si è quindi prolungato con precipitazioni discontinue

ed intensità variabili fino al 16 ottobre. Ad aggravare la situazione ha contribuito la permanenza della quota dello zero termico su valori piuttosto elevati, legata alla presenza di correnti meridionali nei bassi strati.

Complessivamente, le precipitazioni più intense hanno interessato i settori alpini e prealpini del Piemonte settentrionale e occidentale tra il Verbano-Cusio-Ossola e la Valle Po ed in misura minore la restante parte della regione Piemonte. Nell'Ossola occidentale (bacino del Toce) si sono registrati valori cumulati della precipitazione tra i massimi registrati nell'evento con le stazioni di Bognanco-Pizzanco (740 mm), Antrona Alpe Cheggio (632 mm), Varzo San Domenico (610 mm) (Tab. I).

L'andamento delle precipitazioni alla fine dell'evento è stato caratterizzato, nei settori di quota più elevata, da un forte calo dello zero termico (fino ai 1900 m s.l.m., secondo la relazione elaborata dalla Regione Piemonte).

Nei bacini del Ticino immissario, di Maggia e Tresa il periodo di precipitazioni continue, o comunque frequenti, ha avuto inizio mercoledì 11 ed è durato fino a lunedì 16. Le regioni con le precipitazioni più abbondanti sono risultate l'alta Valle Maggia, l'alta Val Formazza e le valli meridionali del Sempione. In particolare, le piogge si sono rivelate particolarmente intense nella zona di Robiei (dove si è raggiunto il valore massimo della altezza di precipitazione cumulata con una quantità di 569 mm sull'intero periodo), in alta Val Bedretto (425 mm totali al pluviografo di Bedretto) e nella zona di Camedo (469 mm) (Tab. II).

Valori nel complesso più ridotti si sono osservati a Locarno e Magadino, con un'altezza cumulata di circa 300 mm, e nel

* Michele Cattaneo, ingegnere; Ugo Maione, professore ordinario; Massimo Tomirotti, dottore di ricerca - Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento del Politecnico di Milano. Paolo Mignosa, professore straordinario, Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Parma.

** Ricerca svolta con il patrocinio del Consorzio del Ticino, nell'ambito del progetto Interreg II "Ottimizzazione della regolazione del Verbano finalizzata alla riduzione dei danni alluvionali e alla valorizzazione delle risorse ambientali".

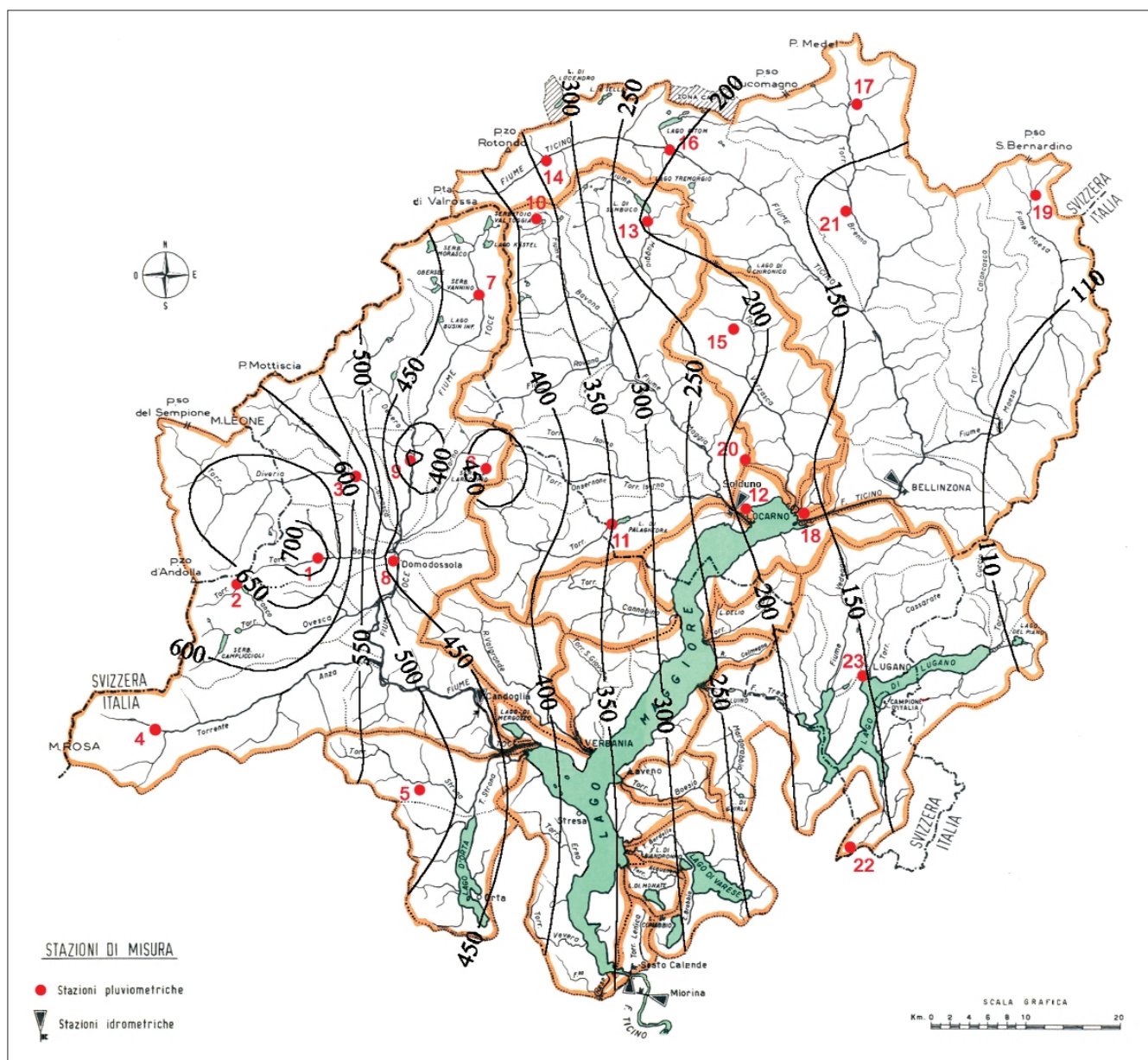


Figura 1 - Bacino del Ticino e isoiete relative ai giorni 13-16 ottobre 2000.

TABELLA I – Altezze di precipitazione giornaliera osservate nelle stazioni pluviometriche del bacino del Toce (Regione Piemonte, 2000)

N.	Stazione	H (mm)				
		13 ott.	14 ott.	15 ott.	16 ott.	Totale
1	Bognanco-Pizzanco	339.0	210.6	148.2	42.2	740.0
2	Antrona-Alpe Cheggio	232.0	225.0	145.4	29.8	632.2
3	Varzo-San Domenico	269.4	173.0	127.6	40.6	610.6
4	Macugnaga-Pecetto	153.0	182.0	179.2	44.0	558.2
5	Valstrona-Sambughetto	121.6	99.0	191.6	125.2	537.4
6	Montecrestese-Lago di Larecchio	131.6	135.2	151.0	85.0	502.8
7	Fornazza-Bruggi	143.0	129.8	130.4	29.6	432.8
8	Domodossola-Nosere	118.4	91.6	158.4	44.0	412.4
9	Crodo-Istituto Agrario	81.6	68.0	133.4	40.8	323.8

bacino del Fiume Tresa. Le intensità orarie sono risultate variabili da 10 a 20 mm/ora, con il massimo a Camedo, valori ben al di sotto delle massime intensità registrate in eventi passati (IST, 2000). Analogamente a quanto riscontrato nelle aree montane piemontesi, lo zero termico – inizialmente attorno a 2000 m s.l.m. – è salito fin verso 3000 m s.l.m., per scendere nuovamente verso i 2000 m s.l.m. nella notte tra il 15 e il 16 ottobre (IST, 2000).

TABELLA II – Altezze di precipitazione giornaliere osservate nelle stazioni pluviometriche dei bacini del Ticino immissario, di Maggia e Tresa (IST, 2000)

N.	Bacino	Stazione	H (mm)							
			10 ott.	11 ott.	12 ott.	13 ott.	14 ott.	15 ott.	16 ott.	Totale
10	Maggia	Robiei	26.9	53.7	100.3	131.9	100.5	91.9	64.0	569.2
11		Camedo	9.5	59.6	48.1	128.9	51.5	81.8	89.8	469.2
12		Locarno Monti	12.3	60.2	41.6	45.9	39.3	59.6	44.5	303.4
13	Ticino	Fusio	15.5	40.8	50.3	63.5	43.5	44.1	36.6	294.3
14		Bedretto	7.8	21.6	62.6	125.5	106.4	69.8	31.3	425.0
15		Frasco	11.9	46.8	51.2	81.7	40.6	50.1	61.8	344.1
16		Piotta	7.6	33.8	54.1	75.4	48.5	41.0	38.7	299.1
17		Luzzone	22.1	44.4	53.7	57.3	25.9	39.4	53.3	296.1
18		Magadino	8.5	68.6	63.8	55.5	32.6	2.1	—	281.1
19		S. Bernardino	18.9	58.6	71.6	48.7	27.2	23.1	29.7	277.8
20		Cimetta	14.6	45.8	43.4	41.8	29.3	57.3	43.9	276.1
21		Comprovasco	3.2	38.6	38.6	62.5	25.6	22.0	21.6	212.1
22	Tresa	Stabio	10.0	42.7	32.9	19.7	25.4	74.6	43.8	249.1
23		Lugano	18.5	53.1	27.2	30.7	16.9	74.9	29.6	230.9

3. ANALISI IDROMETRICA

Nella Fig. 2 sono riportati i livelli idrometrici registrati durante l'evento alla stazione di Sesto Calende. Essi possono considerarsi rappresentativi dei livelli del Verbano, anche se in condizioni di piena le differenze tra le misure effettuate ai limnografi posti direttamente nel Lago ed all'idrometro di Sesto Calende raggiungono i 20-25 cm (Citrini, 1973; Maione e Mignosa, 1995), a causa dell'acquisto di altezza cinetica della corrente ed alle perdite di carico nel primo tratto fluviale (circa 2.7 km)². Il livello ha iniziato ad innalzarsi apprezzabilmente a partire dal giorno 29 settembre 2000. Nella stessa giornata, essendosi superata la quota di +1.00 m sopra lo zero dell'idrometro (corrispondente al limite superiore di ritenuta attiva concesso in questo periodo dell'anno) il Consorzio del Ticino ha provveduto ad aprire progressivamente le 120 portine che costituiscono l'opera di regolazione della Miorina, lasciando che da quel momento la piena evolvesse in maniera naturale. Questa intumescenza ha raggiunto quota +2.19 m nelle prime ore del 2 ottobre, per poi decrescere nei giorni successivi fino a ritornare a quota +1.04 m nella mattina del giorno 11 ottobre. Da questo momento il livello ha cominciato nuovamente a crescere in maniera costante e sensibile (fino a 5 cm/ora) raggiungendo alle ore 1:00 a.m. del 17 ottobre il valore di +4.62 m, massimo assoluto registrato in questo secolo, superando così di 35 cm il precedente massimo di +4.27 m registrato alle ore 0.00 del 15 ottobre 1993. Successivamente il livello idrometrico ha preso a diminuire con regolarità (1-2 cm/ora) fino a tornare a quota +1.20 m nella giornata del 30 ottobre. Durante la piena gli idrometri registratori collocati poco a monte ed a valle della traversa di regolazione della Miorina (Miorina monte e Miorina valle) hanno cessato di funzionare con regolarità in corrispondenza di una quota idrica pari (all'incirca) a 195.75 m s.l.m. e rispettivamente a 195.35 m s.l.m, a seguito del raggiungimento del fine-corsa del galleggiante.

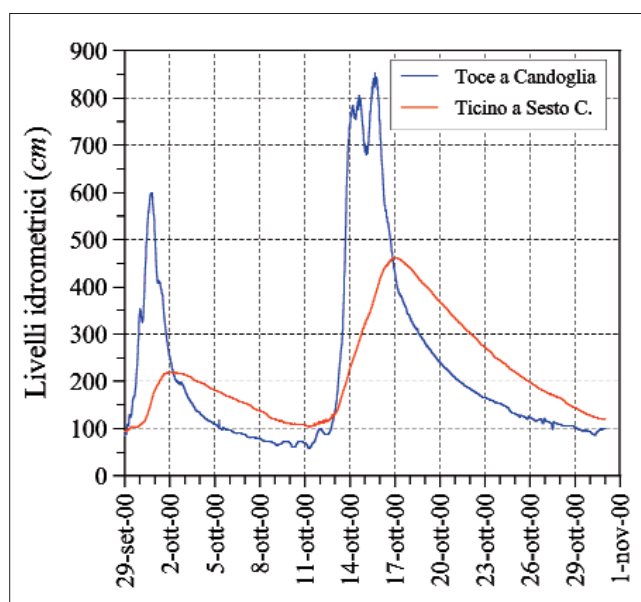


Figura 2 - Livelli idrometrici registrati a Candoglia (fiume Toce) ed a Sesto Calende (fiume Ticino).

Nella Fig. 2 è anche riportato il livello idrometrico registrato, nello stesso periodo, alla stazione di Candoglia, sul fiume Toce, gestita dal Consorzio del Ticino. Il livello idrometrico ha iniziato ad innalzarsi dal 29 settembre, raggiungendo un primo colmo di +6.00 m alle ore 18:00 del 30. Ad esso ha fatto seguito una fase di esaurimento protrattasi fino all'11 ottobre che ha riportato il livello idrometrico a valori ordinari (+0.60 m). Dal pomeriggio del 12 ottobre il livello ha cominciato nuovamente a crescere in maniera costante e sensibile, con incrementi massimi di 60 cm/ora (dalle 17:00 alle 18:00 del 13/10) fino a raggiungere un primo colmo di +7.84 m alle ore 4:30 del 14 ottobre. Nella stessa giornata,

² Altri fenomeni, quali sesse od intumescenze locali in vicinanza delle immissioni dei principali corsi d'acqua, possono alterare le registrazioni effettuate alle varie stazioni lacustri, soprattutto in condizioni di piena.

dopo un modesto calo, si raggiungeva alle ore 14:30 quota +8.06 m. Nella serata del 14/10 e nelle prime ore del 15/10 si registrava un secondo, più consistente, calo (+6.82 alle ore 4:00 a.m. del 15/10) a cui faceva seguito un nuovo incremento che portava il livello idrometrico al massimo assoluto di +8.52 m alle ore 16:00 del 15/10; tale valore è 20 cm al di sotto del massimo raggiunto nell'evento del settembre-ottobre 1993 (+8.72 m alle ore 21:00 del 24/9/93). Successivamente il livello idrico ha preso a diminuire con regolarità, con decrementi massimi di 25-30 cm/ora, fino a tornare al di sotto di quota +1.20 m nella giornata del 29 ottobre.

Dal confronto tra le due sequenze temporali si deduce, anche se solo in maniera qualitativa, come l'evento di piena sul lago sia stato notevolmente influenzato dagli afflussi provenienti dal fiume Toce. Ciò è confermato anche dagli apporti non eccezionali provenienti al lago dagli altri principali immissari: le portate massime registrate sulla Maggia a Solduno e sul Ticino immissario a Bellinzona non hanno infatti superato rispettivamente 1100 m³/s e 800 m³/s (la portata di allarme è pari a 1000 m³/s per entrambe i corsi d'acqua). A titolo di confronto durante l'evento del 1993 la Maggia ha fatto registrare numerosi picchi con portate massime di poco inferiori ai 2000 m³/s ed il Ticino immissario ha superato il valore di 1000 m³/s (Ambrosetti et al, 1994; I-ST, 2000).

Nei giorni 17, 20 e 25 ottobre sono state effettuate, a cura del Consorzio del Ticino, tre misure di portata sul Ticino emissario in corrispondenza della sezione del ponte stradale-ferroviario sulla S.S.33. La teleferica del SIMN di Golasecca, ove vengono normalmente effettuate le misure, non era infatti accessibile a causa della sommersione della strada di accesso, mentre in corrispondenza della traversa della Miorina le elevate velocità della corrente (circa 3 m/s) rendevano difficoltoso il mantenimento in posizione del mulinello.

Nella Fig. 3 sono riportate le scale di deflusso del Ticino a Sesto Calende (quota dello zero idrometrico 193.016 m s.l.m.) in condizioni di deflusso libero, quando cioè le portine della traversa della Miorina sono completamente abbattute. Le scale sono state ottenute mediante modellazione numerica (Maione e Mignosa, 1995) del tratto di alveo compreso tra il lago e la sezione in corrispondenza della traversa fluviale di Porto della Torre (di proprietà dell'ENEL), per una lunghezza totale di circa 11.1 km. Il modello si basa sulla descrizione geometrica di 57 sezioni trasversali rilevate nel 1990 per conto della Sezione Economia delle Acque di Bellinzona (UFEA, 1994a, 1994b) ed è stato tarato sfruttando le misure di portata effettuate durante gli eventi di piena del 1991 e 1993. Per livelli idrometrici bassi (fino approssimativamente a 195 m s.l.m., corrispondenti a circa 2 m sopra lo zero dell'idrometro di Sesto Calende) la portata risulta influenzata dalla quota di ritenuta della traversa fluviale di Porto della Torre, che generalmente è mantenuta costante al valore di 191.35 o 192.50 m s.l.m.. Le misure di portata effettuate durante la piena sono in ottimo accordo con le scale ottenute dal modello, e ne confermano la validità fino a valori di portata di 3000 m³/s, a cui può essere attribuito, come si mostrerà più avanti, un tempo di ritorno più che secolare.

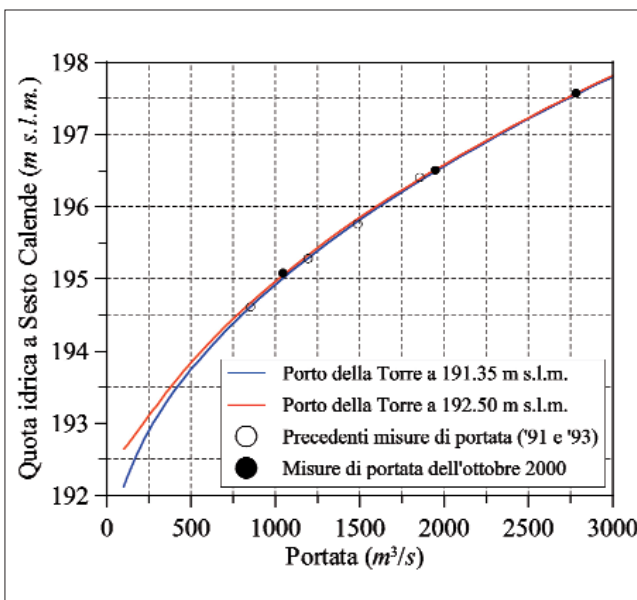


Figura 3 - Scale di deflusso attuali del fiume Ticino a Sesto Calende.

Le portate uscenti dal lago potrebbero pertanto dedursi immediatamente dalla conversione dei livelli idrometrici registrati mediante una delle due scale riportate in Fig. 3. Infatti, sebbene esse siano state ottenute attraverso una serie di simulazioni in condizioni di moto permanente, si è già mostrato in più occasioni (Maione e Mignosa, 1995) come la gradualità delle onde di piena uscenti dal lago conduca a capi di piena assolutamente inapprezzabili. Ciononostante, poiché durante la fase iniziale e finale della piena il livello di ritenuta alla traversa E-NEL di Porto della Torre non è stato mantenuto costante, si è preferito dedurre le portate uscenti direttamente mediante l'applicazione del modello numerico.

La Fig. 4 riporta l'andamento delle portate in uscita dal lago così dedotte, assieme ai valori ottenuti dalle misure effettuate durante la piena. La portata al colmo risulta pari a 2844 m³/s; il volume transitato nell'intervallo di tempo compreso nel periodo 12÷30 ottobre assomma a 2398·10⁶ m³, mentre quello compreso tra l'inizio del ramo di risalita e l'istante di colmo è pari a 673·10⁶ m³. Essendo la superficie del bacino sotteso dalla se-



Traversa di regolazione della Miorina sul Ticino, Golasecca (Varese).

zione dell'incile del Lago Maggiore pari a 6600 km², il volume totale di deflusso equivale dunque ad una altezza totale di precipitazione netta ragguagliata pari a 363 mm.

Nella stessa Fig. 4 è riportato l'andamento temporale delle portate complessive di afflusso al lago, dedotte dall'applicazione dell'equazione di continuità a partire dai livelli idrometrici registrati a Sesto Calende³ e dalla stima delle portate defluenti nel Ticino emissario. Questa informazione è utile sia per effettuare analisi comparate con altri eventi di piena e valutare l'effetto di laminazione del lago, sia per dedurre l'influenza sui livelli idrometrici nel lago e sulle portate nel Ticino emissario provocata da prospettate modifiche strutturali all'incile tese ad aumentarne la capacità di deflusso (Campi et al., 1998). Nel giorno 14 e nella mattina del 15 ottobre le portate affluite al lago si sono mantenute costantemente intorno ai 4000 m³/s, superando i 5000 m³/s nella sera del 15 (valore massimo circa 5300 m³/s intorno alle 21:00 del 15/10). Dai due andamenti risulta evidente l'importante effetto di laminazione esercitato dal lago che ha invasato circa 750·10⁶ m³, riducendo la portata dal valore massimo in ingresso di circa 5300 m³/s al valore massimo in uscita di 2844 m³/s.

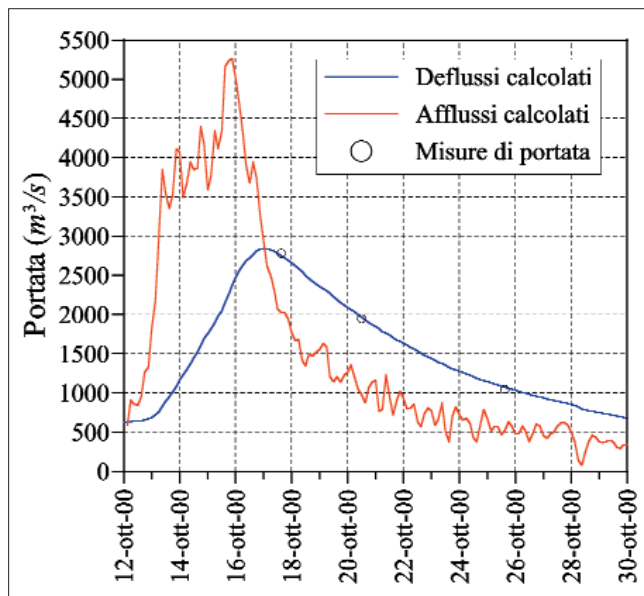


Figura 4 - Portate in ingresso ed in uscita dal lago Maggiore.

Nella Fig. 5 sono confrontati gli andamenti delle quote idriche registrate (nel periodo in cui l'idrometro ha funzionato) ed ottenute dalla simulazione nella sezione dell'idrometro di Miorina Monte e l'andamento ricostruito in corrispondenza della sezione iniziale del tratto modellato, che può ritenersi coincidente con le quote nel lago. La ricostruzione in corrispondenza dell'idrometro di Miorina Monte è più che soddisfacente, sovrapponendosi quasi perfettamente all'andamento registrato. Rispetto alle quote registrate all'idrometro di Sesto Calende il sovrizzo nel lago raggiunge, in corrispondenza del colmo, i 27 cm. Nei giorni 19, 20 e 25 ottobre sono state effettuate, su incarico del Consorzio del Ticino, tre misure di portata sul Toce in corrispondenza della sezione del ponte stradale della S.S.34, in prossimità della sezione di Candoglia. I valori ottenuti sono riportati in Tab. III.

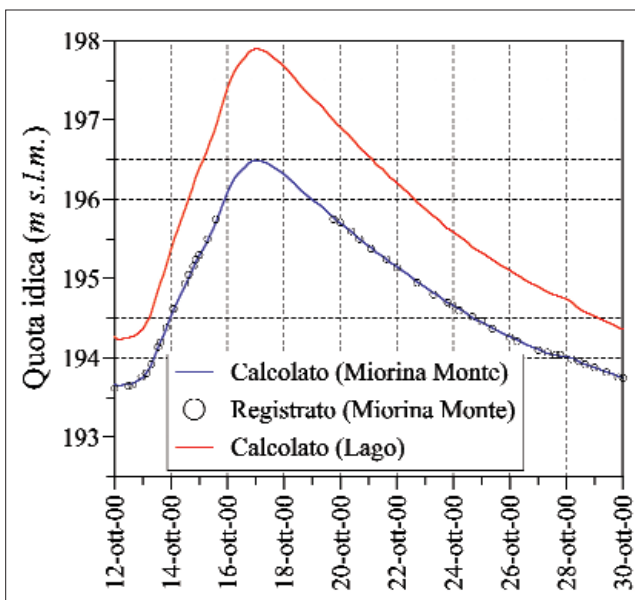


Figura 5 - Andamenti delle portate calcolati e registrati.

TABELLA III - Valori ottenuti dalle misure di portata sul Fiume Toce

Data	ora	Livello idrometrico medio (m)	Portata (m ³ /s)
19/10/2000	10:00+12:00	2.73	405
20/10/2000	14:00+16:00	2.29	343
25/10/2000	10:00+12:00	1.47	171

La concordanza tra la scala di deflusso e le misure è complessivamente soddisfacente, anche se rimangono notevoli incertezze nell'estrapolazione della scala a livelli così elevati come quelli registrati durante l'evento in oggetto. Le portate ottenute dalla conversione dei livelli idrometrici sono riportate Fig. 6. Il valore di colmo stimato (ore 16:00 del 15/10) è pari a 2460 m³/s.

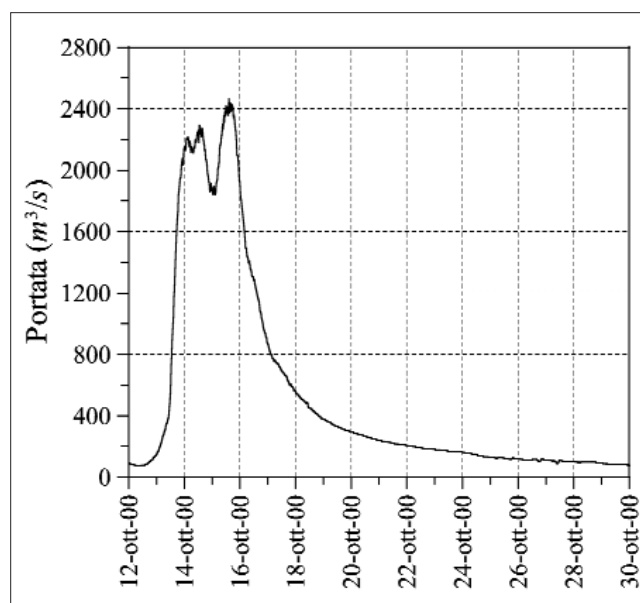


Figura 6 - Onda di piena del fiume Toce a Candoglia.

³ Nella determinazione delle portate di afflusso si è tenuto conto della scala di espansione lacuale e dei sovrizzi tra le misure a Sesto Calende e le reali quote idrometriche nel lago.

4. ANALISI STATISTICA

Per valutare il tempo di ritorno degli eventi di piena che hanno interessato il Lago Maggiore e il Ticino emissario sono state analizzate statisticamente le serie storiche dei valori massimi annui delle portate al colmo di piena del Toce a Candoglia, dei livelli del Lago Maggiore rilevati alle ore 8 all'idrometro di Sesto Calende e delle portate al colmo di piena alla sezione di Sesto Calende.

A tali campioni di osservazioni sono state adattate alcune tra le funzioni di probabilità più utilizzate nelle valutazioni idrologiche di questo tipo: la distribuzione di Gumbel, la distribuzione lognormale e la GEV, stimando i parametri con il metodo dei momenti nei primi due casi e con il metodo dei momenti pesati in probabilità nell'ultimo.

La serie dei massimi annuali delle portate al colmo del Fiume Toce a Candoglia, ottenuta completando quella desunta dalle pubblicazioni del SIMN con i dati reperiti direttamente presso la sezione di Milano dell'Ufficio Idrografico del Po e con quelli forniti dal Consorzio del Ticino relativamente al periodo 1989-2000, si riferisce complessivamente ad un periodo di osservazione di 58 anni: 1933-1970, 1977-1984, 1989-2000.

I risultati dell'analisi statistica della serie storica sono mostrati nel diagramma probabilistico di Fig. 7, in cui la scala dei tempi di ritorno è quella corrispondente alla variabile ridotta della distribuzione di Gumbel. Dal grafico si vede come le distribuzioni considerate, che nel campo dei valori osservati presentano modesti scostamenti l'una dall'altra, forniscono per l'evento del 2000 tempi di ritorno non molto dissimili tra loro: 37 anni e 35 anni rispettivamente la distribuzione di Gumbel e la GEV, che presentano un grado di adattamento ai dati sostanzialmente equivalente, e 33 anni la lognormale, che sulla base dei test presenta un grado di adattamento inferiore rispetto alle altre due distribuzioni. Dal test di significatività per il segno del parametro di forma della GEV, assai prossimo allo zero, risulta preferibile l'adozione della distribuzione di Gumbel.

L'analisi statistica dei massimi livelli del lago è stata effettuata sulla base dei massimi annui dei livelli idrici giornalieri rilevati alle ore 8 all'idrometro di Sesto Calende, avendo verificato che le deviazioni dai valori massimi annuali determinati sulla base dei dati a scansione oraria acquisiti in telemisura dal Consorzio

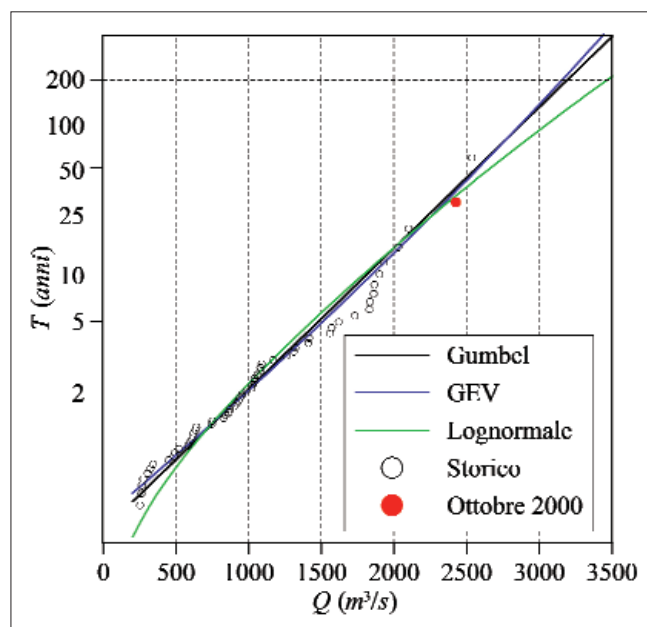


Figura 7 - Risultati dell'analisi statistica delle portate al colmo massime annue del Fiume Toce a Candoglia.

del Ticino a partire dal 1989 risultavano del tutto trascurabili ai fini dell'analisi (come era del resto da attendersi, considerata la scala temporale di variabilità dei livelli del lago).

Al fine di ottenere un campione il più possibile omogeneo si sono considerati solo gli anni posteriori al 1943, anno di entrata in funzione dello sbarramento della Miorina, sebbene numerosi studi abbiano dimostrato come l'influenza della regolazione sui massimi livelli del lago durante le piene significative risulti modesta.

I risultati dell'analisi statistica sono mostrati nel diagramma probabilistico di Fig. 8; come si vede, in corrispondenza dei valori osservati più grandi lo scostamento tra la GEV e le altre due funzioni di probabilità diviene apprezzabile. Il tempo di ritorno attribuibile al massimo livello relativo all'evento dell'ottobre 2000 varia così tra i 73 e 81 anni ottenuti rispettivamente dalla distribuzione di Gumbel e dalla distribuzione lognormale e i 53 anni stimati sulla base della GEV. Il test eseguito a partire dal valore stimato per il parametro di forma della GEV (non significativamente negativo) suggerisce però anche in tal caso l'adozione della distribuzione di Gumbel; essa presenta poi un grado di adattamento ai dati maggiore rispetto alla distribuzione lognormale.

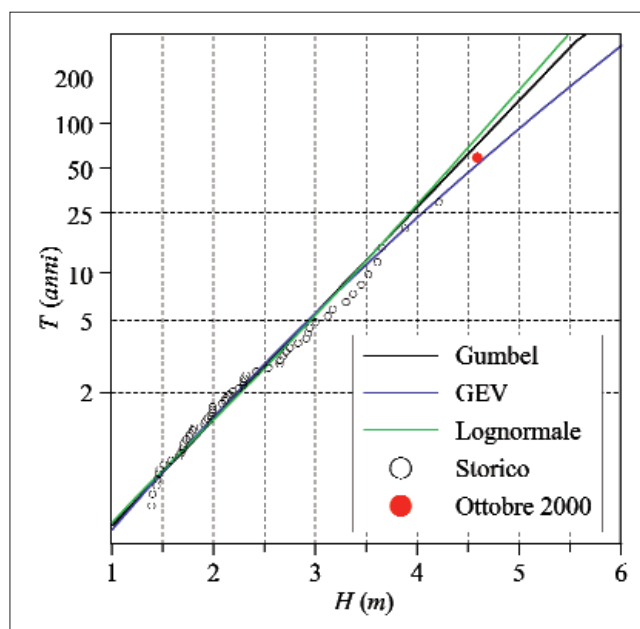


Figura 8 - Risultati dell'analisi statistica dei massimi livelli giornalieri massimi annui rilevati all'idrometro di Sesto Calende.

L'analisi statistica delle portate al colmo di piena in uscita dal lago è stata effettuata sulla base della serie storica dei valori massimi annui delle portate al colmo registrate alla sezione di Sesto Calende. Per le stesse ragioni esposte in riferimento ai massimi livelli del lago, sono stati considerati solo gli anni posteriori al 1943. I risultati dell'analisi statistica sono mostrati nel diagramma probabilistico di Fig. 9. Come si vede, mentre la distribuzione di Gumbel e quella lognormale forniscono risultati praticamente coincidenti, la distribuzione GEV presenta sensibili scostamenti dalle precedenti per i valori più elevati della variabile. Segue da ciò che i tempi di ritorno forniti dalle prime due distribuzioni, 150 e 145 anni rispettivamente, risultano sensibilmente diversi rispetto a quello proveniente dalla GEV, pari a 70 anni. Il test eseguito sul parametro di forma della GEV, negativo e sensibilmente minore (a parità di dimensione del campione) rispetto ai casi precedenti, giustifica l'adozione della

distribuzione GEV in luogo della distribuzione di Gumbel; la GEV presenta poi un grado di adattamento ai dati apprezzabilmente maggiore rispetto alle altre due distribuzioni. Il tempo di ritorno corrispondente risulta in accordo con quello stimato per il massimo livello del lago sulla base della distribuzione di Gumbel.

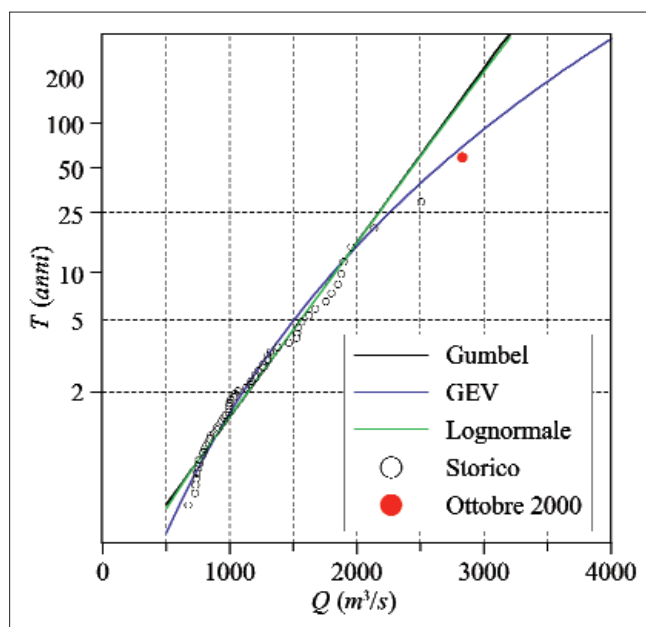


Figura 9 - Risultati dell'analisi statistica delle portate al colmo massime annue del Ticino a Sesto Calende.

Si noti che i tempi di ritorno attribuiti dalle distribuzioni considerate nell'analisi al massimo livello del lago e al corrispondente colmo di portata in uscita risultano diversi, come del resto era da attendersi, considerata la non linearità del legame esistente tra le due grandezze (legame che oltretutto risulta variabile nell'arco del periodo coperto dalla serie storica utilizzata). Va altresì osservato che, qualunque sia la distribuzione di probabilità utilizzata, ad incrementi anche rilevanti del tempo di ritorno nel campo dei valori elevati corrispondono variazioni più contenute della variabile; ad esempio, nel caso di Fig. 9 passando da 50 a 100 anni le variazioni dei quantili della variabile di interesse non superano il 16%.

5. PROPAGAZIONE DELLA PIENA NEL TICINO EMISSARIO E ANALISI DEGLI EFFETTI INDOTTI DA UN'EVENTUALE MODIFICA DELL'INCILE

A seguito delle piena del 1993, che ha provocato ingenti danni alle popolazioni ed alle attività rivierasche sia in Italia che in Svizzera, quantificabili in circa 400 miliardi di lire (Pervanger, 1993), è cresciuta l'attenzione da parte di studiosi ed autorità pubbliche circa la possibilità di modificare, con opportuni interventi strutturali, i livelli di piena del Verbano (Campi et al., 1998). Queste problematiche, di interesse transnazionale per la presenza di una cospicua parte del lago e del bacino del Ticino in territorio elvetico, fanno parte di un più vasto progetto INTERREG II, tuttora in corso, dal titolo "Ottimizzazione della regolazione del Verbano finalizzata alla riduzione dei danni alluvionali e alla valorizzazione delle risorse ambientali" di cui il Consorzio del Ticino è il principale contraente ed al quale collaborano per parte italiana il Politecnico

di Milano (D.I.I.A.R. e D.E.I.), l'Enel Ricerca e Terr.A. e per parte elvetica l'Istituto di Scienza della Terra (IST) di Cadenazzo.

Le modifiche strutturali proposte sono principalmente volte alla realizzazione di un consistente aumento della capacità di deflusso dell'incile, ottenibile con diverse modalità: dragaggio di un tratto dell'alveo, abbassamento della traversa, apertura di un canale sussidiario in sponda destra, realizzazione di una bypass in galleria. Rientrano in questa logica le proposte avanzate da parte della Delegazione Svizzera per la Regolazione del Lago Maggiore (U.F.E.A., 1993, 1994a, 1994b). Tra esse la più praticabile dal punto di vista economico e tecnico e contemporaneamente la più utile dal punto di vista idraulico è rappresentata dal dragaggio dell'alveo, sia a monte che a valle della traversa, per un'estensione di circa 4.8 km e con l'asportazione di circa 700000 m³ di materiale. Infatti la sezione in cui è collocata la traversa, pur rappresentando l'effettivo incile del lago, non costituisce una reale sezione di controllo, in quanto la corrente si mantiene ovunque lenta per qualsiasi stato idrometrico; il solo abbassamento della traversa non garantirebbe quindi l'aumento di capacità di deflusso desiderato. Attraverso una serie di simulazioni numeriche si è invece mostrato che il dragaggio consentirebbe un incremento di portata valutabile in 550 m³/s, per un livello idrometrico di +2.80 m a Sesto Calende.

Questo prospettato aumento della capacità di deflusso dell'incile, se da un lato consente un abbassamento dei livelli di piena del Verbano, dall'altro induce un aumento delle portate massime nel Ticino le cui conseguenze devono essere attentamente valutate. A questo scopo è stato allestito presso il Politecnico di Milano un modello matematico dell'intera asta del fiume per mezzo del quale è possibile simulare gli effetti della propagazione delle piene storiche e di quelle che si verificerebbero qualora l'incile venisse modificato (Cattaneo, 2000). Dal lago fino allo sbarramento di Porto della Torre il modello si appoggia al già citato rilievo effettuato nel 1990 per conto della Sezione di Economia delle Acque di Bellinzona; per il restante tratto, fino alla confluenza nel fiume Po in corrispondenza del ponte della Becca, il modello si basa sul rilievo di 129 sezioni trasversali effettuato nel 1997 per conto del Consorzio Parco Lombardo della valle del Ticino in collaborazione con l'Università di Pavia. Le sezioni sono poi state estese lateralmente, sulla base della cartografia Regionale, fino a comprendere l'intero alveo di piena e le aree golenali.

La Fig. 10 riporta il confronto tra gli andamenti dei livelli idrometrici calcolati con il modello ed osservati durante la piena in corrispondenza del Ponte coperto di Pavia. L'accordo, molto buono, è solo in parte indotto dalla vicinanza della condizione al contorno imposta a valle, corrispondente alla quota idrometrica registrata alla sezione del Ponte della Becca; infatti il modello interpreta correttamente anche i dislivelli, riportati nella stessa Fig. 10, tra la sezione del Ponte coperto e la Becca.



Borgo Ticino (Pavia). Piena ottobre 2000.

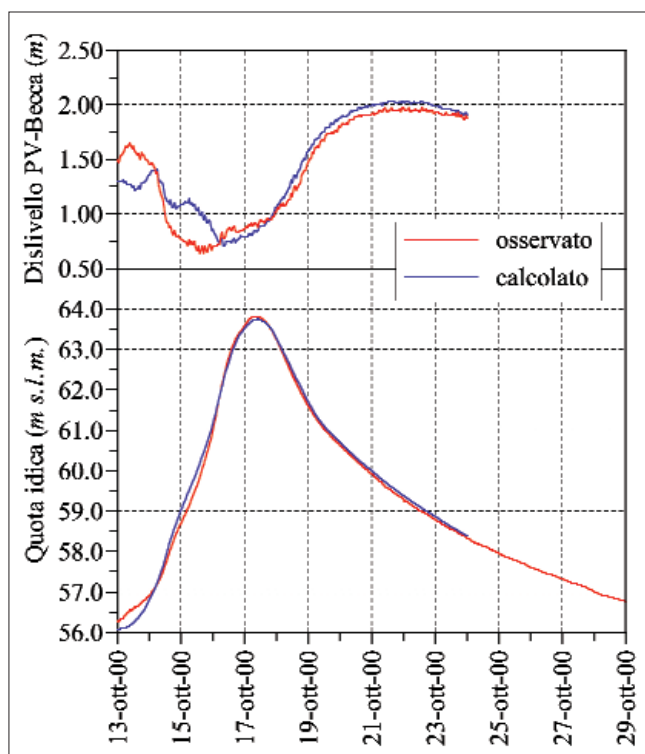


Figura 10 - Andamenti idrometrici osservati e calcolati al Ponte Coperto di Pavia.

Sulla base delle portate di afflusso al lago si sono poi determinati gli andamenti dei livelli lacuali e delle portate nel Ticino emissario nell'ipotesi che l'incile fosse stato modificato. La Fig. 11 mostra i confronti tra i livelli idrometrici e le portate registrati a Sesto Calende e quelli che si sarebbero verificati a seguito dei prospettati dragaggi⁴. Rispetto alla situazione attuale la quota idrica massima nel lago si sarebbe ridotta di 55 cm, a fronte di un aumento delle portate massime uscenti di 235 m³/s.

La Fig. 12 riporta l'andamento idrometrico al ponte coperto di Pavia simulato nelle due situazioni di di incile attuale e modificato⁵, assieme agli incrementi rispetto alla situazione attuale. Come si può notare gli incrementi, consistenti durante la prima fase di risalita della piena, decrescono progressivamente fino a raggiungere, in corrispondenza del colmo valori intorno a 10÷20 cm. Durante la fase di esaurimento poi i

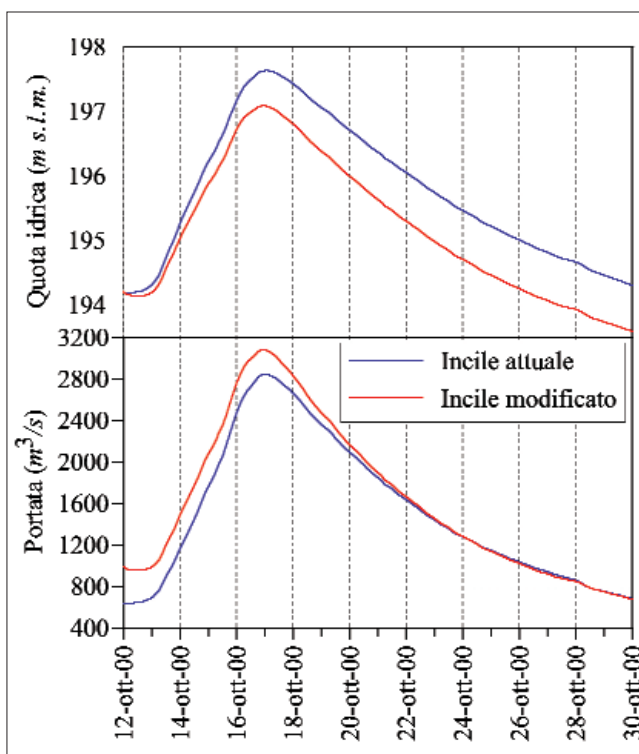


Figura 11 - Portate ed andamenti idrometrici a Sesto Calende nell'attuale situazione dell'incile e nell'ipotesi di aumento della capacità di deflusso mediante dragaggio.

due idrogrammi sono praticamente coincidenti, così come le onde di piena che li hanno generati. Ciò conferma che le situazioni critiche a Pavia sono principalmente indotte dagli alti livelli idrometrici del Po in corrispondenza della confluenza.



Ponte Coperto sul Ticino a Pavia. Piena ottobre 2000.

⁴ Si è ipotizzato che il livello iniziale nel lago fosse il medesimo.

⁵ Anche per la situazione di incile modificato si è adottato, quale condizione al contorno di valle, l'andamento idrometrico registrato al ponte della Becca durante la piena dell'ottobre 2000. In effetti in questo caso l'aumento di portate provenienti in Po dal Ticino indurrebbe un aumento dei livelli idrometrici in corrispondenza della confluenza. Si è ritenuto, in questa fase, di poter trascurare tale sovrizzo, considerando il modesto aumento percentuale della portata complessiva defluente in Po (circa 3%).

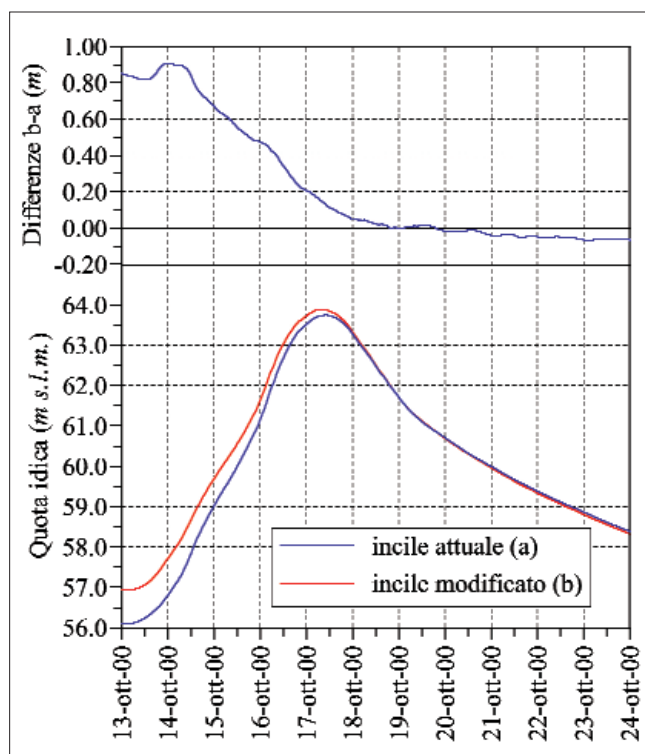


Figura 12 - Andamenti idrometrici al Ponte Coperto di Pavia nell'attuale situazione dell'incile e nell'ipotesi di aumento della capacità di deflusso mediante dragaggio.

6. CONCLUSIONI

Nella nota si è analizzato, dal punto di vista idrologico-statistico, il recente evento di piena sul bacino del Ticino. Dalle valu-

tazioni è risultato che il tempo di ritorno attribuibile in termini di portata al colmo all'evento sul bacino del Toce (che rispetto agli altri corsi d'acqua immissari ha dato il contributo principale alla piena del Lago Maggiore) è di poco inferiore ai 40 anni; il massimo livello raggiunto dal lago e la portata al colmo nel Ticino emissario sono invece caratterizzabili da un tempo di ritorno dell'ordine dei 70 anni. Sebbene i principali immissari, ad eccezione del Toce, non siano stati interessati da eventi di tempo di ritorno particolarmente alto in termini di portate di colmo, il perdurare di afflussi comunque elevati ha provocato una piena del lago di tempo di ritorno sensibilmente superiore. Si sono poi indagate le ripercussioni che avrebbe avuto sui livelli di piena del Verbano e sulle portate nel Ticino la modifica dell'incile consistente nel dragaggio dell'alveo del primo tratto dell'emissario, in modo da ottenere una nuova scala delle portate che presenti un incremento della capacità di deflusso dell'ordine di 550 m³/s quando il livello idrico è pari a +2.80 m sullo zero di Sesto Calende. I risultati ottenuti indicano che, rispetto alla situazione attuale, la quota idrica massima nel lago si sarebbe ridotta di 55 cm, a fronte di un aumento delle portate massime uscenti di 235 m³/s.

Si è infine valutato l'effetto che tale incremento di portata avrebbe provocato sui livelli idrometrici a Pavia, confrontando i risultati ottenuti mediante modello numerico nella situazione attuale ed in quella modificata. Gli incrementi del livello di colmo a Pavia sono contenuti in 10÷20 cm, confermando come le situazioni critiche siano principalmente provocate dagli alti livelli idrometrici del Po in corrispondenza della confluenza.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori ringraziano per la collaborazione il Direttore signora Doriana Bellani ed il personale del Consorzio del Ticino, l'Istituto di Scienza della Terra di Cadenazzo, la Regione Lombardia, il Parco del Ticino e la Provincia di Pavia.

BIBLIOGRAFIA

- Ambrosetti W., Barbanti, L., De Bernardi, R., Libera, V., Rolla, A., *La piena del Lago Maggiore nell'autunno 1993: un evento di portata secolare*, Verbania Pallanza, CNR, Documenta dell'Istituto Italiano di Idrobiologia n°45, 1994.
- Campi G., Maione U., Mignosa P., *Conseguenze di una modifica dell'incile del Lago Maggiore sui livelli lacuali e sulle portate del Ticino emissario*, L'Acqua, N.6, 1998.
- Cattaneo M., *Le piene del fiume Ticino in relazione a modifiche dell'incile del Lago Maggiore*, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, 2000.
- Citrini D., *Le piene del Lago Maggiore e del Ticino emissario nel primo trentennio di regolazione*, Milano, Pubbl. n°14 del Consorzio del Ticino, 1973.
- Citrini D., Cozzo, G., *Influenza delle modalità di regolazione del Lago Maggiore nei riguardi delle portate erogabili e dei livelli di piena*, Milano, Pubbl. n°16 del Consorzio del Ticino, 1982.
- De Marchi G., *Sistemazione dello sbocco del Lago Maggiore: ricerca sperimentale su modello eseguita dall'Istituto di Idraulica del R. Politecnico di Milano*, Milano, Pubbl. n°1 del Consorzio del Ticino, 1940.
- De Marchi G., *Ripercussioni della regolazione del Lago Maggiore sulle piene del Lago e su quelle del Ticino a Sesto Calende*, Milano, Pubbl. n°4 del Consorzio del Ticino, 1950.
- Istituto di Scienza della Terra: *L'alluvione del 12-17 ottobre 2000 in Ticino*, Cadenazzo, ottobre 2000.
- Maione U., Mignosa P., *Il funzionamento idraulico dell'incile del Lago Maggiore: modello matematico dal Lago allo sbarramento di Porto della Torre e ricostruzione delle piene dell'autunno 1991 e 1993*, Milano, Pubbl. n°19 del Consorzio del Ticino, 1995.
- Marchetti M., *Sistemazione dell'alveo del fiume Ticino al Dosso dei Murazzi*, Milano, Pubbl. n°8 del Consorzio del Ticino, 1963.
- Marchetti M., Raffa U., *Le portate dell'incile del Lago Maggiore in regime libero prima e dopo la sistemazione del suo alveo*, Milano, Pubbl. n°11 del Consorzio del Ticino, 1965.
- Pervanger C., *Presentazione piena settembre-ottobre 1993*, Istituto geologico ed idrologico cantonale, 1993.
- Ufficio Federale dell'Economia delle Acque, *Studio di fattibilità per un incremento di deflusso del fiume Ticino a Sesto Calende: Relazione Tecnica*, Bellinzona, Studio d'Ingegneria G. Anastasi, 1993.
- Ufficio Federale dell'Economia delle Acque, *Considerazioni preliminari per un aumento di deflusso di 600 m³/s*, Berna, UFEA, 1994a.
- Ufficio Federale dell'Economia delle Acque, *Studio di fattibilità per un incremento di deflusso del fiume Ticino a Sesto Calende: Simulazione della piena dell'autunno 1993*, Bellinzona, Studio d'Ingegneria G. Anastasi, 1994b.
- Verbale della Conferenza dei Delegati tecnici italiani e svizzeri per l'esame del progetto della sistemazione del Lago Maggiore*, Milano, 1938.
- Verbale della Riunione delle Delegazioni italiana e svizzera*, Berna, 1941.
- Verbale della Riunione delle Delegazioni italiana e svizzera*, Basilea, 1943.
- Zampaglione D., *Cinquanta anni di regolazione: note, informazioni ed elaborazioni idrologiche*, Milano, Pubbl. n°18 del Consorzio del Ticino, 1993.



Traversa del Pamperduto sul Ticino. Somma Lombarda (Varese). Piena ottobre 2000.