

CONSORZIO DEL TICINO
MILANO

Prof. Ing. Ugo Maione
Prof. Ing. Paolo Mignosa

**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

Pubblicazione n. 19

Milano, giugno 1995



**CONSORZIO DEL TICINO
MILANO**

Prof. Ing. Ugo Maione
Prof. Ing. Paolo Mignosa

**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

Pubblicazione n. 19

Milano, giugno 1995

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.

1. Introduzione

I deflussi del Ticino all'incile del Lago Maggiore sono, da oltre un cinquantennio, regolati mediante lo sbarramento mobile della Miorina, gestito dal Consorzio del Ticino. Il disciplinare di concessione consente l'esercizio della regolazione entro una fascia di livelli lacuali compresa tra -0.50 m e +1.00 m riferita allo zero dell'idrometro di Sesto Calende, con un incremento del limite superiore a +1.50 nel periodo invernale (dal 1° novembre al 15 marzo). Numerose ed articolate sono state le proposte di modifica dell'attuale regola di gestione, o della capacità di deflusso dell'incile, elaborate negli anni da più parti, con differenti obiettivi: ridurre i sovralti lacuali in condizioni di piena [8], ottimizzare l'invaso in modo da ridurre le fallanze nel periodo irriguo [3], non aggravare le portate di piena nel Ticino emissario, ecc. Queste problematiche, di interesse internazionale per la presenza di una cospicua parte del lago e del bacino del Ticino in territorio elvetico, sono ancora oggetto di discussione e di studio. Ad ampliare i possibili scenari si aggiungono oggi le possibilità offerte dalla previsione e gestione delle piene in tempo reale che offrono una concreta alternativa a regole stagionali rigide, quali sono sempre state quelle fin qui seguite o proposte.

Il Consorzio del Ticino, sensibile a queste istanze che da più parti provengono, ha deciso di intraprendere una serie di studi tendenti ad analizzare eventuali regole di gestione alternative, valutare la fattibilità e l'opportunità di un incremento della capacità di deflusso dell'incile, verificare l'efficacia di una previsione di piena in tempo reale, ecc.

Preliminare allo sviluppo di questi temi è la conoscenza più precisa possibile delle condizioni di deflusso attuali attraverso lo sbarramento della Miorina, sia in condizioni di regime libero che di regolazione. Scopo del presente lavoro è appunto quello di fornire, anche attraverso l'analisi delle piene dell'autunno del 1991 e del 1993 (massima piena di questo secolo), indicazioni sull'attuale funzionamento dell'incile del Lago. Per questo si è proceduto alla costruzione e taratura di un modello matematico di moto vario del tratto del Ticino compreso tra il lago allo sbarramento di Porto della Torre, utilizzando anche i recenti rilievi effettuati della Sezione Economia delle acque di Bellinzona.

Nei paragrafi che seguono sono espone le metodologie utilizzate per la taratura del modello, i risultati della simulazione delle piene anzidette, la ricostruzione delle scale di deflusso in alcune sezioni significative del tratto fluviale.

2. Rilievo delle sezioni dal Lago allo sbarramento di Porto della Torre

Dopo i lavori di sistemazione al Dosso dei Murazzi, terminati nella primavera del 1963, l'unico rilievo recente che copra l'intero tratto del fiume Ticino, dal lago a Porto della Torre, è quello eseguito nel maggio 1990 per conto della Sezione Economia delle acque di Bellinzona [8]. Nel rilievo in oggetto furono materializzate, mediante picchetti sulle due sponde, 57 sezioni trasversali le cui tracce sono riportate nella figura 1. Le sezioni furono poi rilevate, nel tratto sommerso, mediante ecogrammi e completate, nel tratto emerso, da un rilievo topografico. Il posizionamento in quota fu effettuato mediante livellazione di precisione dei paletti di riferimento situati in sponda sinistra.

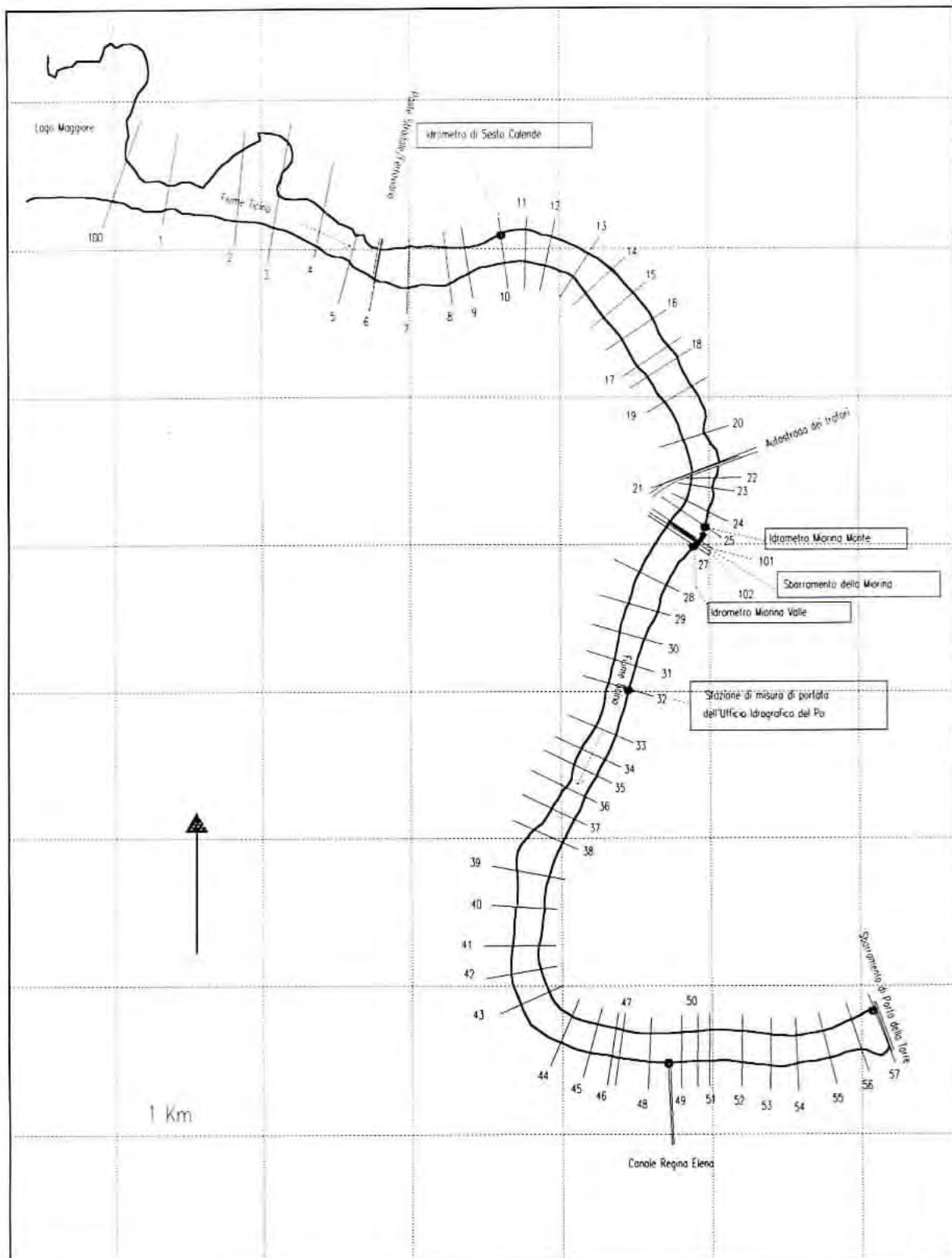


Fig.1. Planimetria del tratto in studio con le tracce delle sezioni rilevate per conto della Sezione Economia delle acque di Bellinzona [8].

Nella Relazione Tecnica [8] sono riportati gli ecogrammi originali rilevati, mentre mancano i rilievi delle parti emerse. Non essendo possibile disporre dei rilievi originali nella loro completezza, si è fatto ricorso ai profili delle 57 sezioni trasversali riportati negli Annessi 3÷5 della Relazione Tecnica [8], ottenuti dagli Autori interpolando, con sufficiente dettaglio, i rilievi delle parti immerse ed emerse. Tali sezioni sono state digitalizzate di nuovo, con un'approssimazione stimata dell'ordine di ± 5 cm nelle quote e di ± 1 m nelle distanze. Il punto più depresso di ogni sezione, riportato nei profili e facilmente leggibile sugli ecogrammi, è stato poi corretto manualmente.

Per la sezione di imposta dello sbarramento della Miorina si è tenuto conto dello spessore delle 3 pile in alveo e della presenza dello scudo protettivo per i lavori in alveo, la cui larghezza è equivalente a quella di 5 portine Chanoine (circa 8 metri).

Per la determinazione delle progressive di ogni sezione, si è, ancora una volta, fatto ricorso ai dati riportati nella Relazione [8], riferiti ad un'ascissa curvilinea misurata lungo l'asse del fiume a partire dalla Sezione 100 (prima sezione rilevata allo sbocco del lago). E' appena il caso di segnalare che, data la forte curvatura planimetrica di questo tratto di fiume, le lunghezze misurate lungo le due sponde risultano sensibilmente diverse. Le caratteristiche principali delle sezioni sono riportate nella Tab.I.

Sez. N.	Prog. (km)	Quota minima (m s.l.m.)	Note	Sez. N.	Prog. (km)	Quota minima (m s.l.m.)	Note
100	0.000	180.20		29	5.901	190.39	
1	0.351	177.09		30	6.086	188.39	
2	0.840	176.39		31	6.275	188.03	
3	1.100	180.23		32	6.432	187.08	Stazione di Golasecca
4	1.424	185.40		33	6.740	186.58	
5	1.684	182.21		34	6.913	187.82	
6	1.864	183.64		35	7.036	188.50	
7	2.074	182.10		36	7.193	184.73	
8	2.345	188.46		37	7.361	186.61	
9	2.477	183.64		38	7.578	187.44	
10	2.712	187.08	Idr. Sesto Calende	39	7.853	186.64	
11	2.878	186.18		40	8.079	186.38	
12	3.045	187.63		41	8.333	185.56	
13	3.233	189.28		42	8.515	185.40	
14	3.383	188.27		43	8.704	185.23	
15	3.584	189.87		44	8.967	183.73	
16	3.791	190.21		45	9.163	184.77	
17	4.004	189.36		46	9.307	184.86	
18	4.104	189.46		47	9.354	184.74	
19	4.316	189.09		48	9.553	183.94	
20	4.617	188.60		49	9.767	183.68	
21	4.866	186.49		50	9.874	183.36	
22	4.924	185.05		51	9.954	183.09	
23	4.989	186.57		52	10.173	181.72	
24	5.118	189.69		53	10.376	182.05	
25	5.206	189.29	Idr. Miorina Monte	54	10.553	181.97	
101	5.297	191.10	Traversa Miorina	55	10.761	180.78	
102	5.337	191.10	Traversa Miorina	56	10.974	182.81	
27	5.363	189.12	Idr. Miorina valle	57	11.164	180.82	Sbarr. di Porto Torre
28	5.692	189.79					

Tab.I. Caratteristiche principali delle sezioni.

3. Stazioni di misura dei livelli idrometrici

Nel tratto di fiume Ticino compreso tra il lago Maggiore e lo sbarramento di Porto della Torre (11.164 chilometri) sono attualmente in funzione 6 idrometri, di cui 4 registratori.

1. Idrometro registratore di Sesto Calende: è collocato in sponda sinistra in corrispondenza dell'abitato di Sesto Calende (sez.10 del rilievo effettuato in [8] alla progressiva 2.712 km a valle della sezione 100) ed è gestito dall'Ufficio Idrografico del Po. Alla scala di deflusso di questa stazione idrometrica si è sempre fatto riferimento (perlomeno in Italia) per la determinazione delle portate in uscita dal lago, sia prima dell'entrata in funzione dell'opera di regolazione della Miorina (fine 1942) che dopo, limitatamente alle situazioni di regime libero, ovvero di sbarramento completamente abbattuto. L'inizio delle letture sistematiche risale al 1829, anche se solo dal 1934 l'idrometro è stato dotato di strumento registratore.

Lo zero di questo idrometro merita qualche considerazione in quanto oggetto di numerose verifiche sia da parte italiana che svizzera. Un primo inquadramento della gestione fu effettuato nella *Conferenza dei delegati tecnici svizzeri ed italiani per l'esame del progetto di sistemazione del lago Maggiore*, tenutasi a Milano nel 1938 [9]. Con riferimento al cosiddetto orizzonte italiano di progetto, lo zero dell'idrometro di Sesto Calende era fissato a quota di 193.016 m s.l.m., mentre secondo l'I.G.M. esso era a 192.862 m s.l.m., con una differenza quindi di 15.4 cm. Secondo l'orizzonte svizzero R.P.N., lo zero dell'idrometro di Sesto Calende era a quota 192.664 m s.l.m.; la differenza tra l'orizzonte italiano di progetto e quello svizzero R.P.N. risultava quindi di 35.2 cm, mentre tra gli orizzonti nazionali I.G.M. e R.P.N. sussisteva una differenza di 19.8 cm. Un'indagine recente è stata condotta dallo studio Geoter di Verbania per conto della Sezione di Economia delle acque di Bellinzona [8], proprio allo scopo di collegare i capisaldi della livellazione I.G.M., situati a Cannobio, e quelli R.P.N., ubicati al confine di Piaggio Valmara/Madonna di Ponte; la livellazione ha individuato una differenza tra i due orizzonti (I.G.M. e R.P.N.) di 34.45 cm, molto lontano dai 19.8 cm riportati nel verbale della conferenza italo-svizzera e molto più prossimo alla differenza tra quote italiane di progetto e quote svizzere R.P.N.. Poiché a queste ultime è riferito l'idrometro di Locarno, si comprende come la questione abbia un interesse non solo speculativo. Lo studio della Sezione Economia delle acque di Bellinzona conclude che quote italiane di progetto e quote I.G.M. dovrebbero essere praticamente coincidenti. Occorre ancora ricordare che alle quote italiane di progetto sono riferiti tutti i manufatti che compongono l'opera di sbarramento della Miorina (soglia, ecc.). Nel prosieguo del presente studio si farà pertanto riferimento senz'altro alle quote italiane di progetto, secondo le quali lo zero dell'idrometro di Sesto Calende resta fissato a quota 193.016 m s.l.m..

Come è noto, la misura di livello effettuata a Sesto Calende risente sensibilmente, in condizioni di piena, dell'abbassamento del pelo libero nel tratto compreso tra il lago e la sezione in cui è collocata la stazione idrometrica. Tale abbassamento è dovuto sia alle perdite per resistenze distribuite sia all'acquisto di altezza cinetica nel tratto fluviale compreso tra il lago e la sezione dell'idrometro. Della questione se ne occupò già il Fantoli e, dopo di lui, il Citrini [2], al fine di giungere ad una corretta valutazione delle quote idriche nel lago in condizioni di piena, partendo da quelle misurate a Sesto. Delle risultanze di questi studi si darà cenno più avanti. Basta qui anticipare che il modello matematico, estendendosi ben a monte di Sesto Calende (fino a sezioni in cui la velocità è modesta anche in condizioni di piena) ha consentito di valutare, tra l'altro, i dislivelli tra le quote idriche nel lago (in vicinanza dell'imbocco) e quelle registrate all'idrometro di

Sesto Calende, al variare della portata in uscita. Ciò spiega, anche se solo in parte, le differenze di quota tra le registrazioni effettuate ai limnografi posti direttamente nel lago (Pallanza, Locarno) e quelle all'idrometro di Sesto Calende, ovviamente una volta che tutti gli idrometri siano stati riferiti allo stesso orizzonte. L'analisi contemporanea degli incrementi di livello idrico a Locarno e a Sesto Calende, effettuata in [8] per la piena del 1981, ha però messo in evidenza anche l'esistenza di non trascurabili oscillazioni di massa (sesse) nel lago, che possono contribuire a spiegare, almeno qualitativamente, le ulteriori differenze osservate tra le quote registrate ai singoli limnografi (idrometri).

2. Idrometro registratore di Miorina - monte sbarramento: è collocato in sponda sinistra, circa 100 metri a monte dello sbarramento di regolazione (in corrispondenza alla sezione N.25 del rilievo al km 5.206 dalla sezione N.100). Di proprietà dell'Ufficio Idrografico del Po, è gestito dal personale del Consorzio, che raccoglie le registrazioni e le trasmette mensilmente alla sezione di Milano. Il fondo scala di riferimento dei diagrammi è a quota 193.00 m s.l.m.
3. Idrometro registratore di Miorina - valle sbarramento: è collocato in sponda sinistra, al termine della conca di navigazione, alcune decine di metri a valle dello sbarramento di regolazione (in corrispondenza alla sezione N.27 del rilievo al km 5.363 dalla sezione N.100). Di proprietà dell'Ufficio Idrografico del Po, è gestito dal personale del Consorzio, che raccoglie le registrazioni e le trasmette mensilmente alla sezione di Milano. Il fondo scala di riferimento dei diagrammi è a quota 192.00 m s.l.m.
4. Idrometro di Golasecca. E' collocato in sponda sinistra, in corrispondenza della sezione di misura della portata, dotata di teleferica, dell'Ufficio Idrografico del Po (sezione N.32 del rilievo al km.6.432 dalla sezione N.100).
5. Idrometro alla presa del Canale Regina Elena. E' collocato in sponda destra, in corrispondenza della presa del Canale Regina Elena ed è gestito dal Consorzio di Irrigazione Est Sesia.
6. Idrometro registratore allo sbarramento di Porto della Torre. E' collocato in sponda sinistra, immediatamente a monte dello sbarramento. E' di proprietà e gestione dell'ENEL che trasmette al Consorzio, giornalmente alle ore 8:00, il valore del livello idrometrico di ritenuta.

Dei sei idrometri esistenti, assumono particolare importanza, per lo studio in oggetto, quelli di Sesto Calende, Miorina monte, Miorina valle e Porto Torre. Il primo, come si è già avuto modo di ricordare, è l'idrometro storico di riferimento per la valutazione della portata uscente dal lago in condizioni di regime libero. Il secondo ed il terzo, insieme, consentono di determinare, sempre in condizioni di sbarramento completamente abbattuto, le perdite di carico provocate dalla presenza dell'opera di regolazione, ovvero dalle pile e dallo scudo di protezione dei lavori in alveo (sempre presente). Il terzo, da solo, è poi fondamentale, una volta che se ne sia determinata la scala di deflusso, per la stima della portata in uscita dal lago anche in condizioni di regime regolato; il quarto assume il significato di condizione al contorno di valle e si mostrerà più avanti come esso influenzi in qualche misura il deflusso dal lago in condizioni di sbarramento alla Miorina totalmente abbattuto, perlomeno per non elevati valori di portata in uscita.

Conviene ricordare, a questo punto, che la portata defluente dal lago, in condizioni di regolazione, viene attualmente calcolata dal Consorzio sommando le portate erogate agli utilizzatori (Canale Villoresi, Canale Regina Elena, Canale Industriale, Roggia di Oleggio e Altre Rogge) a quella eventualmente trascinata dallo sbarramento del Pamperduto; ciascuna di queste portate viene valutata con differenti modalità, che però sfuggono ad un preciso controllo da parte del Consorzio, e viene segnalata al Consorzio dagli utilizzatori medesimi. In particolare, la traversa del Pamperduto, posta a sostegno della presa in sponda

sinistra del Canale Villoresi ed Industriale, è stata dotata di gommoni gonfiabili (con acqua) che consentono di sovralzare la quota di ritenuta, rispetto alla soglia fissa preesistente, di circa 40 cm. Tali gommoni vengono manovrati in modo da migliorare le condizioni di imbocco della presa. Sebbene ciascuno di essi non possa essere sormontato se non in posizione di totale svuotamento, le combinazioni possibili sono numerose, anche perchè la posizione in curva della presa non consente di considerare idraulicamente equivalenti situazioni geometricamente simmetriche. Inoltre, anche quando tutti i gommoni sono svuotati, la presenza dell'involucro in gomma modifica, perlomeno per bassi tiranti idrici, le condizioni di efflusso sulla traversa. Attualmente, pertanto, la stima della portata trascinata al Pamperduto è affetta da notevoli approssimazioni. Ciò nonostante è parere di chi scrive che tale misura debba continuare ad utilizzarsi, dopo una più precisa determinazione dei coefficienti di efflusso, se non altro a titolo di ulteriore controllo. La stima della portata in uscita dal lago potrebbe invece effettuarsi, una volta tarata la scala di deflusso, mediante la sola misura all'idrometro di Miorina valle, noto il livello di ritenuta a Porto Torre. Si comprende, alla luce di queste considerazioni, come tale stazione idrometrica debba considerarsi particolarmente significativa. Ma su questo argomento si ritornerà diffusamente più avanti.

Non ci sembra superfluo sottolineare che la corretta quota degli zeri dei quattro idrometri è di fondamentale importanza per lo studio che qui ci si prefigge. Infatti, ai fini della taratura del modello matematico un eventuale errore di collocazione si ripercuoterebbe sulla stima della cadente e quindi, a portata assegnata, sulla valutazione del coefficiente di scabrezza; e sebbene, per quel valore di portata utilizzato per la taratura, un errore compensi l'altro, al variare della portata la realtà ed il modello non darebbero più lo stesso risultato, se non variando il coefficiente di scabrezza con il livello idrico. In effetti, come si specificherà meglio più avanti, qualcosa di simile si verifica nel tratto compreso tra l'idrometro di Miorina valle e Porto Torre: se si tratti di un'effettiva variazione della scabrezza con il livello idrico od un errore di collocazione relativa dei due idrometri, con i dati a disposizione, è difficile dire. Una livellazione di precisione è stata in effetti effettuata, su incarico del Consorzio, nel 1990, ma essa si è limitata al tratto compreso tra l'idrometro di Sesto Calende e quello di Golasecca, posto in corrispondenza della sezione di misura della portata dell'Ufficio Idrografico. I risultati principali, assunto valido lo zero dell'idrometro di Sesto Calende, sono riportati nella tabella II. Da essi si evince che per i due idrometri di Miorina monte e Miorina valle gli errori sono contenuti entro 2.5 centimetri, mentre all'idrometro di Golasecca (non utilizzato nel presente lavoro) le quote risultano sottostimate di 5 centimetri. Sarebbe oltremodo auspicabile prolungare la livellazione di precisione fino all'idrometro di Porto Torre, eventualmente considerando anche quello posto all'imbocco del Canale Regina Elena, sull'opposta sponda, che, a detta dei responsabili del Consorzio Est Sesia, non concorda esattamente con quello di Porto Torre.

Idrometro	Lettura	Misura
Miorina Monte	194.00	194.006
Miorina Valle	195.40	195.424
Golasecca	191.36	191.410

Tab.II. Risultati della livellazione di precisione effettuata per conto del Consorzio nel 1990.

4. Stazioni di misura della portata

L'Ufficio Idrografico del Po gestisce dal 1934 una stazione di misura della portata, dotata di teleferica, alla sezione di Golasecca, situata a poco più di 1 km a valle dello sbarramento, in corrispondenza della sezione N.32 al km.6 432 del rilievo utilizzato nel presente studio.

Le misure di portata che vengono ivi effettuate hanno lo scopo di controllare ed aggiornare la scala di deflusso in regime libero all'idrometro di Sesto Calende. Ciò in virtù del fatto, del tutto evidente data la gradualità dei fenomeni di piena in uscita dal lago, che non sussistono significative differenze tra le portate contemporaneamente transitanti a Sesto e a Golasecca. Interessando la scala di deflusso a regime libero di Sesto Calende, la maggior parte di queste misure viene però effettuata in occasione di livelli idrometrici superiori alla massima quota di ritenuta attiva (1.00 metri al di sopra dello zero di Sesto) o prossimi alla minima (-0.50 m), e mancano invece quasi totalmente quelle ricadenti nell'intervallo di regolazione. Su richiesta del Presidente del Consorzio, una misura è stata effettuata dall'Ufficio Idrografico del Po il 14 febbraio 1995 in condizioni di regolazione e con quota di ritenuta allo sbarramento di Porto Torre di 192.50 m s.l.m.. Questa misura, pur non essendo utile per la definizione della scala a Sesto, ha consentito di verificare la bontà della scala di deflusso, ricostruita mediante il modello matematico, all'idrometro di Miorina valle.

E' da segnalare ancora che, in occasione della piena dell'autunno del 1991 vennero anche effettuate, a cura della Sezione Economia delle acque di Bellinzona, alcune misure di portata in corrispondenza della sezione di sbarramento della Miorina, in condizioni di totale abbattimento delle portine. Di esse si darà una descrizione dettagliata nel seguito, rimandando alla relazione [8] per ulteriori approfondimenti.

5. Descrizione degli eventi di piena dell'autunno 1991 e 1993

5.1 Piena dell'autunno 1991

Nell'ottobre 1991 si verificò una piena che, pur provocando un livello idrometrico massimo a Sesto piuttosto frequente (solo 3.00 metri al di sopra dello zero) è da ritenersi particolarmente significativa per la taratura della scala di deflusso in condizioni di regime libero. Durante la fase di esaurimento, seguente al primo colmo di livello, furono infatti effettuate quattro misure di portata, una da parte dell'Ufficio Idrografico del Po in corrispondenza della stazione di Golasecca e tre da parte della Sezione Economia delle acque di Bellinzona, in corrispondenza della sezione di sbarramento della Miorina.

Le registrazioni dei livelli idrometrici effettuate alle stazioni di Sesto Calende, Miorina (monte sbarramento) e Miorina (valle sbarramento), elaborate a partire dai diagrammi originali forniti dall'Ufficio Idrografico, sono riportate nella figura 2 e nella tabella III. L'intervallo temporale della lettura, usualmente di 6 ore, è stato ridotto a 3 ore in corrispondenza dei colmi ed ad 1 ora in corrispondenza delle manovre (a deflusso ancora regolato). Per un immediato confronto tra gli idrometri, sono state riportate le quote idriche assolute (m s.l.m.).

I livelli all'idrometro di Sesto cominciarono a crescere a partire dal giorno 26/9, impostandosi su una quota idrica preesistente molto bassa (192.82 m s.l.m., corrispondente a 0.20 m al di sotto dello zero dell'idrometro, alle ore 0.00 del 26/9); nei giorni successivi le paratoie dello sbarramento alla Miorina vennero manovrate più volte, come mostrano chiaramente i diagrammi registrati agli idrometri di Miorina Monte e Miorina Valle, in modo da invasare il lago fino a livelli prossimi a quello massimo di concessione stagionale (+1.00

m riferito allo zero di Sesto). Alle ore 10.00 del 29/9, a seguito di abbondanti afflussi al lago, il livello idrico raggiunse il massimo di concessione e le portine dello sbarramento vennero tutte completamente abbattute. I livelli a Sesto continuarono comunque a crescere, fino a raggiungere, alle ore 12.00 del 1/10 il valore massimo di 196.01 m s.l.m. (+3.00). Nei giorni successivi il livello decrebbe lentamente, fino a raggiungere un minimo relativo di 194.22 m s.l.m. (+1.20) alle ore 0.00 del 12/10, per poi crescere di nuovo e raggiungere un secondo massimo di 194.75 m s.l.m. (+1.73) alle ore 12.00 del 15/10. Successivamente il livello idrico prese a diminuire con continuità ma assai lentamente, tant'è che il giorno 21/10 era ancora ben al di sopra della quota massima di concessione. Nella figura 2 è anche riportato l'andamento temporale della quota di ritenuta allo sbarramento di Porto della Torre, ricostruito sulla base delle comunicazioni giornaliere (ore 8:00) che l'ENEL trasmette al Consorzio.

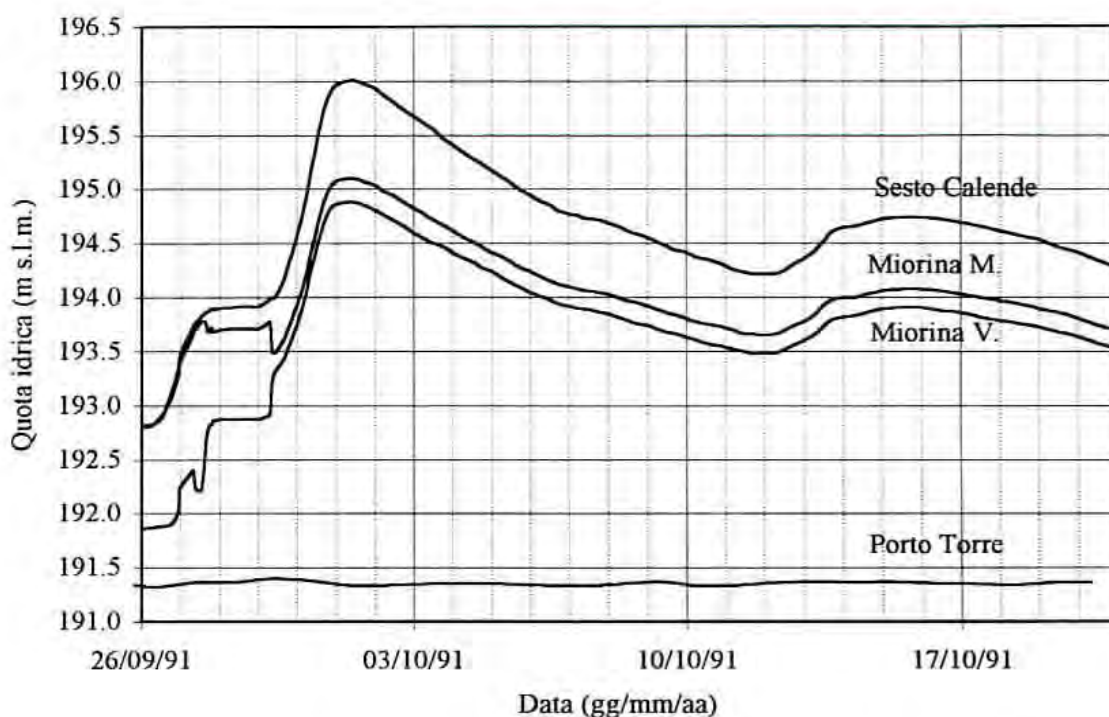


Fig.2. Piena dell'autunno 1991: registrazioni agli idrometri di Sesto Calende, Miorina monte, Miorina valle e Porto della Torre.

La tabella IV riporta i dati riassuntivi delle osservazioni di portata effettuate durante l'evento. Come si vede, le misure eseguite il giorno 2/10 da parte dell'Ufficio Idrografico del Po e dalla Sezione di Economia delle acque di Bellinzona forniscono un valore di portata praticamente coincidente, anche se il livello idrometrico registrato a Sesto differiva (a seguito del diverso orario di osservazione) di alcuni centimetri. Tali differenze rientrano comunque nell'errore legato all'approssimazione delle misure di velocità e nelle operazioni di integrazione sull'intera sezione.

Data gg/mm/aa h.hh	Tempo ore	Quote idriche (m s.l.m.)			Data gg/mm/aa h.hh	Tempo ore	Quote idriche (m s.l.m.)		
		Sesto Calende	Miorina Valle	Miorina Monte			Sesto Calende	Miorina Valle	Miorina Monte
26/09/91 0.00	0.0	192.82	191.86	192.80	04/10/91 12.00	204.0	195.29	194.33	194.52
26/09/91 6.00	6.0	192.83	191.87	192.81	04/10/91 18.00	210.0	195.24	194.28	194.47
26/09/91 12.00	12.0	192.89	191.88	192.90	05/10/91 0.00	216.0	195.18	194.24	194.42
26/09/91 18.00	18.0	193.11	191.90	193.06	05/10/91 6.00	222.0	195.12	194.19	194.38
26/09/91 22.00	22.0	193.32	192.00	193.26	05/10/91 12.00	228.0	195.07	194.14	194.33
26/09/91 23.00	23.0	193.40	192.20	193.32	05/10/91 18.00	234.0	195.00	194.10	194.28
27/09/91 0.00	24.0	193.48	192.25	193.40	06/10/91 0.00	240.0	194.95	194.05	194.24
27/09/91 6.00	30.0	193.69	192.37	193.61	06/10/91 6.00	246.0	194.90	194.01	194.20
27/09/91 8.00	32.0	193.74	192.40	193.68	06/10/91 12.00	252.0	194.86	193.98	194.16
27/09/91 9.00	33.0	193.77	192.24	193.71	06/10/91 18.00	258.0	194.80	193.94	194.12
27/09/91 12.00	36.0	193.82	192.21	193.77	07/10/91 0.00	264.0	194.78	193.92	194.10
27/09/91 13.00	37.0	193.83	192.22	193.78	07/10/91 6.00	270.0	194.76	193.90	194.08
27/09/91 14.00	38.0	193.85	192.36	193.78	07/10/91 12.00	276.0	194.73	193.89	194.06
27/09/91 15.00	39.0	193.86	192.52	193.78	07/10/91 18.00	282.0	194.72	193.87	194.05
27/09/91 16.00	40.0	193.87	192.68	193.74	08/10/91 0.00	288.0	194.69	193.85	194.03
27/09/91 17.00	41.0	193.87	192.78	193.68	08/10/91 6.00	294.0	194.66	193.82	194.00
27/09/91 18.00	42.0	193.89	192.82	193.70	08/10/91 12.00	300.0	194.62	193.79	193.97
27/09/91 19.00	43.0	193.90	192.82	193.72	08/10/91 18.00	306.0	194.59	193.76	193.95
27/09/91 20.00	44.0	193.89	192.86	193.68	09/10/91 0.00	312.0	194.56	193.74	193.92
28/09/91 0.00	48.0	193.91	192.87	193.70	09/10/91 6.00	318.0	194.52	193.71	193.89
28/09/91 6.00	54.0	193.91	192.87	193.71	09/10/91 12.00	324.0	194.48	193.68	193.86
28/09/91 12.00	60.0	193.92	192.87	193.71	09/10/91 18.00	330.0	194.44	193.66	193.84
28/09/91 18.00	66.0	193.92	192.87	193.71	10/10/91 0.00	336.0	194.42	193.63	193.81
29/09/91 0.00	72.0	193.92	192.87	193.71	10/10/91 6.00	342.0	194.38	193.61	193.78
29/09/91 6.00	78.0	193.97	192.90	193.76	10/10/91 12.00	348.0	194.36	193.58	193.76
29/09/91 7.00	79.0	193.99	192.92	193.78	10/10/91 18.00	354.0	194.33	193.56	193.74
29/09/91 8.00	80.0	194.00	193.06	193.66	11/10/91 0.00	360.0	194.30	193.54	193.72
29/09/91 9.00	81.0	193.99	193.23	193.50	11/10/91 6.00	366.0	194.26	193.52	193.69
29/09/91 10.00	82.0	194.00	193.30	193.48	11/10/91 12.00	372.0	194.24	193.50	193.66
29/09/91 12.00	84.0	194.04	193.34	193.51	11/10/91 18.00	378.0	194.22	193.48	193.66
29/09/91 15.00	87.0	194.14	193.41	193.59	12/10/91 0.00	384.0	194.22	193.48	193.65
29/09/91 18.00	90.0	194.27	193.51	193.69	12/10/91 6.00	390.0	194.22	193.48	193.66
29/09/91 21.00	93.0	194.40	193.62	193.80	12/10/91 12.00	396.0	194.25	193.52	193.69
30/09/91 0.00	96.0	194.56	193.74	193.92	12/10/91 18.00	402.0	194.31	193.56	193.74
30/09/91 3.00	99.0	194.72	193.88	194.05	13/10/91 0.00	408.0	194.36	193.60	193.78
30/09/91 6.00	102.0	194.92	194.04	194.21	13/10/91 6.00	414.0	194.42	193.65	193.83
30/09/91 9.00	105.0	195.20	194.28	194.44	13/10/91 12.00	420.0	194.52	193.73	193.92
30/09/91 12.00	108.0	195.41	194.44	194.61	13/10/91 18.00	426.0	194.62	193.80	193.98
30/09/91 15.00	111.0	195.62	194.60	194.79	14/10/91 0.00	432.0	194.65	193.82	194.00
30/09/91 18.00	114.0	195.79	194.73	194.93	14/10/91 6.00	438.0	194.66	193.83	194.00
30/09/91 21.00	117.0	195.90	194.82	195.02	14/10/91 12.00	444.0	194.68	193.85	194.02
01/10/91 0.00	120.0	195.96	194.86	195.07	15/10/91 0.00	456.0	194.73	193.90	194.06
01/10/91 6.00	126.0	196.00	194.88	195.10	15/10/91 12.00	468.0	194.75	193.91	194.08
01/10/91 12.00	132.0	196.01	194.88	195.10	16/10/91 0.00	480.0	194.75	193.91	194.08
01/10/91 18.00	138.0	195.98	194.85	195.07	16/10/91 12.00	492.0	194.73	193.88	194.06
02/10/91 0.00	144.0	195.94	194.81	195.04	17/10/91 0.00	504.0	194.70	193.86	194.03
02/10/91 6.00	150.0	195.87	194.76	194.98	17/10/91 12.00	516.0	194.66	193.82	194.00
02/10/91 12.00	156.0	195.81	194.71	194.94	18/10/91 0.00	528.0	194.62	193.79	193.97
02/10/91 18.00	162.0	195.74	194.66	194.88	18/10/91 12.00	540.0	194.58	193.76	193.94
03/10/91 0.00	168.0	195.68	194.60	194.83	19/10/91 0.00	552.0	194.54	193.73	193.90
03/10/91 6.00	174.0	195.62	194.55	194.78	19/10/91 12.00	564.0	194.47	193.68	193.86
03/10/91 12.00	180.0	195.56	194.50	194.72	20/10/91 0.00	576.0	194.42	193.64	193.81
03/10/91 18.00	186.0	195.48	194.47	194.67	20/10/91 12.00	588.0	194.35	193.58	193.75
04/10/91 0.00	192.0	195.42	194.42	194.62	21/10/91 0.00	600.0	194.28	193.53	193.70
04/10/91 6.00	198.0	195.35	194.37	194.56					

Tab.III. Piena dell'autunno 1991: Quote idriche rilevate agli idrometri di Sesto Calende, Miorina monte e Miorina valle.

Data (gg/mm/aa)	Orario (hh.mm)	Sezione di misura	Portata (m ³ /s)	Quote idriche (m s.l.m.) misurate agli idrometri		
				Sesto Calende	Miorina monte	Miorina valle
02/10/91	11:00÷12:30	Golasecca	1487	195.82÷195.80	194.95÷194.93	194.72÷194.70
02/10/91	13:30÷18:30	Miorina	1489	195.80÷195.74	194.93÷194.88	194.70÷194.66
04/10/91	10:00÷15:30	Miorina	1193	195.31÷195.26	194.53÷194.49	194.34÷194.30
08/10/91	10:00÷15:47	Miorina	852	194.63÷194.60	193.98÷193.95	193.80÷193.77

Tab.IV. Risultati riassuntivi delle misure di portata eseguite per conto dell'Ufficio Idrografico del Po e della Sezione Economia delle acque di Bellinzona.

5.2 Piena dell'autunno 1993

All'inizio dell'autunno del 1993 si verificò la piena più imponente di questo secolo: il livello all'idrometro di Sesto Calende raggiunse il valore di +4.27 metri, mantenendosi al di sopra dei 3 metri per un periodo di ben 21 giorni, dei quali 17 consecutivi.

Le registrazioni dei livelli idrometrici effettuate alle stazioni di Sesto Calende, Miorina (monte sbarramento) e Miorina (valle sbarramento) sono riportate nella figura 3 e nella tabella V. Anche in questo caso, per meglio cogliere le variazioni rapide in corrispondenza delle manovre od i colmi dell'idrogramma è stata utilizzata una scansione temporale variabile.

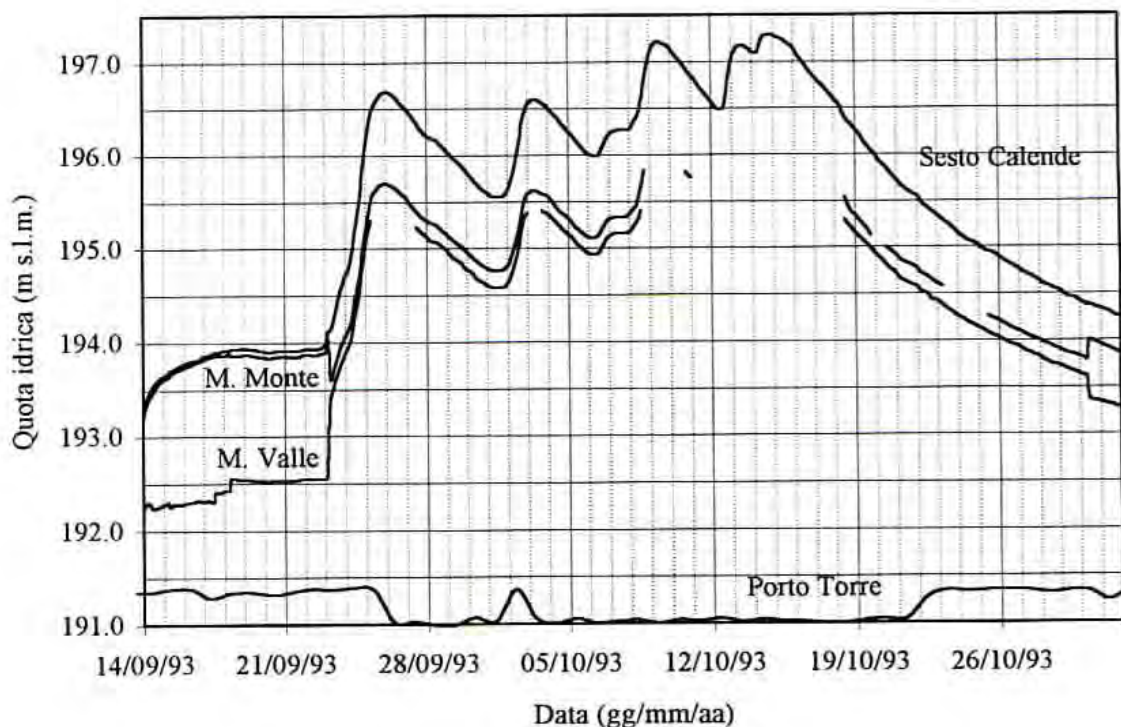


Fig.3. Piena dell'autunno 1993: registrazioni agli idrometri.

Data gg/mm/aa h.hh	Tempo ore	Quote idriche (m s.l.m.)			Data gg/mm/aa h.hh	Tempo ore	Quote idriche (m s.l.m.)		
		Sesto Calende	Miorina Valle	Miorina Monte			Sesto Calende	Miorina Valle	Miorina Monte
14/09/93 0.00	0.0	193.30	192.24	193.20	25/09/93 0.00	264.0	196.09	195.03	195.18
14/09/93 6.00	6.0	193.44	192.30	193.38	25/09/93 3.00	267.0	196.28	195.19	195.34
14/09/93 12.00	12.0	193.55	192.24	193.48	25/09/93 6.00	270.0	196.44	195.30	195.50
14/09/93 18.00	18.0	193.60	192.25	193.56	25/09/93 9.00	273.0	196.52		195.58
15/09/93 0.00	24.0	193.65	192.28	193.61	25/09/93 12.00	276.0	196.58		195.62
15/09/93 6.00	30.0	193.68	192.30	193.63	25/09/93 15.00	279.0	196.62		195.66
15/09/93 7.00	31.0	193.70	192.25	193.65	25/09/93 18.00	282.0	196.66		195.68
15/09/93 12.00	36.0	193.72	192.28	193.69	26/09/93 0.00	288.0	196.69		195.70
15/09/93 18.00	42.0	193.75	192.28	193.71	26/09/93 6.00	294.0	196.68		195.68
16/09/93 0.00	48.0	193.78	192.29	193.74	26/09/93 12.00	300.0	196.63		195.65
16/09/93 6.00	54.0	193.80	192.30	193.75	26/09/93 18.00	306.0	196.56		195.60
16/09/93 12.00	60.0	193.81	192.31	193.78	27/09/93 0.00	312.0	196.51		195.55
16/09/93 18.00	66.0	193.82	192.32	193.80	27/09/93 6.00	318.0	196.44		195.47
17/09/93 0.00	72.0	193.86	192.31	193.82	27/09/93 12.00	324.0	196.36	195.23	195.40
17/09/93 6.00	78.0	193.87	192.32	193.84	27/09/93 18.00	330.0	196.28	195.18	195.34
17/09/93 12.00	84.0	193.89	192.30	193.86	28/09/93 0.00	336.0	196.22	195.13	195.30
17/09/93 13.00	85.0	193.89	192.40	193.86	28/09/93 6.00	342.0	196.19	195.08	195.27
17/09/93 18.00	90.0	193.90	192.40	193.86	28/09/93 12.00	348.0	196.17	195.07	195.25
18/09/93 0.00	96.0	193.92	192.42	193.86	28/09/93 18.00	354.0	196.11	195.03	195.20
18/09/93 6.00	102.0	193.92	192.43	193.88	29/09/93 0.00	360.0	196.05	194.98	195.15
18/09/93 8.00	104.0	193.93	192.55	193.86	29/09/93 6.00	366.0	195.99	194.92	195.10
18/09/93 12.00	108.0	193.93	192.55	193.86	29/09/93 12.00	372.0	195.95	194.88	195.06
18/09/93 18.00	114.0	193.93	192.54	193.86	29/09/93 18.00	378.0	195.89	194.84	195.02
19/09/93 0.00	120.0	193.94	192.54	193.87	30/09/93 0.00	384.0	195.83	194.78	194.97
19/09/93 6.00	126.0	193.93	192.54	193.87	30/09/93 6.00	390.0	195.76	194.74	194.91
19/09/93 12.00	132.0	193.93	192.53	193.86	30/09/93 12.00	396.0	195.70	194.68	194.87
19/09/93 18.00	138.0	193.92	192.53	193.85	30/09/93 18.00	402.0	195.64	194.64	194.82
20/09/93 0.00	144.0	193.91	192.52	193.84	01/10/93 0.00	408.0	195.61	194.61	194.79
20/09/93 6.00	150.0	193.90	192.52	193.83	01/10/93 6.00	414.0	195.56	194.58	194.76
20/09/93 12.00	156.0	193.91	192.53	193.84	01/10/93 12.00	420.0	195.56	194.58	194.76
20/09/93 18.00	162.0	193.91	192.53	193.85	01/10/93 18.00	426.0	195.56	194.58	194.77
21/09/93 0.00	168.0	193.91	192.53	193.85	02/10/93 0.00	432.0	195.62	194.63	194.81
21/09/93 6.00	174.0	193.91	192.53	193.84	02/10/93 3.00	435.0	195.69	194.68	194.86
21/09/93 12.00	180.0	193.91	192.53	193.84	02/10/93 6.00	438.0	195.77	194.74	194.93
21/09/93 18.00	186.0	193.92	192.54	193.85	02/10/93 9.00	441.0	195.89	194.84	195.03
22/09/93 0.00	192.0	193.93	192.55	193.87	02/10/93 12.00	444.0	196.04	194.94	195.14
22/09/93 6.00	198.0	193.93	192.54	193.87	02/10/93 15.00	447.0	196.19	195.08	195.27
22/09/93 12.00	204.0	193.93	192.54	193.86	02/10/93 18.00	450.0	196.37	195.22	195.40
22/09/93 18.00	210.0	193.94	192.54	193.88	02/10/93 21.00	453.0	196.47	195.34	195.53
23/09/93 0.00	216.0	193.98	192.55	193.90	03/10/93 0.00	456.0	196.55	195.38	195.58
23/09/93 3.00	219.0	194.10	192.62	194.04	03/10/93 3.00	459.0	196.58		195.60
23/09/93 4.00	220.0	194.12	193.00	193.94	03/10/93 6.00	462.0	196.60		195.62
23/09/93 5.00	221.0	194.12	193.20	193.84	03/10/93 12.00	468.0	196.60		195.61
23/09/93 6.00	222.0	194.14	193.40	193.60	03/10/93 18.00	474.0	196.56	195.40	195.58
23/09/93 9.00	225.0	194.21	193.49	193.67	04/10/93 0.00	480.0	196.52	195.37	195.56
23/09/93 12.00	228.0	194.31	193.58	193.75	04/10/93 6.00	486.0	196.46	195.32	195.50
23/09/93 15.00	231.0	194.44	193.67	193.85	04/10/93 12.00	492.0	196.40	195.26	195.42
23/09/93 18.00	234.0	194.56	193.76	193.95	04/10/93 18.00	498.0	196.33	195.20	195.37
23/09/93 21.00	237.0	194.64	193.83	194.01	05/10/93 0.00	504.0	196.26	195.15	195.32
24/09/93 0.00	240.0	194.72	193.88	194.06	05/10/93 6.00	510.0	196.20	195.10	195.26
24/09/93 3.00	243.0	194.77	193.94	194.12	05/10/93 12.00	516.0	196.14	195.04	195.21
24/09/93 6.00	246.0	194.88	194.02	194.20	05/10/93 18.00	522.0	196.07	194.99	195.16
24/09/93 9.00	249.0	195.04	194.16	194.34	06/10/93 0.00	528.0	196.02	194.95	195.12
24/09/93 12.00	252.0	195.23	194.30	194.49	06/10/93 6.00	534.0	196.00	194.93	195.11
24/09/93 15.00	255.0	195.40	194.43	194.62	06/10/93 12.00	540.0	196.00	194.95	195.14
24/09/93 18.00	258.0	195.60	194.62	194.78	06/10/93 18.00	546.0	196.12	195.05	195.24
24/09/93 21.00	261.0	195.86	194.83	194.99	07/10/93 0.00	552.0	196.22	195.12	195.31

Tab.V. Piena dell'autunno 1993: Quote idriche rilevate agli idrometri di Sesto Calende, Miorina monte e Miorina valle.

Data gg/mm/aa h.hh	Tempo ore	Quote idriche (m s.l.m.)			Data gg/mm/aa h.hh	Tempo ore	Quote idriche (m s.l.m.)		
		Sesto Calende	Miorina Valle	Miorina Monte			Sesto Calende	Miorina Valle	Miorina Monte
07/10/93 6.00	558.0	196.26	195.16	195.33	18/10/93 18.00	834.0	196.34	195.22	195.40
07/10/93 12.00	564.0	196.27	195.16	195.33	19/10/93 0.00	840.0	196.27	195.16	195.35
07/10/93 18.00	570.0	196.27	195.16	195.33	19/10/93 6.00	846.0	196.20	195.10	195.28
08/10/93 0.00	576.0	196.27	195.17	195.36	19/10/93 12.00	852.0	196.12	195.05	195.22
08/10/93 3.00	579.0	196.31	195.20	195.39	19/10/93 18.00	858.0	196.05	194.99	195.13
08/10/93 6.00	582.0	196.36	195.24	195.42	20/10/93 0.00	864.0	195.99	194.93	
08/10/93 9.00	585.0	196.40	195.28	195.46	20/10/93 6.00	870.0	195.92	194.88	
08/10/93 12.00	588.0	196.48	195.34	195.58	20/10/93 12.00	876.0	195.86	194.82	195.00
08/10/93 14.00	590.0	196.57	195.40	195.65	20/10/93 18.00	882.0	195.80	194.77	194.97
08/10/93 15.00	591.0	196.61		195.70	21/10/93 0.00	888.0	195.73	194.72	194.92
08/10/93 18.00	594.0	196.78		195.83	21/10/93 6.00	894.0	195.67	194.66	194.86
08/10/93 21.00	597.0	196.95			21/10/93 12.00	900.0	195.62	194.63	194.83
09/10/93 0.00	600.0	197.08			21/10/93 18.00	906.0	195.59	194.60	194.81
09/10/93 3.00	603.0	197.16			22/10/93 0.00	912.0	195.56	194.58	194.78
09/10/93 6.00	606.0	197.19			22/10/93 6.00	918.0	195.48	194.52	194.72
09/10/93 9.00	609.0	197.22			22/10/93 12.00	924.0	195.43	194.50	194.69
09/10/93 12.00	612.0	197.22			22/10/93 18.00	930.0	195.39	194.44	194.65
09/10/93 15.00	615.0	197.20			23/10/93 0.00	936.0	195.35	194.42	194.61
09/10/93 18.00	618.0	197.19			23/10/93 6.00	942.0	195.30	194.38	194.58
10/10/93 0.00	624.0	197.15			23/10/93 12.00	948.0	195.26	194.34	
10/10/93 6.00	630.0	197.08			23/10/93 18.00	954.0	195.21	194.30	
10/10/93 12.00	636.0	197.01			24/10/93 0.00	960.0	195.16	194.26	
10/10/93 18.00	642.0	196.94		195.82	24/10/93 6.00	966.0	195.11	194.23	
11/10/93 0.00	648.0	196.86		195.75	24/10/93 12.00	972.0	195.08	194.20	
11/10/93 6.00	654.0	196.80			24/10/93 18.00	978.0	195.06	194.17	
11/10/93 12.00	660.0	196.72			25/10/93 0.00	984.0	195.03	194.14	
11/10/93 18.00	666.0	196.65			25/10/93 6.00	990.0	194.98	194.11	
12/10/93 0.00	672.0	196.58			25/10/93 12.00	996.0	194.96	194.08	194.26
12/10/93 6.00	678.0	196.51			25/10/93 18.00	1002.0	194.93	194.05	194.23
12/10/93 12.00	684.0	196.49			26/10/93 0.00	1008.0	194.90	194.03	194.21
12/10/93 15.00	687.0	196.52			26/10/93 6.00	1014.0	194.86	194.00	194.18
12/10/93 18.00	690.0	196.70			26/10/93 12.00	1020.0	194.83	193.97	194.15
12/10/93 21.00	693.0	196.87			26/10/93 18.00	1026.0	194.80	193.95	194.12
13/10/93 0.00	696.0	197.02			27/10/93 0.00	1032.0	194.77	193.93	194.10
13/10/93 3.00	699.0	197.11			27/10/93 6.00	1038.0	194.73	193.89	194.07
13/10/93 6.00	702.0	197.16			27/10/93 12.00	1044.0	194.70	193.87	194.04
13/10/93 12.00	708.0	197.18			27/10/93 18.00	1050.0	194.67	193.84	194.02
13/10/93 18.00	714.0	197.15			28/10/93 0.00	1056.0	194.64	193.82	194.00
14/10/93 0.00	720.0	197.11			28/10/93 6.00	1062.0	194.60	193.79	193.97
14/10/93 6.00	726.0	197.10			28/10/93 12.00	1068.0	194.58	193.76	193.95
14/10/93 12.00	732.0	197.26			28/10/93 18.00	1074.0	194.55	193.74	193.92
14/10/93 18.00	738.0	197.29			29/10/93 0.00	1080.0	194.53	193.73	193.90
15/10/93 0.00	744.0	197.29			29/10/93 6.00	1086.0	194.49	193.70	193.87
15/10/93 6.00	750.0	197.26			29/10/93 12.00	1092.0	194.46	193.68	193.86
15/10/93 12.00	756.0	197.24			29/10/93 18.00	1098.0	194.45	193.66	193.84
15/10/93 18.00	762.0	197.20			30/10/93 0.00	1104.0	194.42	193.64	193.82
16/10/93 0.00	768.0	197.15			30/10/93 6.00	1110.0	194.39	193.62	193.80
16/10/93 6.00	774.0	197.06			30/10/93 8.00	1112.0	194.37	193.61	193.78
16/10/93 12.00	780.0	196.99			30/10/93 10.00	1114.0	194.38	193.60	194.00
16/10/93 18.00	786.0	196.91			30/10/93 12.00	1116.0	194.38	193.66	194.00
17/10/93 0.00	792.0	196.84			30/10/93 18.00	1122.0	194.35	193.66	193.98
17/10/93 6.00	798.0	196.78			31/10/93 0.00	1128.0	194.34	193.66	193.96
17/10/93 12.00	804.0	196.73			31/10/93 6.00	1134.0	194.32	193.66	193.93
17/10/93 18.00	810.0	196.66			31/10/93 12.00	1140.0	194.30	193.66	193.91
18/10/93 0.00	816.0	196.60			31/10/93 18.00	1146.0	194.26	193.66	193.88
18/10/93 6.00	822.0	196.53			01/11/93 0.00	1152.0	194.25	193.66	193.86
18/10/93 12.00	828.0	196.41	195.29	195.54					

Tab.V (continuazione). Piena dell'autunno 1993: Quote idriche rilevate agli idrometri di Sesto Calende, Miorina monte e Miorina valle.

I livelli all'idrometro di Sesto cominciarono a crescere a partire dal giorno 14/9, impostandosi su una quota idrica preesistente piuttosto bassa (193.30 m s.l.m., corrispondente a 0.28 m sopra lo zero dell'idrometro, alle ore 0.00 del 14/9); lo sbarramento alla Miorina venne pertanto mantenuto in regolazione fino alle 6:00 del 23/9, ora in cui il livello superò il valore di concessione stagionale (+1.00 m riferito allo zero di Sesto). In quell'istante lo sbarramento fu completamente abbattuto, come è immediato verificare dal repentino abbassamento del livello all'idrometro di Miorina monte e dal contemporaneo incremento del gradiente di crescita del livello all'idrometro di Miorina valle. Nonostante l'apertura totale dello sbarramento, i livelli idrometrici a Sesto continuarono a crescere, fino a raggiungere, alle ore 0.00 del 26/9 un primo massimo di 196.69 m s.l.m. (+3.67). Nei giorni successivi il livello decrebbe fino ad un minimo relativo di 195.56 m s.l.m. (+2.54) alle ore 12.00 del 1/10, per poi crescere di nuovo e mantenersi, con varie oscillazioni, al di sopra dei 196.00 m s.l.m. per 17 giorni consecutivi. Alle ore 0.00 del 15/10 si raggiunse il massimo assoluto di 197.29 m s.l.m. (+4.27). Successivamente il livello idrico prese a diminuire con regolarità ed il giorno 30/10, alle ore 10.00, essendo sceso al di sotto della quota massima di concessione, si cominciò a regolare il deflusso manovrando le paratoie allo sbarramento della Miorina.

Durante la piena gli idrometri registratori collocati alle stazioni di Miorina Monte e Miorina Valle hanno cessato di funzionare regolarmente in corrispondenza ad una quota idrica pari (all'incirca) ripetutamente a 195.80 m s.l.m. e 195.40 m s.l.m.. L'idrometro di Miorina Monte ha manifestato poi numerosi inceppamenti nella fase di esaurimento della piena, che hanno comportato qualche difficoltà per la esatta collocazione temporale della registrazione. Nella figura 3 è anche riportato l'andamento temporale della quota di ritenuta allo sbarramento di Porto della Torre, ricostruito sulla base delle comunicazioni giornaliere (ore 8:00) che l'ENEL trasmette al Consorzio. Da esso si nota che la quota idrica rimase assestata sui 191.35 m s.l.m., corrispondente alla quota di concessione stagionale, solo nel periodo iniziale e finale della piena, mentre nell'intervallo in cui si registrarono i massimi livelli idrici a Sesto, essa venne mantenuta intorno a 191.00 m s.l.m..

Il giorno 18/10 l'Ufficio Idrografico del Po effettuò una valutazione di portata alla sezione di Golasecca, mediante integrazione di una serie di misure di velocità con mulinello. Le osservazioni, protrattesi dalle ore 12:10 alle ore 14:10, condussero ad una stima di portata (media) di 1856 m³/s, che corrisponde al massimo valore effettivamente misurato alla sezione di Golasecca, se si esclude quello del 12 Novembre 1951 (1896 m³/s, [7]) che si riferisce però alla configurazione dell'incile prima della sistemazione del Dosso dei Murazzi, e pertanto non è comparabile con il dato del '93. Tale stima è risultata particolarmente significativa per verificare la parte della scala di deflusso corrispondente ad elevati livelli idrici.

6. Descrizione del modello matematico

Sulla base del rilievo effettuato dalla sezione di Economia delle acque di Bellinzona, di cui si è detto in precedenza, si è predisposto il modello matematico di moto vario del tratto di fiume compreso tra il lago e Porto della Torre, per complessivi 11.164 km.

Si è utilizzato il modello MIKE11 del Danish Hydraulic Institute che, tra i software commerciali, rappresenta uno standard ormai molto diffuso anche in Italia. Il modello risolve le equazioni di De Saint Venant monodimensionali scritte nella forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \alpha \frac{Q^2}{A}}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2 AR} = 0 \quad (2)$$

dove:

- h è la quota idrica sopra un livello orizzontale di riferimento,

- A è la sezione idrica bagnata,

- R è il raggio idraulico,

- C è il coefficiente di resistenza di Chezy,

- Q è la portata idrica,

- g è la accelerazione di gravità,

- α è il coefficiente di ragguglio delle quantità di moto,

- q è l'apporto idrico laterale per unità di lunghezza.

Il coefficiente di ragguglio delle quantità di moto α è stato posto pari all'unità.

Il coefficiente di resistenza di Chezy C è stato valutato, tra le varie opzioni possibili, con l'espressione di Strickler:

$$C = kR^{1/6} \quad (3)$$

in cui k è il coefficiente di scabrezza ed R è il raggio idraulico che, nel caso di sezione compatta (priva di golene) e con scabrezza omogenea è dato dalla classica espressione:

$$R = \frac{A}{P} \quad (4)$$

con P perimetro bagnato. In determinate condizioni, soprattutto per sezioni non compatte, il raggio idraulico espresso dalla (4) non garantisce che la capacità di portata sia costantemente crescente con la quota idrica, come è ragionevole che sia. Occorre allora suddividere la sezione (per semplicità mediante linee verticali) e calcolare la capacità di portata dell'intera sezione come somma dei contributi delle sue singole parti. In alternativa si può introdurre il cosiddetto raggio resistente R_h che viene valutato attraverso l'espressione

$$\sqrt{R_h} = \frac{1}{A} \int_0^B y^{3/2} db \quad (5)$$

particolarmente adatta per gli alvei naturali, dove y è la profondità idrica locale del tratto di sezione trasversale di larghezza elementare db e B è la larghezza in superficie per l'intera sezione. La (5) fornisce una capacità di portata che cresce regolarmente con la profondità idrica. Tuttavia le due formulazioni (4) e (5) non sono, neppure per sezioni compatte, equivalenti: ad esempio la seconda fornisce, per una sezione rettangolare di qualsivoglia larghezza (anche, quindi, non "molto larga") un raggio resistente uguale alla profondità della corrente. Ciò si ripercuote sulla valutazione del coefficiente di resistenza che deve risultare, a parità di caratteristiche della sezione ed a parità di cadente idraulica, maggiore nel secondo caso.

Nello studio in oggetto si è deciso di utilizzare l'espressione (4) per due principali motivi:

- le sezioni sono sostanzialmente compatte;

- la formulazione è quella abitualmente utilizzata in Italia e pertanto i coefficienti di scabrezza che derivano dalla taratura sono immediatamente comparabili con quelli di altri corsi d'acqua.

Le equazioni differenziali di De Saint-Venant (1), (2) vengono risolte dal modello mediante uno schema alle differenze finite implicito di tipo Abbott a sei nodi.

La procedura di discretizzazione è effettuata suddividendo l'asta fluviale in una serie di punti nei quali viene calcolata alternativamente la portata Q e la quota idrica h . Questi ultimi corrispondono alle sezioni effettivamente rilevate (più, eventualmente altri punti di infittimento) mentre quelli in cui viene calcolata la portata Q sono intermedi. Non è quindi determinabile rigorosamente la portata nelle sezioni rilevate ma è possibile dedurla per interpolazione, senza apprezzabili errori fintantoche non si manifestano discontinuità nella superficie libera. Il sistema di equazioni algebriche che deriva dalla discretizzazione viene poi linearizzato e risolto, dopo l'introduzione delle condizioni al contorno e partendo delle condizioni iniziali, con il classico algoritmo della doppia passata (double sweep).

Il modello è in grado, seppur in forma approssimata, di risolvere correnti transcritiche. Per non dover trattare in maniera esplicita le discontinuità (la qual cosa richiederebbe di individuare, ad ogni istante di calcolo, le zone del dominio di calcolo in cui la corrente è lenta o veloce e di applicare le condizioni di compatibilità attraverso le discontinuità) il modello riduce progressivamente, all'aumentare del numero di Froude, il termine di inerzia convettiva nell'equazione (2) fino ad eliminarlo del tutto per $Fr > 1$. Contemporaneamente, la discretizzazione delle equazioni viene spostata verso monte. In questo modo, la struttura di calcolo rimane identica indipendentemente dalla condizione di moto (formalmente, anzi, non si può parlare di corrente veloce in quanto una delle due caratteristiche del sistema iperbolico (1), (2) rimane sempre rivolta in direzione opposta al senso del moto, al più tendendo a divenire verticale per numeri di Froude molto elevati) ed è pertanto necessario sempre specificare una condizione al contorno a monte ed una a valle.

Possono essere specificati, quali condizioni al contorno, andamenti temporali di quote idriche e di portate, o scale di deflusso. Per quanto riguarda le condizioni iniziali, esse possono essere specificate o, in mancanza di una loro precisa conoscenza, calcolate dal modello attraverso il tracciamento preliminare di un profilo di moto permanente.

7. Taratura del modello matematico

La taratura del modello consiste nell'individuare i valori dei coefficienti di scabrezza da attribuire ai singoli tratti fluviali. Allo scopo si è suddivisa l'asta fluviale in tre tratte:

- dalla sez. 100 (lago) alla sez. 25 (idrometro di Miorina Monte)
- dalla sez. 25 alla sez. 27 (idrometro di Miorina Valle)
- dalla sez. 27 alla sez. 57 (sbarramento di Porto della Torre).

Non si è suddivisa ulteriormente l'asta sia perchè sarebbero in ogni caso mancati i dati necessari ad una taratura della scabrezza in punti diversi da quelli in cui sono collocati gli idrometri registratori, sia perchè ciò non avrebbe comportato sostanziali miglioramenti nella descrizione del fenomeno. La breve tratta a cavallo dello sbarramento della Miorina è stata mantenuta separata dalle altre per poter descrivere, mediante un differente coefficiente di scabrezza, le perdite di carico localizzate dovute alla presenza delle pile e dello scudo in alveo.

La determinazione dei coefficienti di scabrezza è stata effettuata per tentativi. In una prima fase si è tracciato il profilo di moto permanente lungo l'intera asta, imponendo quale c.c. di

monte la portata effettivamente misurata il 4/10/91 e quale c.c. di valle la quota idrica di ritenuta a Porto della Torre. I coefficienti di scabrezza delle tre tratte sono stati determinati in modo da ottenere, per le sezioni dotate di idrometri registratori, una quota idrica coincidente con quella osservata. Successivamente, con gli stessi valori di scabrezza, si sono tracciati i profili di moto permanente corrispondenti alle portate osservate nei giorni 2 e 8/10/1991, verificando, nelle sezioni dotate di idrometri, la concordanza tra la quota idrica calcolata e quella osservata. Si è subito riscontrato che, nella tratta Miorina Valle - Porto della Torre, adottando il coefficiente di scabrezza ricavato per taratura in corrispondenza della portata intermedia, non si riusciva ad ottenere una soddisfacente ricostruzione dei profili per le altre portate: la quota idrica calcolata alla sezione di Miorina valle risultava infatti minore di quella osservata per la portata più bassa, viceversa per quella più alta, come se la scabrezza di questo tratto di alveo dovesse essere considerata decrescente con la quota.

L'espressione di Strickler (3), che esprime il coefficiente di Chezy in funzione della potenza $1/6$ del raggio idraulico (e quindi la capacità di portata in funzione della potenza $2/3$) dovrebbe in effetti garantire, in caso di scabrezza uniforme del contorno della sezione, la sostanziale costanza del coefficiente k con la quota idrica. Nel caso specifico, invece, il coefficiente di Chezy sembra variare con una potenza del raggio idraulico superiore ($1/5$ o $1/4$). Questo comportamento può essere dovuto ad una molteplicità di fattori tra i quali:

1. un decremento della scabrezza media della sezione con la quota idrica;
2. un'imprecisa conoscenza della geometria dell'alveo fluviale, non sufficientemente descritto dalle sezioni trasversali rilevate;
3. un'imprecisa valutazione della lunghezza del tratto fluviale;
4. un'imprecisa collocazione in quota della c.c. di valle;
5. moti secondari, effetti di curva, ecc. che il modello, essendo monodimensionale, non è in grado di rappresentare;
6. effetti delle inerzie e degli invasi e svasi che si manifestano nelle condizioni reali di moto vario, e che non sono stati considerati nelle simulazioni di moto permanente effettuate per la taratura del modello;
7. pescaie, perdite di carico localizzate, ecc., non descritte nel modello.

Si è immediatamente verificato, mediante una simulazione di moto vario, l'inconsistenza dell'ipotesi n.6, come sarà meglio evidente nel paragrafo seguente. Non avendo la possibilità di verificare quale delle altre ipotesi sia l'effettiva conseguenza di questo comportamento, ci si è accontentati di correggere empiricamente la risposta del modello: si è introdotto, per le sezioni del tratto in questione, un coefficiente moltiplicativo del coefficiente di Chezy, variabile con la quota. Il modello in effetti prevede già una simile correzione, che spesso è necessaria per ottenere, su un'ampio campo di portate e di livelli, la perfetta concordanza dei risultati calcolati con quelli osservati.

Dopo alcuni tentativi, si è giunti alla definizione di un coefficiente correttivo, uguale per tutte le sezioni del tratto, variabile linearmente tra 0.6 ed 1.1 passando da profondità idriche nulle a quelle massime. Con questa correzione, i risultati della simulazione risultano perfettamente concordanti con le osservazioni, per tutte e tre le portate considerate. La taratura è stata infine verificata ricostruendo, sempre in condizioni di moto permanente e con gli stessi coefficienti di scabrezza (e modo di variare con la quota), il profilo relativo alla portata osservata il 18/10/93. I livelli idrici ricostruiti sono risultati, nelle sezioni degli idrometri, praticamente coincidenti con quelli osservati, come sarà meglio evidente al paragrafo seguente. Infine, si è anche proceduto alla simulazione, limitatamente al tratto Miorina valle - Porto della Torre, del profilo relativo alla portata di magra misurata il 14/2/95 in condizioni di regolazione e con la quota di ritenuta a Porto della Torre di 192.50

m s.l.m. La quota idrica ottenuta all'idrometro di Miorina valle è risultata coincidente con quella ivi osservata.

I coefficienti di scabrezza ottenuti dalla taratura del modello sono riportati nella tabella VI.

Sezioni	k (m ^{1/3} /s)	Note
100÷25	33.5	Costante con la quota idrica
25÷27	26.0	Costante con la quota idrica
27÷57	29.5	Crescente con la quota idrica da 0.6k a 1.1k

Tab.VI. Coefficienti di scabrezza di Strickler.

8. Ricostruzione degli eventi di piena dell'autunno 1991 e 1993

8.1 Procedura

La procedura testè esposta per la determinazione dei coefficienti di scabrezza ipotizza che l'andamento delle portate e dei livelli idrici non sia apprezzabilmente influenzato dal regime di moto vario che si viene ad instaurare durante il fenomeno di piena. I termini dipendenti dal tempo nelle equazioni di De Saint Venant sono stati infatti trascurati, procedendo, pur con un modello di moto vario, a simulazioni in regime di moto permanente. Una valutazione approssimata dell'entità dei termini di inerzia locale e di variazione della sezione idrica nel tempo, che possono aversi durante l'evoluzione della piena in condizioni di regime libero, sembra avvalorare questa ipotesi. Meno giustificata essa può apparire in caso di manovre non troppo lente allo sbarramento della Miorina od a quello di Porto della Torre.

In ogni caso, per avere una conferma di quello che appare a prima vista un'ipotesi sufficientemente attendibile, si è proceduto alla ricostruzione, sulla base delle informazioni idrometriche disponibili, delle due piene dell'autunno 1991 e 1993. Prima di mostrare e commentare i risultati ottenuti, conviene brevemente soffermarsi sulla metodologia utilizzata in questa fase del lavoro, differenziando tra il periodo di regime regolato, all'inizio ed eventualmente alla fine della piena, e quello di efflusso libero dal lago.

- Regime regolato prima dell'inizio della piena. In questa fase lo sbarramento della Miorina è attivo e pertanto, volendo procedere alla simulazione dell'intero tratto di fiume occorrerebbe sostituire, a cavallo della sezione della traversa, all'equazione di conservazione della quantità di moto data dalla (2), un'equazione che esprima l'effettiva regolazione seguita dal gestore. Nella fattispecie essa dovrebbe descrivere quantitativamente l'andamento nel tempo della portata defluente attraverso le portine, in funzione delle richieste degli utilizzatori di valle, con gli ulteriori vincoli dell'effettiva possibilità di prelievo dal lago e di livello idrico a Sesto Calende compreso nella fascia di concessione. Per quanto un simile approccio rientri pienamente nelle potenzialità del modello e sia pertanto auspicabile per approfondire gli studi relativi alle possibili alternative gestionali, esso non sembra il migliore nel caso si voglia simulare un evento specifico. Infatti, non si può mai avere la certezza che le manovre effettuate nel caso particolare abbiano seguito in maniera rigorosa la regola generale; e non già per incompetenza od intemperività del personale preposto alle manovre, ma al contrario per un atteggiamento più prudentiale, acquisito con l'esperienza, che suggerisce a volte di intervenire prima di quanto la concessione obblighi di fare. Si è pertanto preferito procedere in maniera diversa, simulando soltanto il comportamento idraulico del tratto di

fiume compreso tra la sezione immediatamente a valle dello sbarramento della Miorina e Porto della Torre. Nella prima sezione è stata introdotta, come condizione al contorno, l'andamento temporale effettivamente registrato all'idrometro di Miorina Valle durante la prima fase della piena (in cui lo sbarramento era appunto attivo); in maniera analoga si è introdotto, quale c.c. di valle, l'andamento della quota di ritenuta allo sbarramento di Porto della Torre. Resta ancora da illustrare, a completamento di quanto detto, le condizioni iniziali adottate per l'avvio della simulazione di moto vario, ossia l'andamento di portate e quote idriche all'istante iniziale in tutte le sezioni del fiume considerate nel modello. Si è proceduto in questo modo: attraverso il tracciamento di una serie profili di moto permanente (effettuati con lo stesso modello) si è individuato, per tentativi, quel valore di portata, costante lungo tutto il tratto fluviale, che restituisse il valore della quota idrica iniziale nella sezione di Miorina valle. Data la scarsa "memoria" delle condizioni iniziali che usualmente i fenomeni di moto vario hanno (per le dissipazioni energetiche che ad essi si accompagnano non appena il tratto fluviale abbia una apprezzabile resistenza) l'approssimazione introdotta può influire sui risultati solo nei primissimi istanti della simulazione.

- **Regime libero.** Lo sbarramento della Miorina risulta completamente abbattuto, ed il deflusso dal lago è il massimo possibile compatibilmente con l'attuale sistemazione dell'incile. La determinazione della portata potrebbe condursi, in questa fase, con due differenti modalità. La prima consiste, nè più nè meno, nel continuare la simulazione precedente, limitatamente quindi al tratto di alveo compreso tra la sezione di Miorina - valle sbarramento e Porto della Torre. La seconda prevede invece di simulare il più esteso tratto compreso tra Sesto Calende e Porto della Torre, introducendo quale condizione al contorno nella sezione di monte l'andamento delle quote idriche effettivamente registrate a Sesto, partendo dalle condizioni individuate al termine della simulazione precedente. Diverse ragioni suggeriscono di seguire questo secondo approccio. Anzitutto, come si è già avuto modo di accennare, le registrazioni della piena dell'autunno 1993 all'idrometro di Miorina - valle sbarramento non sono complete, venendo a mancare proprio in corrispondenza dei colmi, al contrario di quelle a Sesto Calende. Inoltre, procedendo a simulare il tratto di fiume compreso tra la sezione di Sesto Calende e Porto della Torre si ha modo di verificare la bontà della ricostruzione dei livelli idrici in corrispondenza delle sezioni di Miorina Monte e Miorina Valle, confrontandole con quelle registrate ai rispettivi idrometri (perlomeno nei periodi di funzionamento). E' chiaro che i due approcci non forniscono rigorosamente lo stesso risultato, anche se le differenze dovrebbero essere modeste se il modello è ben tarato. Per ulteriore verifica, si è allora proceduto a prolungare la prima simulazione (quella nel tratto tra Miorina valle e Porto della Torre) anche per un certo periodo dopo l'abbattimento totale della paratoie e contemporaneamente ad avviare la seconda simulazione a partire dall'istante di totale abbattimento delle paratoie, in modo da avere un cospicuo periodo di sovrapposizione. Il confronto tra i risultati ha mostrato un accordo quasi perfetto, con differenze nelle portate non superiori a 2-3 per mille. Si è allora scelto di definire come portata uscente, nel periodo di regime libero, quella ottenuta dalla simulazione del tratto Sesto Calende - Porto della Torre.
- **Regime regolato al termine della piena.** In questa fase (presente solo nella piena del 1993 in quanto per quella del 1991 la ricostruzione è stata fatta terminare ancora in periodo di deflusso libero) ci si è comportati esattamente come nella prima fase, ad eccezione delle condizioni iniziali, che sono state assunte pari a quelle terminali della simulazione a regime libero.

Così operando è stato possibile ricostruire l'andamento delle portate e dei livelli idrici nel Ticino emissario limitatamente al tratto compreso tra Miorina - valle sbarramento e Porto della Torre in regime regolato ed al tratto compreso tra Sesto Calende e Porto della Torre in regime libero. Si è già avuto modo di accennare, però, che il rilievo effettuato nel maggio 1990 per conto della Sezione Economia delle acque di Bellinzona, utilizzato anche nel presente studio, si estende verso il lago fino alla sez. N.100 (Fig.1) che risulta 2.712 chilometri più a monte dell'idrometro di Sesto Calende. Nella sez.100 le profondità idriche sono già notevoli e le velocità modeste (anche se la simulazione evidenzierà che esse non sono del tutto trascurabili in condizioni di piena): tale sezione può già quindi ritenersi sufficientemente rappresentativa delle condizioni del lago. Per valutare le differenze di quota idrica tra il lago (in vicinanza dell'emissario) e l'idrometro di Sesto è pertanto interessante individuare anche l'andamento dei livelli idrici in questo tratto, soprattutto per le portate più elevate. Si è allora proceduto in questo modo: limitatamente al periodo di deflusso libero si è introdotto, quale c.c. per la sez.100, l'andamento delle portate idriche ricostruite a Sesto Calende, partendo da una condizione iniziale di moto permanente. Con ciò si è implicitamente accettata l'approssimazione che nel tratto compreso tra la Sez.100 e Sesto Calende non vi fossero apprezzabili ritardi o deformazioni dell'onda di piena. Ciò, anche alla luce dei risultati ottenuti dalle simulazioni nel tratto più a valle, appare del tutto lecito. E' quasi superfluo sottolineare che si sarebbe potuto procedere in modo analogo, in condizioni di regime regolato, limitando la simulazione al tratto compreso tra la sez.100 e Miorina monte, inserendo ivi quale c.c. l'andamento registrato. Date le modeste portate defluenti durante la regolazione, però, non si è ritenuto necessario effettuare questa ulteriore prova. In definitiva, la serie di simulazioni effettuate ha consentito di individuare:

- in condizioni di regime regolato, l'andamento delle quote idriche e delle portate nel tratto compreso tra la sezione di Miorina - valle sbarramento e Porto della Torre;
- in condizione di regime libero, l'andamento delle quote idriche e delle portate lungo tutto il tratto fluviale di cui si avevano a disposizione i rilievi.

8.2 Piena del 1991

Nella figura 4 sono riportati, per la piena dell'autunno 1991, gli andamenti delle quote idriche registrate ed ottenute dalla simulazione nelle sezioni degli idrometri e l'andamento ricostruito in corrispondenza della sez.100. Come si può notare le ricostruzioni in corrispondenza agli idrometri di Miorina Monte e Miorina Valle, durante il periodo di regime libero, sono più che soddisfacenti, sovrapponendosi quasi perfettamente agli andamenti registrati. A Sesto Calende idrogramma registrato e ricostruito ovviamente coincidono, in quanto ivi la registrazione è stata imposta quale condizione al contorno di monte. L'andamento delle quote idriche in corrispondenza della sez.100 rende conto poi dell'entità del sovrizzo lacuale rispetto alle registrazioni di Sesto Calende. In effetti l'altezza cinetica residua nella sez.100, per portate dell'ordine di $1600 \text{ m}^3/\text{s}$, è ancora di circa 2 cm, che dovrebbero essere quindi aggiunti alle quote idriche per avere, in assenza di ulteriori perdite, il valore complessivo del sovrizzo lacuale. Ma di questo si dirà diffusamente nel prossimo paragrafo, quando si parlerà delle scale di deflusso.

La figura 5 riporta l'andamento delle portate defluenti ottenute con il modello in corrispondenza della sez.32 al km.6.432, coincidente con la stazione di misura di portata dell'Ufficio Idrografico del Po di Golasecca. Le onde di piena nelle altre sezioni, non riportate, presentano differenze inapprezzabili nella scala del disegno (e del fenomeno). Nella figura sono anche indicati i valori di portata ottenuti dalle misure effettuate durante la

piena dall'Ufficio Idrografico del Po (nella stessa sezione) e dalla Sezione di Economia delle acque di Bellinzona (in corrispondenza dello sbarramento della Miorina); le portate ottenute sono state intese come valore medio durante l'intero periodo di misura, che non è del tutto trascurabile rispetto ai tempi caratteristici dell'esaurimento della piena. La concordanza tra l'onda di piena ricostruita e le misure di portata è ottima, avvalorando la taratura della scabrezza effettuata in regime di moto permanente. La portata al colmo risulta pari a $1621 \text{ m}^3/\text{s}$; il volume transitato nell'intervallo di tempo compreso tra l'inizio del regime libero ed il termine della simulazione (che, in questo caso, non è in effetti un istante particolarmente significativo) assomma a $1751 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, mentre quello compreso tra l'inizio del regime libero e l'istante di colmo è pari a $211 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Meno concordanti sono le portate ottenute dalla simulazione e quelle calcolate dal Consorzio in condizioni di regolazione, riportate entrambe nella figura 6: queste ultime sono sistematicamente inferiori a quelle ottenute dalla simulazione. Come si è già avuto modo di ricordare, la portata viene valutata dal Consorzio come somma di tutte le utilizzazioni principali e di quella tracimante sopra la traversa del Pamperduto. Nel periodo precedente la piena dell'autunno 1991, sulla base di quanto riportato nelle annotazioni del Consorzio stesso, non vi erano utilizzazioni in atto, se si escludono le modeste portate rilasciate per la roggia di Oleggio e per le altre rogge (la centrale di Porto della Torre non è considerata una utilizzazione in quanto preleva a monte dello sbarramento omonimo e restituisce immediatamente a valle): praticamente tutta la portata sfiorava quindi al di sopra della traversa del Pamperduto. Pur non essendo certi che le portate ottenute dalla simulazione siano più corrette di quelle valutate sulla base dell'efflusso sopra la traversa, è necessario sottolineare ancora una volta l'incertezza della stima in queste circostanze: da un lato, infatti, la modesta entità della cadente che si instaura, per basse portate, nel tratto compreso tra lo sbarramento della Miorina e Porto della Torre comprime la scala di deflusso alla sezione di Miorina valle e la rende poco precisa; dall'altro la presenza del disturbo operato dai gommoni posti sopra la soglia del Pamperduto, assieme agli effetti di curva, rendono poco precisa anche la stima della portata ottenuta sulla base della misura del livello idrico immediatamente a monte della traversa stessa. Poiché queste situazioni si verificano per durate non trascurabili nell'arco dell'anno medio, sembra opportuno approfondire l'argomento ricorrendo a misure di portata, che dovrebbero essere effettuate in condizioni di regolazione, proprio nel campo dei livelli a Sesto Calende in cui normalmente non vengono eseguite misure di questo tipo.

Si sono infine verificate le condizioni di deflusso nelle tre sezioni dotate di idrometri di Sesto Calende, Miorina Monte e Miorina Valle. Come è noto, in moto vario, il legame tra profondità idriche e portate non è univoco, a causa della diversa cadente idraulica che può instaurarsi a parità di profondità. L'isteresi che ne consegue nel piano profondità-portata prende il nome di cappio di piena. Nella figura 7 sono riportati gli andamenti dei cappi di piena ottenuti dalla simulazione nelle tre sezioni considerate, ovviamente limitatamente al periodo di regime libero. Come si può notare, e come era ragionevole attendersi data la relativa lentezza del fenomeno, l'ampiezza di questi cappi è modestissima: la medesima portata risulta transitare con livelli idrici che differiscono, al più, di 3 cm, tra la fase crescente e quella calante della piena. Le approssimazioni che si commettono nel fare riferimento ad una scala di deflusso valida in regime permanente sono pertanto altrettanto modeste, e possono essere trascurate.

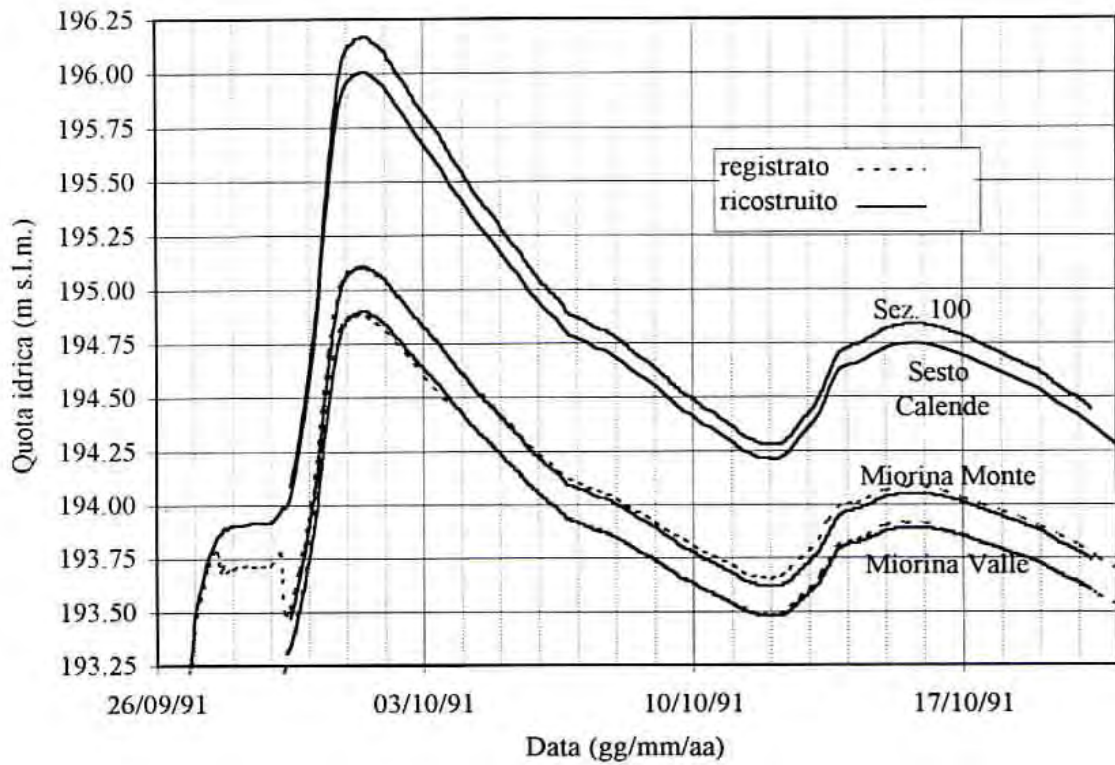


Fig.4. Piena dell'autunno 1991: quote idriche registrate e ricostruite.

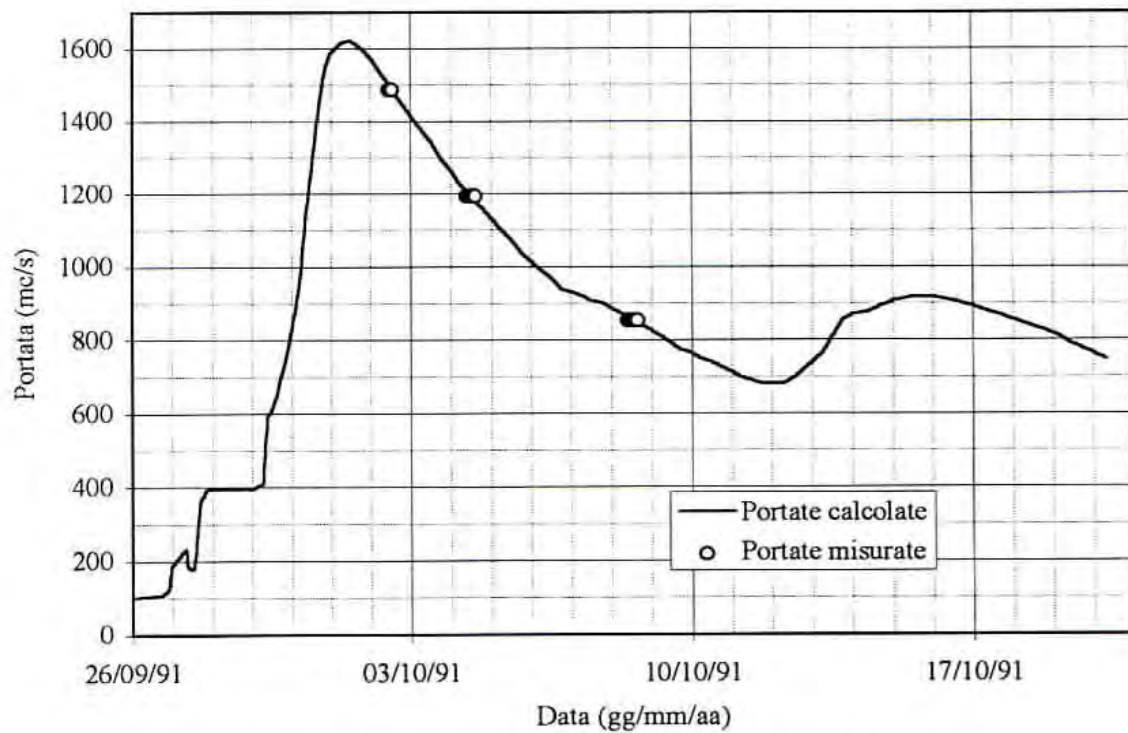


Fig.5. Piena dell'autunno 1991: Portate calcolate e misurate.

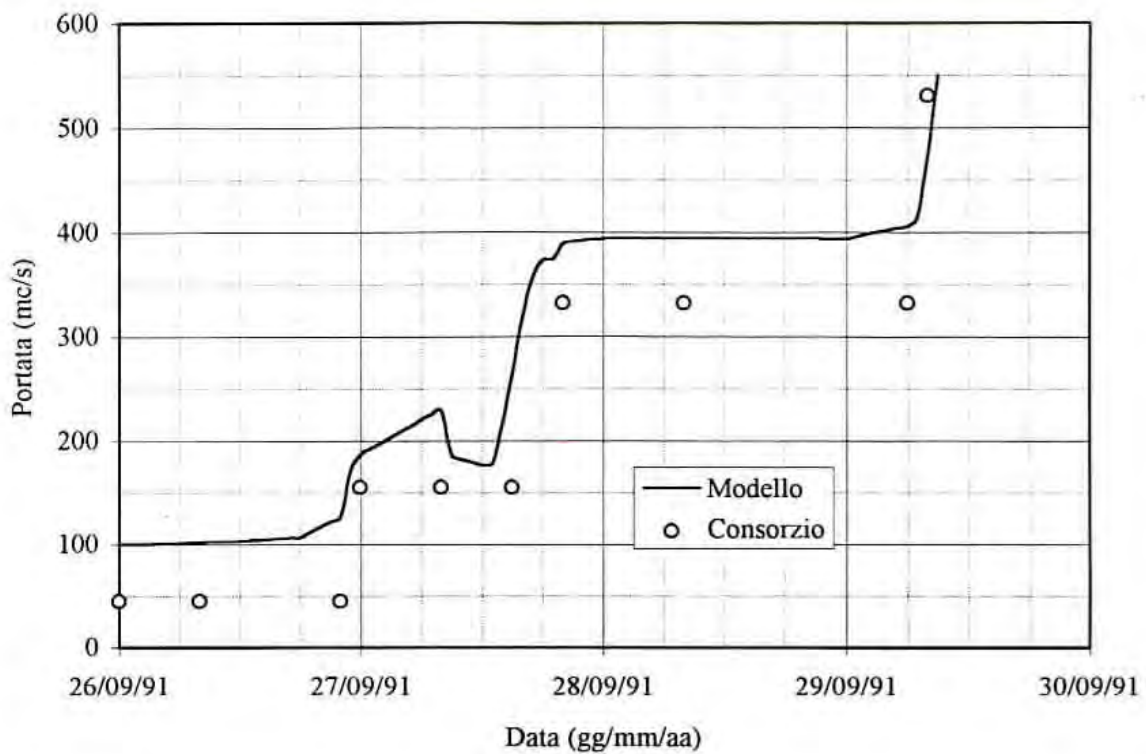


Fig.6. Periodo di regolazione prima della piena dell'autunno 1991: portate ricostruite mediante il modello e calcolate dal Consorzio.

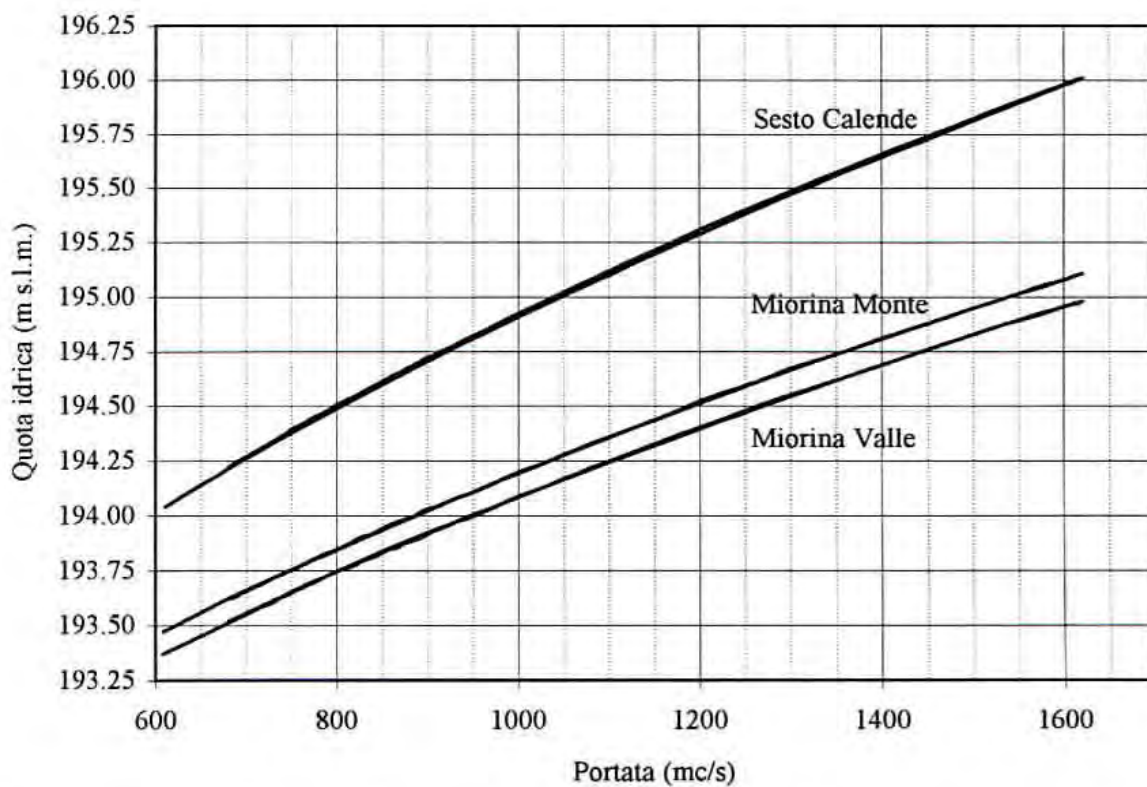


Fig. 7. Piena del 1991: cappellicelli di piena durante il periodo di deflusso libero.

8.3 Piena del 1993

Nella figura 8 sono riportati gli andamenti delle quote idriche registrate ed ottenute dalla simulazione nelle sezioni degli idrometri e l'andamento ricostruito in corrispondenza della sez.100. Anche in questo caso, come già per la piena dell'autunno 1991, le ricostruzioni in corrispondenza agli idrometri di Miorina Monte e Miorina Valle, durante il periodo di regime libero, sono più che soddisfacenti, sovrapponendosi quasi perfettamente agli andamenti registrati (laddove l'idrometro ha funzionato). Il sovrizzo alla sez.100 rispetto alla sezione di Sesto Calende raggiunge, in corrispondenza del colmo, i 25 cm. La figura 9 riporta l'andamento delle portate defluenti ottenute con il modello in corrispondenza della sezione di Golasecca, assieme al valore di portata misurato dall'Ufficio Idrografico del Po. La concordanza tra la ricostruzione e la misura di portata è ancora una volta molto buona, tantopiù se si considera che tale osservazione non era stata utilizzata in fase di taratura del modello. La portata al colmo risulta pari a $2563 \text{ m}^3/\text{s}$; il volume transitato nell'intervallo di tempo compreso tra l'inizio ed il termine del regime libero assomma a ben $5368 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, mentre quello compreso tra l'inizio del regime libero e l'istante di colmo è pari a $3451 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Poco concordanti, anche in questo caso, sono le portate ottenute dalla simulazione e quelle calcolate dal Consorzio in condizioni di regolazione, riportate entrambe nella figura 10 per maggior chiarezza: queste ultime sono ancora sistematicamente inferiori a quelle ottenute dalla simulazione. Per quanto riguarda i cappi di piena, non riportati per brevità, non si riscontrano apprezzabili differenze rispetto alla piena dell'autunno 1991.

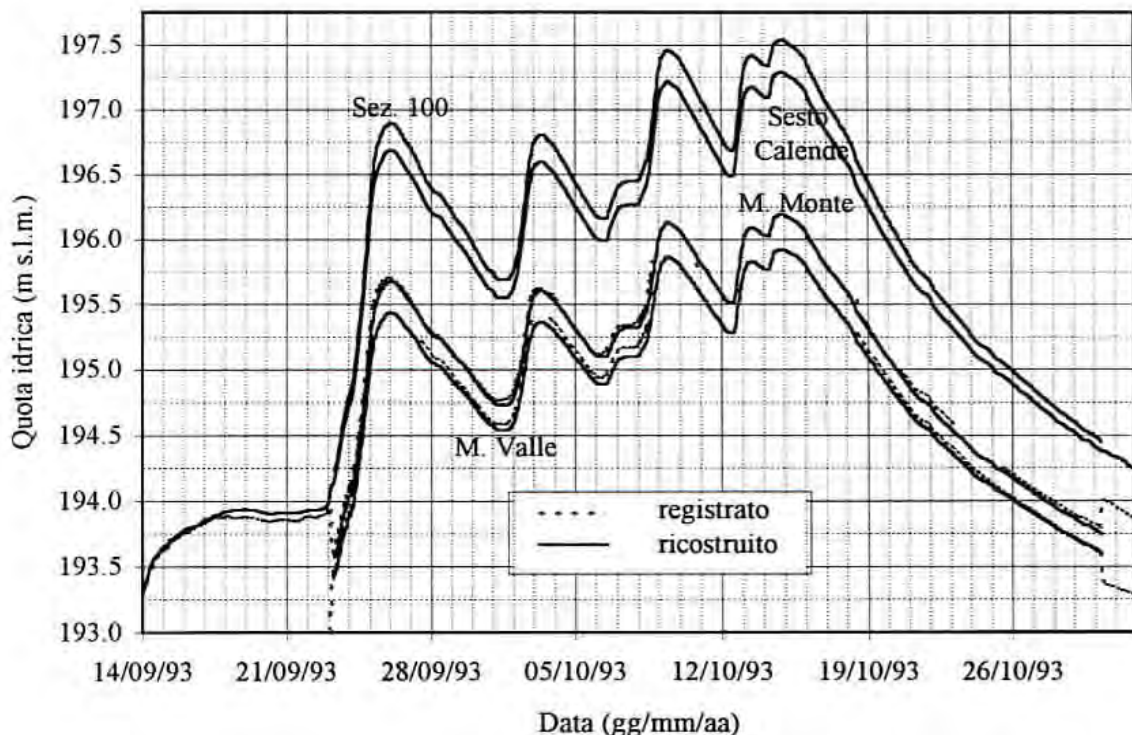


Fig. 8. Piena dell'autunno 1993: quote idriche registrate e ricostruite.

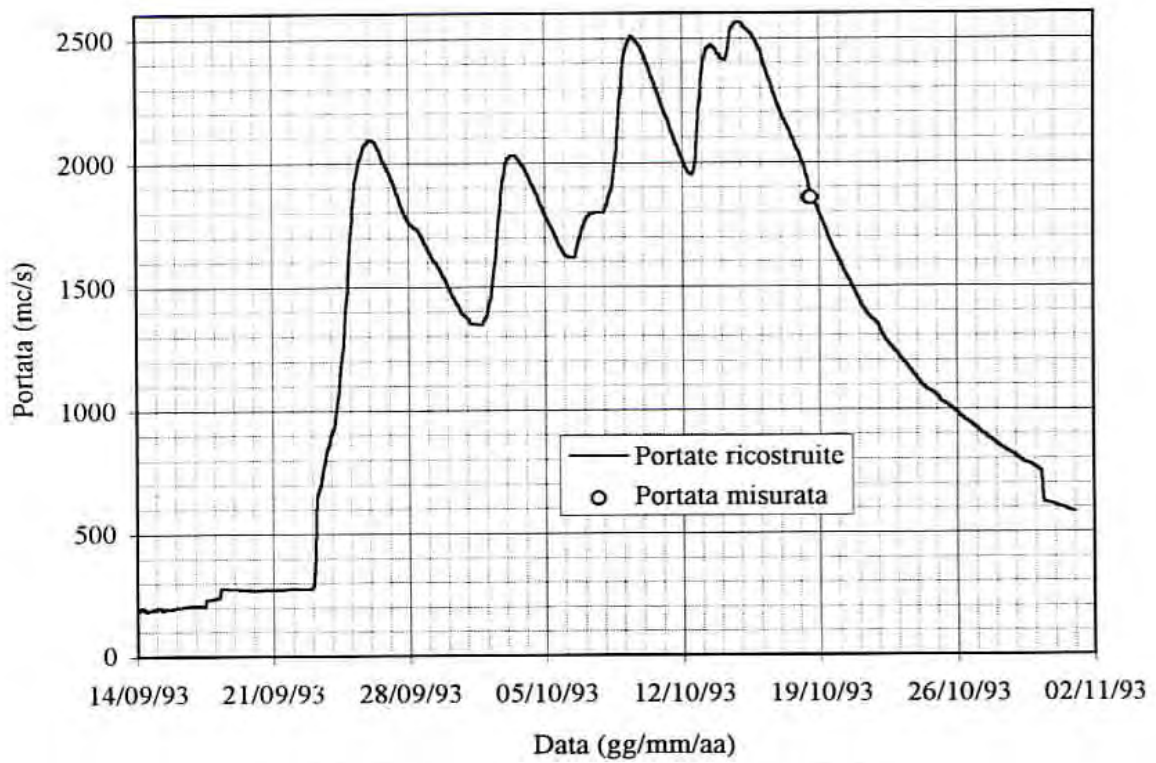


Fig.9. Piena dell'autunno 1993: Portate calcolate e misurate.

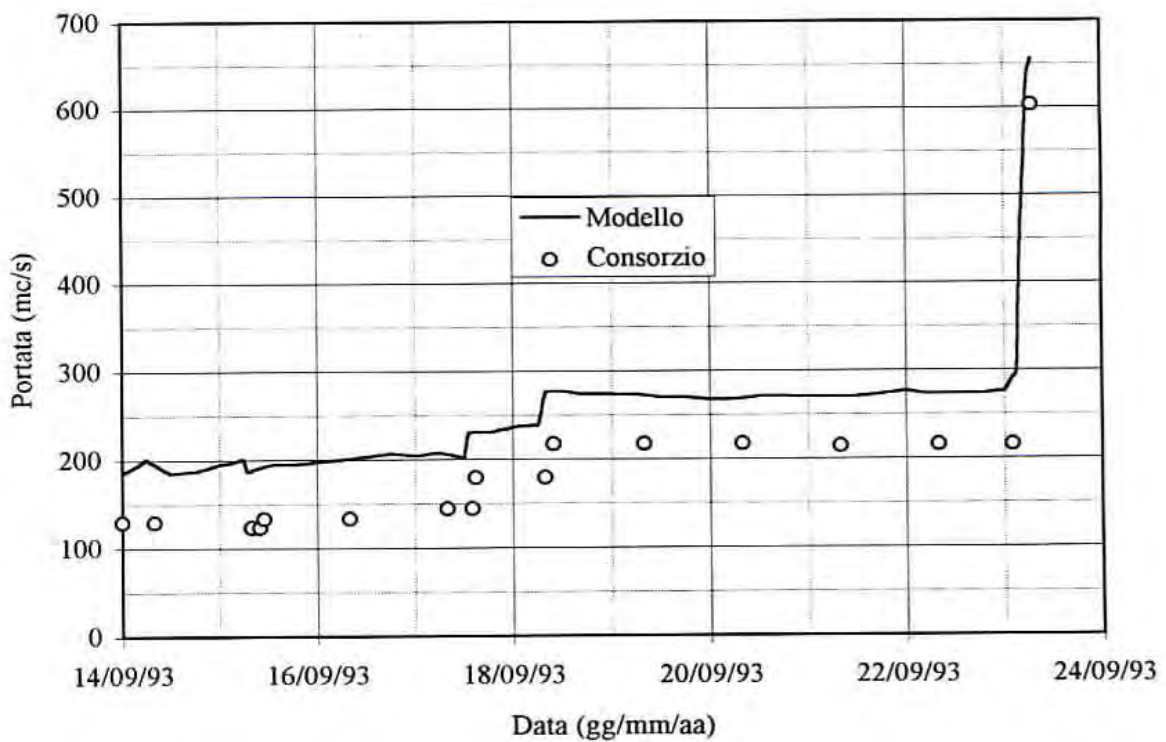


Fig.10. Periodo di regolazione prima della piena dell'autunno 1993: portate ricostruite mediante il modello e calcolate dal Consorzio.

9. Scale di deflusso

L'esperienza maturata nella simulazione delle due piene di cui si è detto, e la verifica della scarsa influenza dei fenomeni di moto vario sul deflusso dal lago, consentono ora di ricostruire agevolmente, mediante il modello, le scale di deflusso di moto permanente in qualsivoglia sezione del tratto in esame. Sembra infatti logico ritenere che i risultati ottenibili dal modello, se ben tarato con l'ausilio di un certo numero di misure di portata, siano meglio di qualsiasi regressione ed estrapolazione effettuabile sulla sola serie di misure di portata. Infatti i risultati del modello sono basati sulle reali sezioni dell'alveo e sull'effettiva dinamica del fenomeno, pur semplificato in questa fase ad una serie di simulazioni di moto permanente. Soprattutto, le estensioni verso i più alti valori di portata delle scale di deflusso basate su semplici formule regressive, possono portare a errori anche consistenti. E' ben vero che si hanno a disposizione alcuni dati, abbastanza attendibili, di piene storiche notevoli (basti, per tutte, ricordare quella eccezionale del 1868) che possono essere utili per "ancorare" le scale di deflusso; ma è altrettanto vero che l'incile del lago, da un secolo a questa parte, ha subito sicuramente modifiche, sia naturali (erosione della soglia a seguito delle piene più importanti), sia artificiali (costruzione dello sbarramento della Miorina e sistemazione del Dosso dei Murazzi), da far ritenere non più utilizzabili le informazioni di così antica data.

Si è pertanto proceduto, mediante l'utilizzo del modello, ad individuare le scale di deflusso in alcune sezioni particolarmente significative. Tra esse si sono individuate quelle di Sesto Calende, Miorina Monte e Miorina Valle, dotate di idrometri registratori, oltre a quella di un'ipotetica sezione nel Lago, a sufficiente distanza dall'incile da far ritenere ivi nulla l'altezza cinetica. Occorre a questo punto precisare che, per ogni sezione, è necessario individuare almeno due scale di deflusso, con riferimento ai due differenti valori di quota di ritenuta allo sbarramento di Porto della Torre: 191.35 m s.l.m. e 192.50 m s.l.m.. E' facile infatti verificare che, per portate non elevate, la quota di ritenuta più alta di Porto della Torre influenza i livelli nel lago ed, a maggior ragione, i livelli nelle altre sezioni considerate. E' d'altronde anche vero che, per lo stesso intervallo di portate, lo sbarramento della Miorina è normalmente attivo, e pertanto le quote del lago risultano governate da esso e non dallo sbarramento di Porto della Torre. Inoltre, durante il periodo in cui è più probabile il verificarsi di piene importanti, cioè tra Settembre e Novembre, lo sbarramento di Porto della Torre risulta regolato sulla quota più depressa di 191.35 m s.l.m., garantendo un deflusso pressochè libero dal lago una volta che la traversa della Miorina sia stata completamente abbattuta. Questa affermazione merita però qualche commento ed approfondimento ulteriore.

Il disciplinare di concessione dello sbarramento di Porto della Torre fissa il livello di monte, nel periodo 1° aprile- 30 Novembre, a 191.35 m s.l.m. proprio per minimizzare i rigurgiti alla Miorina. La correttezza di questa impostazione è facilmente verificabile mediante il modello: simulando uno svasso a Porto della Torre, a portata in ingresso costante, è possibile individuare il valore della quota di ritenuta al di sotto del quale i livelli idrici, nelle sezioni di interesse, non sono più influenzati. La figura 11 mostra i risultati di una simile simulazione: la portata in ingresso è stata fissata a 100 m³/s, mentre ciascun profilo corrisponde alla quota di ritenuta deducibile dal grafico in corrispondenza della sezione di valle (l'intervallo tra due profili successivi è di 50 cm). Al di sotto della quota di 191 metri s.l.m. i livelli in tutto il tratto a monte dello sbarramento della Miorina non sono praticamente più influenzati dalla quota di ritenuta a Porto della Torre. Ad ulteriore conferma la figura 12 mostra, per la sezioni di Miorina Valle, Miorina Monte e Sesto Calende, i livelli idrici in funzione delle quote di ritenuta a Porto della Torre, sempre per la portata costante di 100 m³/s.

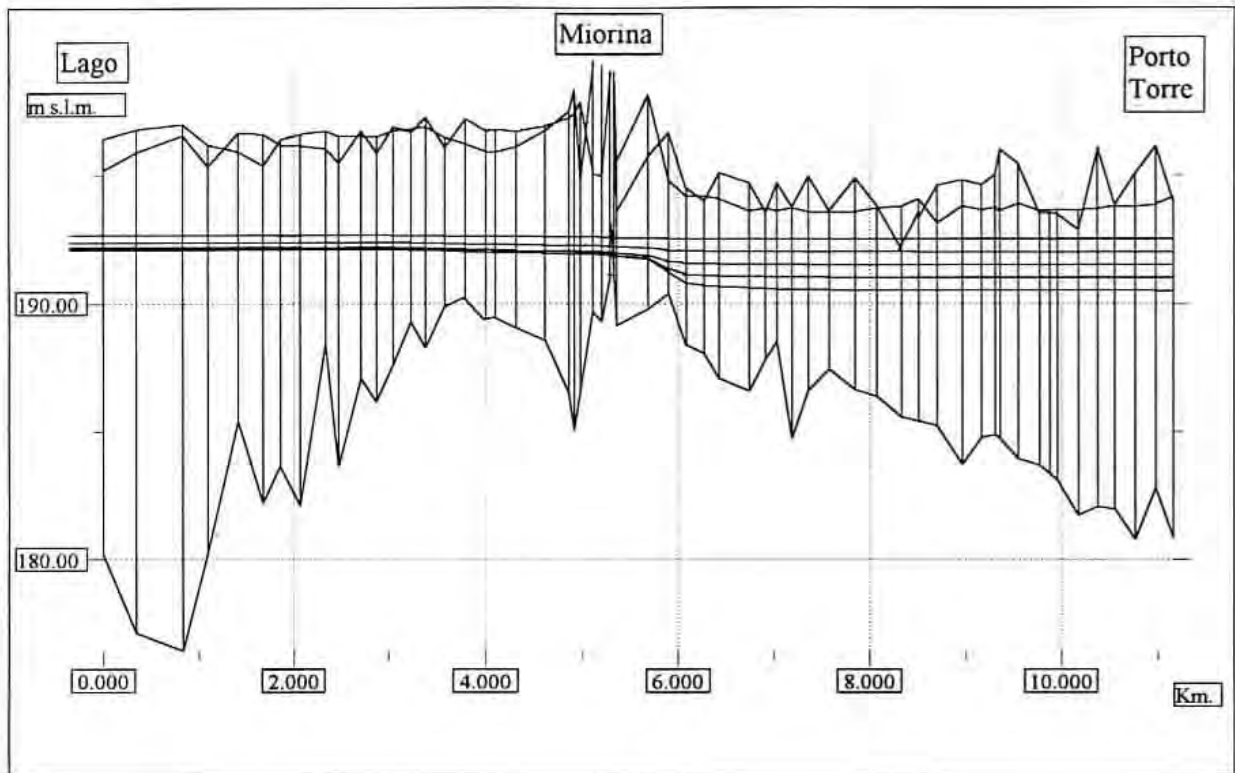


Fig 11. Profili di moto permanente per $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ e vari livelli di ritenuta a Porto della Torre.

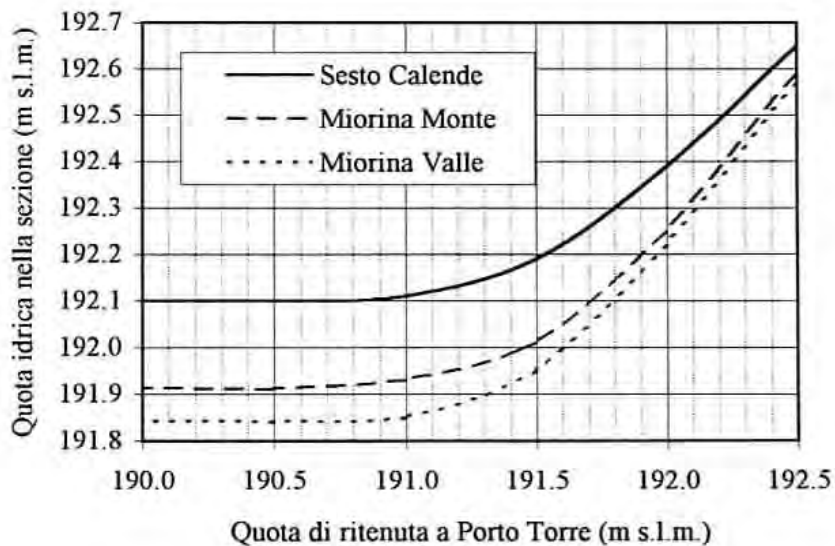


Fig 12. Quote idriche nelle sezioni di Miorina Valle, Miorina Monte e Sesto Calende in funzione della quota di ritenuta a Porto della Torre ($Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$).

Dall'andamento si evince la sostanziale correttezza della scelta del valore di 191.35 m s.l.m.: le scale di deflusso ottenibili in corrispondenza di questo valore della quota di

ritenuta possono praticamente ritenersi coincidenti con quelle che si avrebbero in condizioni perfettamente libere, senza cioè la presenza dello sbarramento di Porto della Torre, perlomeno per tutte le portate superiori a $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Non si può dire la stessa cosa per la quota di ritenuta più elevata di 192.50 m s.l.m. che, come si può notare dalle stesse figure 11 e 12, influenza in maniera significativa la portata considerata ed, è facile constatare, anche tutto il campo delle portate medio-basse (fino a circa $1000 \text{ m}^3/\text{s}$).

Restano ancora da fare alcune precisazioni riguardo la ricostruzione delle scale di deflusso per la sezione cosiddetta del "Lago". Come si è già avuto modo di ricordare, la descrizione dell'alveo si estende, verso monte, fino alla sezione denominata 100: ivi le profondità idriche sono notevoli (si veda la figura 11 in cui è indicato il profilo del thalweg) e pertanto le velocità modeste. Si è però verificato che, per portate elevate, l'altezza cinetica residua non è del tutto trascurabile. Nel costruire la scala di deflusso del Lago si è allora fatto riferimento non alle quote idriche ottenute alla sez. 100 ma all'energia specifica totale. Se, come è lecito attendersi, le perdite a monte della sez. 100 sono modeste, tali valori possono ragionevolmente confondersi con le quote nel lago, se altri fenomeni, quali ad esempio sesse, non intervengono a modificarle.

Le figure 13÷16 e la tabella VII riportano, per le quattro sezioni considerate, le scale di deflusso di moto permanente per le due quote di ritenuta a Porto della Torre. Si è preferito esprimere tali quote direttamente in termini assoluti, per un immediato confronto. Le figure 17 e 18 riportano le scale alle quattro sezioni per le due quote di ritenuta a Porto della Torre.

Da esse possono farsi le seguenti considerazioni:

- la scala di deflusso a Sesto Calende, per la quota di ritenuta a Porto della Torre più bassa, fornisce una capacità di portata superiore rispetto a quella in vigore dal 1968, anch'essa riportata per confronto nella medesima figura 14. L'aumento di portata è di circa $50 \text{ m}^3/\text{s}$ in corrispondenza della quota idrica di 195 m s.l.m. (circa 2.00 m al di sopra dello zero). Un simile risultato, anche se con valori leggermente differenti, è stato trovato nello studio [8] che si basa, in parte, sulle medesime misure di portata e sull'utilizzo di un modello di moto permanente. Nella figura 14 sono anche riportate le quattro misure di portata effettuate durante le piene del 1991 e 1993.
- le scale di deflusso alla sezione di Miorina valle sono riportate in figura 16, assieme alle misure di portata effettuate in occasione delle piene del 1991 e 1993 ed anche ad una recente misura effettuata dall'Ufficio Idrografico, a sbarramento attivo e durante il periodo di alta quota di ritenuta a Porto della Torre. Quest'ultimo valore si posiziona quasi perfettamente sul piede della curva corrispondente, avvalorando le elaborazioni effettuate anche per bassi valori di portata. Queste scale di deflusso possono essere proficuamente utilizzate per la determinazione della portata complessivamente uscente dal Lago, qualunque sia la condizione di apertura dello sbarramento della Miorina. E' chiaro, però, che per bassi valori di portata la stima soffre di incertezze anche rilevanti dovute alla modestissima cadente idraulica che si instaura tra detta sezione e Porto della Torre. Rimane pertanto valida la procedura attualmente utilizzata dal Consorzio, anche se essa merita, come si è più volte avuto modo di segnalare, ulteriori approfondimenti. Nella stessa figura è anche indicata la scala di deflusso, riportata sull'Annale 1979, valida per la quota di ritenuta a Porto della Torre pari a 192.50 m s.l.m. Per bassi valori di portata le due scale, quella ottenuta mediante il modello e quella fornita dall'Ufficio Idrografico, sono abbastanza concordanti; al crescere della portata la scala ottenuta mediante il modello fornisce invece valori di portata significativamente più elevati, a parità di quota idrica.

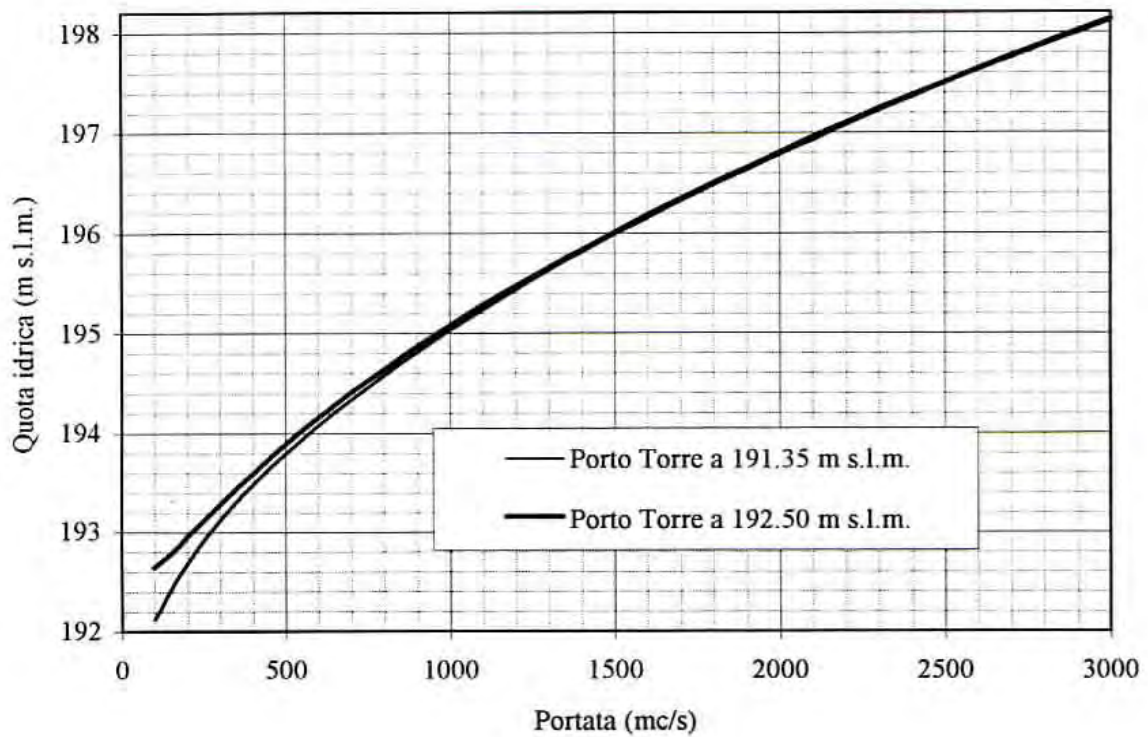


Fig. 13. Scale di deflusso per la sezione "Lago Maggiore"

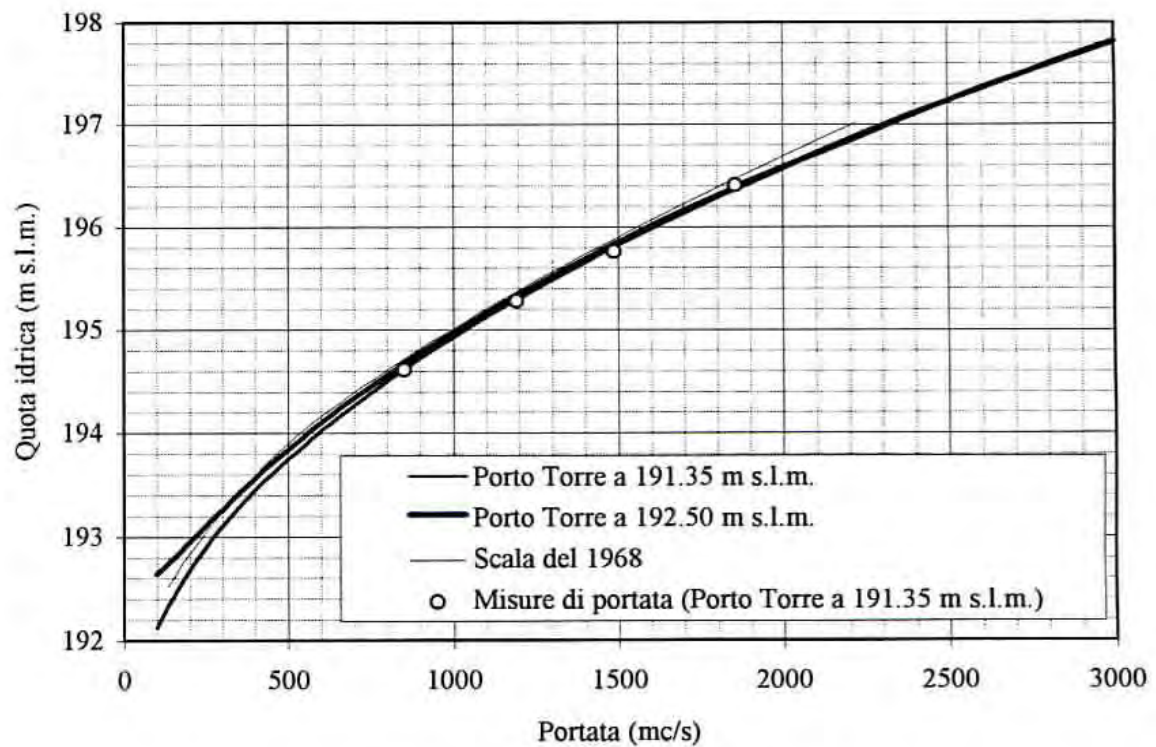


Fig. 14. Scale di deflusso per la sezione di Sesto Calende.

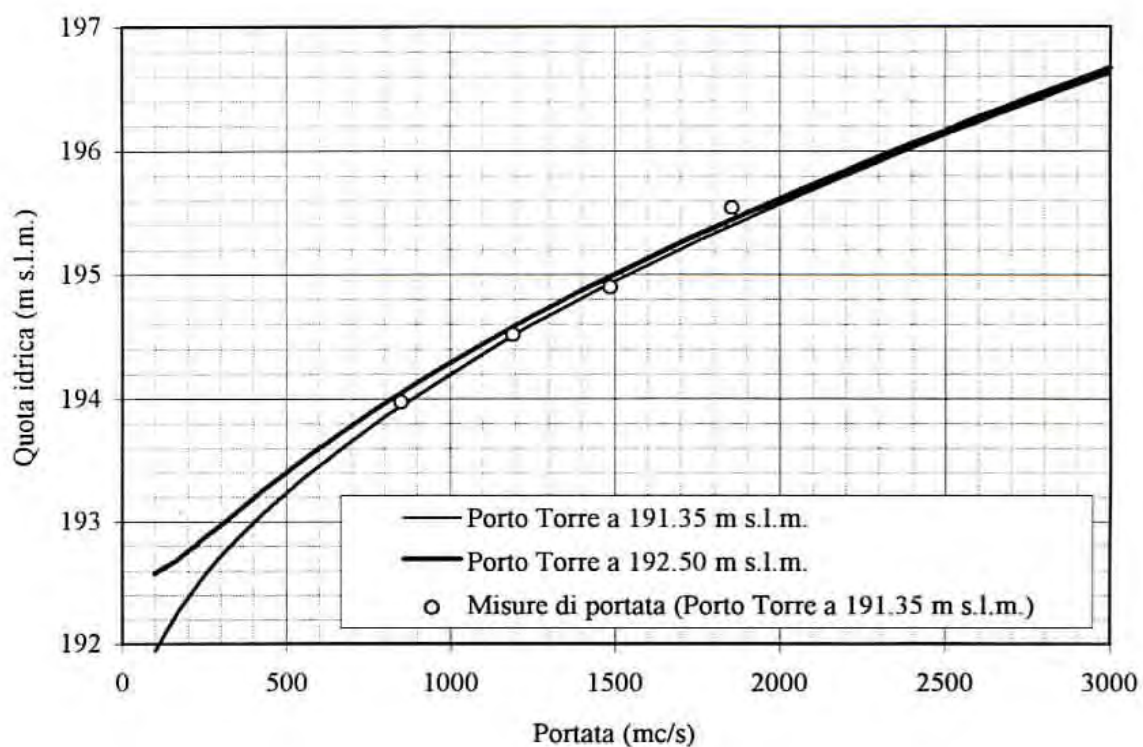


Fig. 15. Scale di deflusso per la sezione di Miorina - monte sbarramento.

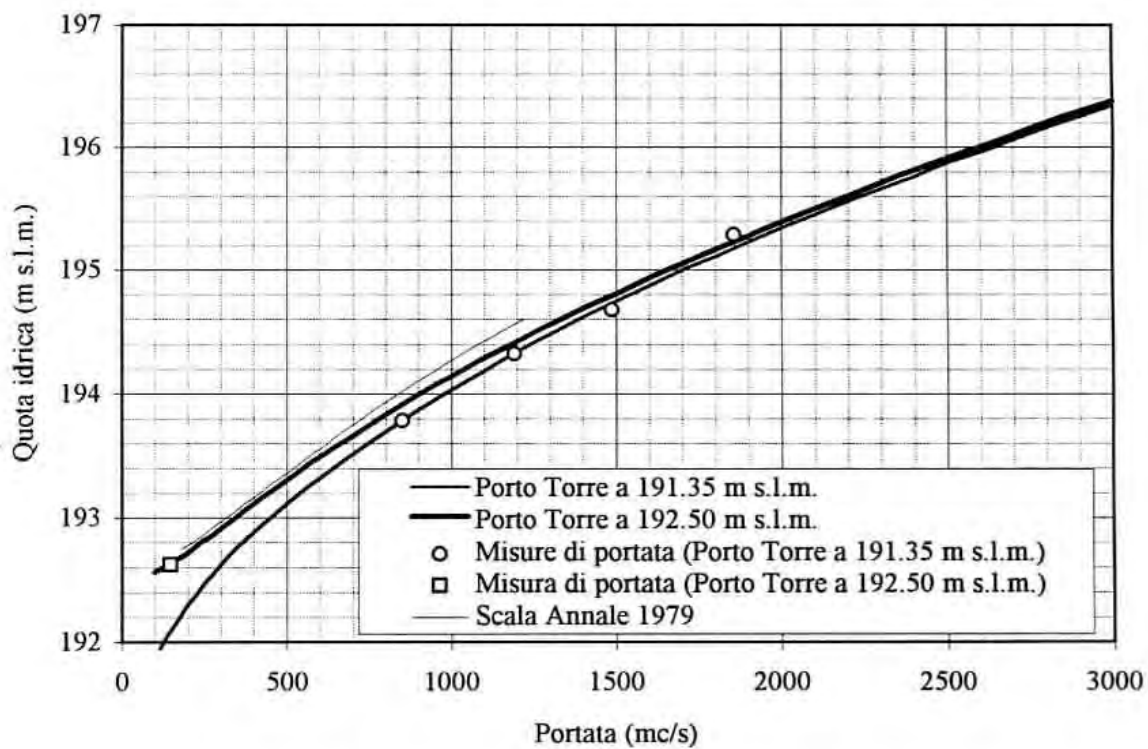


Fig. 16. Scale di deflusso per la sezione di Miorina - valle sbarramento.

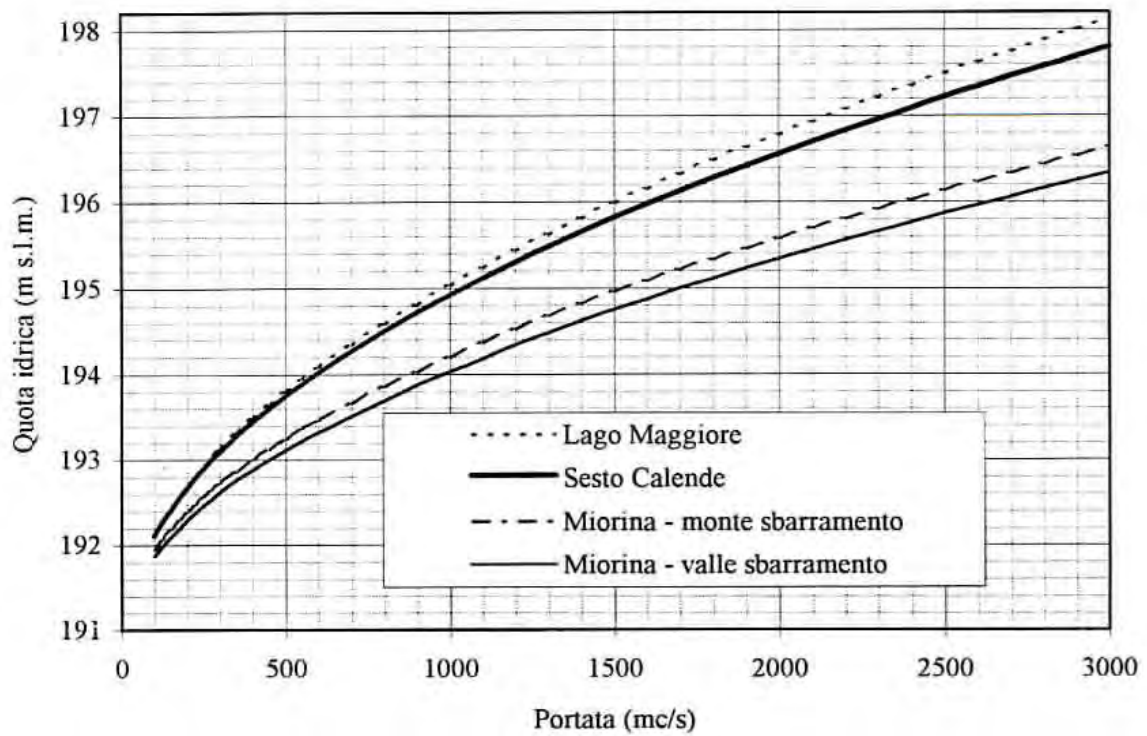


Fig. 17. Scale di deflusso per le quattro sezioni considerate e quota di ritenuta a Porto della Torre di 191.35 m s.l.m.

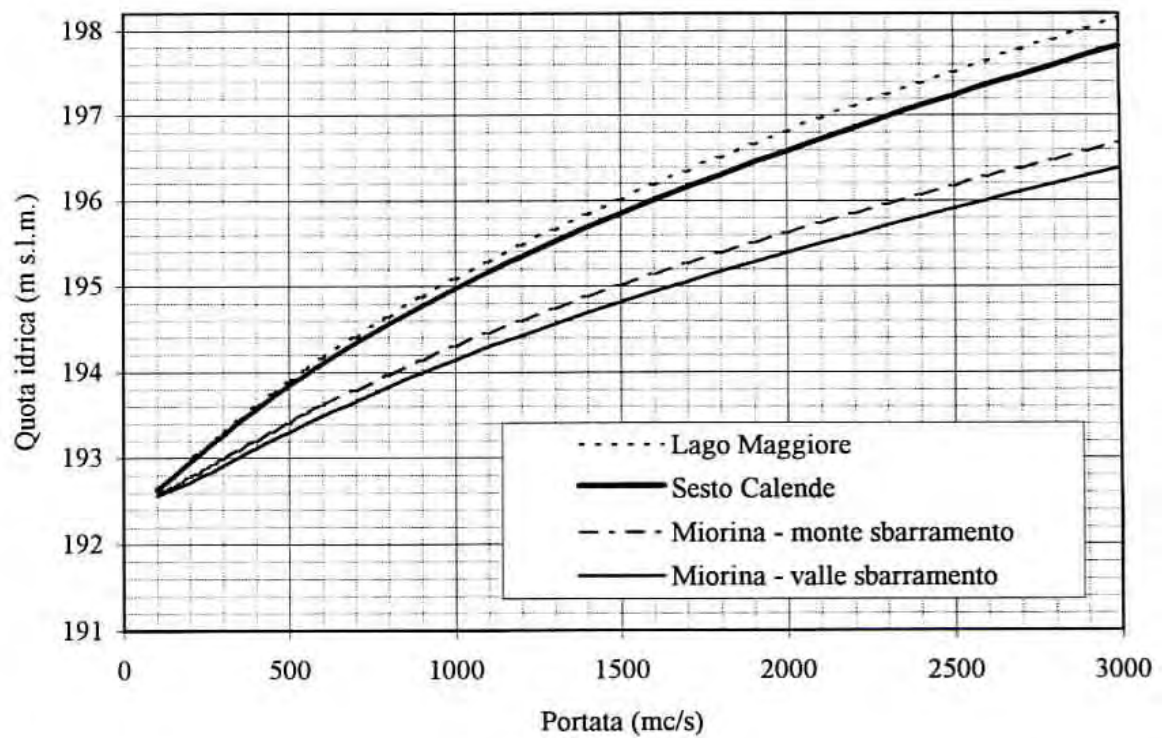


Fig. 18. Scale di deflusso per le quattro sezioni considerate e quota di ritenuta a Porto della Torre di 192.50 m s.l.m.

Portata (mc/s)	Quote idriche (m s.l.m.) P. Torre a 191.35				Quote idriche (m s.l.m.) P. Torre a 192.50			
	Lago	Sesto	M.Monte	M. Valle	Lago	Sesto	M.Monte	M. Valle
100	192.12	192.12	191.94	191.87	192.65	192.64	192.58	192.56
125	192.28	192.28	192.06	191.99	192.72	192.71	192.62	192.60
150	192.43	192.42	192.18	192.10	192.79	192.79	192.66	192.64
175	192.57	192.56	192.29	192.20	192.87	192.87	192.71	192.68
200	192.69	192.68	192.38	192.30	192.96	192.95	192.76	192.72
225	192.81	192.80	192.47	192.38	193.04	193.03	192.81	192.77
250	192.92	192.90	192.56	192.47	193.12	193.11	192.87	192.82
275	193.02	193.01	192.64	192.54	193.20	193.19	192.92	192.86
300	193.12	193.10	192.72	192.62	193.28	193.26	192.97	192.91
350	193.31	193.28	192.86	192.76	193.44	193.42	193.08	193.01
400	193.48	193.45	192.99	192.88	193.59	193.56	193.19	193.11
450	193.64	193.60	193.12	193.00	193.74	193.71	193.30	193.21
500	193.79	193.75	193.23	193.11	193.88	193.84	193.40	193.30
550	193.93	193.88	193.35	193.22	194.02	193.97	193.50	193.40
600	194.07	194.02	193.45	193.32	194.15	194.10	193.60	193.49
700	194.33	194.27	193.66	193.51	194.40	194.34	193.78	193.66
800	194.57	194.50	193.85	193.69	194.63	194.56	193.96	193.83
900	194.80	194.72	194.02	193.87	194.86	194.77	194.13	193.99
1000	195.02	194.92	194.19	194.03	195.07	194.97	194.29	194.14
1100	195.22	195.12	194.36	194.18	195.27	195.16	194.44	194.29
1200	195.42	195.30	194.52	194.34	195.46	195.34	194.59	194.42
1300	195.61	195.48	194.67	194.48	195.64	195.52	194.73	194.56
1400	195.79	195.65	194.81	194.62	195.82	195.69	194.87	194.69
1500	195.97	195.82	194.95	194.75	195.99	195.85	195.00	194.81
1600	196.13	195.98	195.08	194.87	196.16	196.01	195.13	194.94
1700	196.30	196.13	195.21	195.00	196.32	196.16	195.26	195.05
1800	196.46	196.28	195.33	195.11	196.48	196.30	195.38	195.17
1900	196.61	196.42	195.45	195.23	196.63	196.45	195.50	195.28
2000	196.76	196.56	195.57	195.34	196.78	196.58	195.61	195.39
2100	196.90	196.70	195.69	195.45	196.93	196.72	195.73	195.50
2200	197.05	196.83	195.80	195.56	197.07	196.85	195.84	195.60
2300	197.19	196.96	195.91	195.66	197.21	196.98	195.95	195.71
2400	197.32	197.09	196.02	195.76	197.34	197.11	196.06	195.81
2500	197.46	197.22	196.13	195.87	197.47	197.23	196.16	195.91
2600	197.59	197.34	196.23	195.96	197.60	197.36	196.27	196.00
2700	197.71	197.46	196.33	196.06	197.73	197.47	196.37	196.10
2800	197.84	197.57	196.43	196.16	197.85	197.59	196.47	196.20
2900	197.96	197.69	196.53	196.25	197.98	197.71	196.57	196.29
3000	198.08	197.80	196.63	196.34	198.10	197.82	196.67	196.38

Tab.VII. Scale di deflusso.

- poichè le perdite di carico e la trasformazione da energia potenziale in cinetica nel tratto compreso tra il lago e Sesto Calende sono, in condizioni di piena, sensibili, le differenze tra le quote idriche nel lago e quelle misurate a Sesto Calende risultano crescenti con la portata. La figura 19 mostra i valori di tali differenze ottenute col modello e con le elaborazioni riportate nello studio di Citrini [2] basate sulle contemporanee osservazioni di livello agli idrometri di Sesto Calende e Locarno. La concordanza è piuttosto buona, anche se, come si è già avuto modo di ricordare, i livelli del lago risultano influenzati da altri fattori, quali sesse, che provocano isteresi tra i livelli misurati a Sesto e quelli

misurati ai limnografi di Locarno e Pallanza. Nella valutazione dei volumi immagazzinati nel lago in condizioni di piena occorrerebbe tener conto di tale dislivello, che corrisponde, per le portate più elevate, ad alcune decine di milioni di metri cubi.

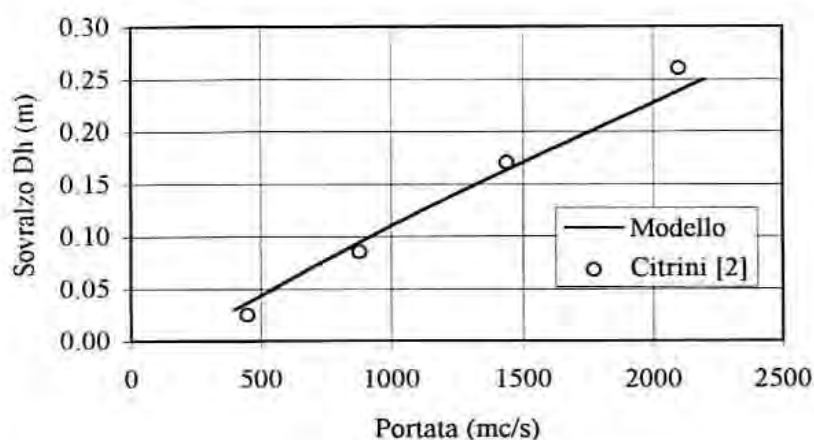


Fig. 19. Sovralzo dei livelli del Lago rispetto a Sesto Calende, in funzione della portata.

10. Considerazioni conclusive

I principali risultati ottenuti dal modello matematico del tratto di fiume Ticino compreso tra il lago e lo sbarramento di Porto della Torre possono così brevemente riassumersi:

- Nelle piene naturali i termini inerziali che compaiono nelle equazioni di De Saint Venant e quelli che interpretano i fenomeni di invaso e svaso sono trascurabili, cosicché è possibile riferirsi, anche in condizioni di piena, a scale di deflusso di moto permanente: ne è riprova il fatto che i cappi di piena ottenuti dalla simulazione, mediante il modello di moto vario, delle due piene dell'autunno 1991 e 1993 sono così "schiacciati" da poter ritenere in ogni caso univoco il legame tra portate e livelli idrici;
- I livelli idrici all'idrometro di Miorina - valle sbarramento e, in condizioni di regime libero, a Sesto Calende, sono influenzati dalla quota di ritenuta più alta a Porto della Torre, per portate fino a circa 1000 m³/s. Per portate superiori, l'effetto di rigurgito è più modesto e si estingue in un tratto più breve. In ogni caso è necessario definire due scale di deflusso di moto permanente, una per ognuna delle due quote di ritenuta a Porto della Torre (191.35 e 192.50 m s.l.m.);
- La scala di deflusso a Sesto Calende, in condizioni di regime libero e per la quota di ritenuta a Porto della Torre più bassa, restituisce, a parità di livello, portate superiori a quelle ottenibili sulla base delle scale del 1968. La portata al colmo della piena dell'autunno del 1993 risulta così di 2563 m³/s.
- La corrispondenza tra le portate ottenute dalla scala di deflusso all'idrometro di Miorina - valle sbarramento, ricostruita mediante il modello, e quelle calcolate con l'usuale procedura del Consorzio, ovvero sommando i prelievi degli utilizzatori principali alla portata eventualmente tracimante dalla traversa di Pamperduto, non è buona. Questo aspetto merita qualche approfondimento perchè la scala anzidetta potrebbe consentire, mediante la semplice lettura del livello idrico, di valutare la portata uscente dal lago, anche in condizioni di deflusso regolato, svincolandosi dalle letture alle singole utilizzazioni. Misure contemporanee di portata alla stazione di Golasecca ed alle

utilizzazioni potrebbe chiarire definitivamente l'incongruenza, che incide significativamente anche sui bilanci a scala annuale.

- E' possibile valutare l'incremento del livello idrico nel lago, in condizioni di piena, rispetto alla quota idrometrica misurata a Sesto Calende. Tale incremento dovrebbe essere tenuto in conto nella stima dei volumi invasati nel lago ed, in definitiva, nella valutazione delle portate di afflusso al lago.

11. Riferimenti bibliografici

1. Ambrosetti W. et al. (1994): La piena del lago Maggiore nell'autunno 1993, Documenta dell'Istituto italiano di Idrobiologia, N.45, CNR, Verbania Pallanza.
2. Citrini D. (1973): Le piene del lago Maggiore e del Ticino emissario nel primo trentennio di regolazione, Pubbl. N.14 del Consorzio del Ticino.
3. Citrini D. e G. Cozzo (1982): Influenze delle modalità di regolazione del lago Maggiore nei riguardi delle portate erogabili e dei livelli di piena, Pubbl. N.16 del Consorzio del Ticino.
4. Danish Hydraulic Institute (1993): MIKE11, Technical Reference and Scientific Documentation.
5. De Marchi G. (1950): Ripercussioni della regolazione del lago Maggiore sulle piene del lago e su quelle del Ticino a Sesto Calende, Pubbl. N.4 del Consorzio del Ticino (anche pubbl. N.86 dell'Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche del Politecnico di Milano).
6. Marchetti M. (1963): Sistemazione dell'alveo del fiume Ticino al Dosso dei Murazzi, Pubbl. N.8 del Consorzio del Ticino (anche pubbl. N.217 dell'Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche del Politecnico di Milano).
7. Marchetti M. e U. Raffa (1965): Le portate dell'incile del lago Maggiore in regime libero prima e dopo la sistemazione del suo alveo (cento anni di osservazioni idrografiche), Pubbl. N.11 del Consorzio del Ticino (anche pubbl. N.232 dell'Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche del Politecnico di Milano).
8. Ufficio Federale dell'Economia delle acque di Bellinzona (1993): Studio di fattibilità per un incremento del deflusso del fiume Ticino a Sesto Calende.
9. Verbale della Conferenza dei delegati tecnici svizzeri ed italiani per l'esame del progetto della sistemazione del lago Maggiore, Milano, 1938.

PUBBLICAZIONI DEL CONSORZIO DEL TICINO

- | | | | |
|----|------|---|---|
| 1 | 1940 | Prof. Ing. Giulio De Marchi | Sistemazione dello sbocco del Lago Maggiore |
| 2 | 1943 | Prof. Ing. Giulio De Marchi | Determinazione delle portate che la regolazione dei deflussi dal Lago Maggiore renderà disponibili per le utilizzazioni |
| 3 | 1950 | Prof. Ing. Giulio De Marchi | Determinazione dei benefici ritraibili dall'elevamento del limite superiore della trattenuta attiva dall'altezza di + 1,00 m a quella di + 1,50 m sopra lo zero dell'idrometro di Sesto Calende |
| 4 | 1950 | Prof. Ing. Giulio De Marchi | Ripercussioni della regolazione del lago Maggiore sulle piene del lago e su quelle del Ticino a Sesto Calende |
| 5 | 1950 | Prof. Ing. Giulio De Marchi | Variazioni provocate dalla regolazione dei deflussi nelle tenute dei livelli del lago Maggiore |
| 6 | 1955 | Prof. Ing. Giulio De Marchi | Determinazione delle portate che la regolazione del lago Maggiore renderà disponibili per le utilizzazioni. (seconda parte, anni 1945-1954) |
| 7 | 1961 | Consorzio del Ticino | Portate regolate giornaliere derivabili nei periodi irrigui dal 1916 al 1959 calcolate con le modalità del normale esercizio |
| 8 | 1963 | Prof. Ing. Mario Marchetti | Sistemazione dell'alveo del fiume Ticino al Dosso dei Murazzi |
| 9 | 1964 | Prof. Ing. Luigi Gherardelli | Influenza dei serbatoi montani alpini sulla regolazione del lago Maggiore |
| 10 | 1964 | Consorzio del Ticino | Portate autunno-inverno derivabili dal fiume Ticino calcolate con le modalità del normale esercizio dal 1916 al 1964 |
| 11 | 1965 | Prof. Ing. Mario Marchetti
Dr. Ing. Ugo Raffa | Le portate dell'incile del lago Maggiore in regime libero prima e dopo la sistemazione del suo alveo |
| 12 | 1965 | Prof. Ing. Mario Marchetti
Dr. Ing. Ugo Raffa | Le risorgenze nell'alveo del fiume Ticino dalla diga della Miorina al ponte di Turbigio |
| 13 | 1968 | Consorzio del Ticino | La regolazione del lago Maggiore nel primo venticinquennio di esercizio (1943-1967) |
| 14 | 1973 | Prof. Ing. Duilio Citrini | Le piene del lago Maggiore e del Ticino emissario nel primo trentennio di regolazione |
| 15 | 1981 | Prof. Ing. Duilio Citrini
Prof. Ing. Giuseppe Cozzo | Influenza dei serbatoi alpini sulla regolazione del lago Maggiore |
| 16 | 1982 | Prof. Ing. Duilio Citrini
Prof. Ing. Giuseppe Cozzo | Influenze delle modalità di regolazione del lago Maggiore nei riguardi delle portate erogabili e dei livelli di piena |
| 17 | 1986 | Prof. Ing. Piero Maria Pellò
Dr. Ing. Giulio Roncoroni | Informazioni relative all'evento di piena del lago Maggiore dell'aprile-maggio 1986 con analisi degli effetti, nella circostanza, di ipotetici interventi tendenti a ridurre le esondazioni |
| 18 | 1993 | Prof. Ing.
Domenico Zampaglione | Cinquanta anni di regolazione |