



**DICAR**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA**  
**dell'Università degli Studi di Pavia**

via Ferrata, 3 - 27100 Pavia ITALIA - Tel. (0382) 985.300 - 985.400 - 985.450  
Fax (0382) 985589 - 528422 - 985419  
Codice Fiscale 80007270186 Partita IVA 00462870189

Pavia, 10 marzo 2014

Prot. 2119

Tit. III / 19.172

Spett. le  
COMUNE DI SENAGO  
Via XXIV Maggio, 1  
Senago (MI)

c.a. di:  
Sindaco  
Responsabile del Settore Servizi Territoriali  
Responsabile Settore Affari Generali

**OGGETTO:** Realizzazione della vasca di laminazione nel Comune di Senago.  
Contratto di consulenza scientifica e tecnica

Come concordato verbalmente con il prof. Luigi Natale e come previsto dal Contratto in oggetto, vi trasmettiamo la Relazione Descrittiva Intermedia.

Cordiali saluti.

Il Direttore di Dipartimento



**DICAR**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA**  
dell'Università degli Studi di Pavia

via Ferrata, 3 - 27100 Pavia ITALIA - Tel. (0382) 985.300 - 985.400 - 985.450  
Fax (0382) 985589 - 528422 - 985419  
Codice Fiscale 80007270186 Partita IVA 00462870189

**Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura**  
**Università degli Studi di Pavia**

**CONSULENZA SCIENTIFICA E TECNICA RELATIVA ALL'ANALISI DELLA  
PROPOSTA DI REALIZZAZIONE DELLE VASCHE DI LAMINAZIONE NEL  
COMUNE DI SENAGO**

**RELAZIONE TECNICA INTERMEDIA**

**1. PREMESSA**

In data 30 novembre 2013 il Comune di Senago (MI) sottoscrisse con il Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Pavia (Dipartimento) un contratto di consulenza scientifica e tecnica relativa all'analisi della proposta di realizzazione di una vasca di laminazione nel comune di Senago, ai fini del controllo delle piene del t. Seveso.

Tra le attività dello studio in contratto è inclusa la predisposizione di una Relazione Intermedia con il confronto e la valutazione dell'efficienza idraulica di diverse proposte alternative di intervento di controllo delle piene del t. Seveso.

Come richiesto dal contratto di consulenza, incaricati del Dipartimento parteciparono alle riunioni tecniche tenute presso la sede del Comune nei giorni 23 maggio 2013, 30 maggio 2013, 15 novembre 2013, 23 dicembre 2013, 13 gennaio 2014, alla Conferenza di Servizi tenutasi presso la Regione Lombardia in data 09 dicembre 2013 e alla audizione con la Commissione Territorio e Infrastrutture della Regione Lombardia in data 16 gennaio 2014.

Il rappresentante del Dipartimento fu invitato a partecipare alle sopracitate riunioni allo scopo di raccogliere le considerazioni dell'Amministrazione Comunale e, di conseguenza, definire il quadro dell'attività di consulenza. Nel corso dei vari incontri, fu specificato che la consulenza del Dipartimento si rivolge alla valutazione della funzionalità idraulica dell'opera di scolmo delle piene collocata sul territorio comunale di Senago condotta tramite il confronto con altre possibili alternative già previste dal piano di opere idrauliche per la riduzione del rischio di esondazione del torrente Seveso.

Nei successivi punti della presente relazione saranno esposti in maniera sintetica:

- il quadro storico-geografico della rete idrografica naturale e artificiale ricadente sul territorio milanese;
- il piano degli interventi per il controllo alle piene del t. Seveso;
- l'analisi dell'efficienza idraulica della vasca di laminazione di Senago condotta tramite confronto con altre possibili alternative d'intervento.

## 2. LA RETE IDROGRAFICA MILANESE

La rete idrografica gravitante sull'area metropolitana milanese, il cui schema funzionale è presentato in figura 1, può essere suddivisa in corsi d'acqua che recapitano i deflussi di piena a ovest di Milano, nel Ticino e nel Lambro Meridionale, e corsi d'acqua a est di Milano, che versano nel fiume Lambro. I contributi di piena del t. Seveso e dei torrenti che scorrono ad ovest di esso e che attraversano la città di Milano, in gran parte tombati, vengono in parte scolmati nel Canale Scolmatore di Nord Ovest (CSNO), che costituisce la gronda settentrionale alla quale è affidata la difesa idraulica di Milano.

La portata dei t. Seveso e Garbogera non intercettata dal CSNO defluisce nel cavo Redefossi che, unitamente al cavo Vettabbia e a un collettore secondario, versa nel f. Lambro, recapito della parte orientale della rete.

Gli immissari al CSNO sono, procedendo da est verso ovest, il t. Seveso, i torrenti Guisa, Nirone, Pudiga, Garbogera, il t. Lura, il ramo urbano, in Rho, del t. Bozzente, il f. Olona.

Dal nodo idraulico di Vighignolo si dipartono i due emissari del CSNO: il ramo di CSNO che giunge al f. Ticino in Comune di Abbiategrasso e il Canale Deviatore dell'Olona che scorre circa perpendicolarmente al primo e recapita la portata scolmata dal CSNO, insieme alla portata di piena di alcuni collettori fognari milanesi e allo scarico degli impianti di trattamento delle acque di Rho-Però e di Corsico, nel Lambro Meridionale il quale costituisce attualmente il prolungamento dell'Olona milanese essendo stato chiuso lo scarico dell'Olona nella darsena di Porta Ticinese.

Ai corsi d'acqua che attraversano Milano giungono anche i recapiti di piena dei collettori fognari cittadini.

L'attuale assetto della rete idrografica è la conseguenza dei ripetuti interventi di sistemazione attuati negli ultimi 60 anni. Nel passato, quasi tutti i corsi d'acqua prima citati esondavano frequentemente allagando vaste aree di pianura. Ad esempio, nel corso delle piene del 1947 e del 1951 fu inondata nella provincia di Milano un'area vasta più di 300 km<sup>2</sup>.

Il primo tronco dell'attuale CSNO, dal Ticino al Naviglio Grande, nasce come recapito degli scolmi del medesimo naviglio il quale non era in grado di contenere le sue piene e inondava vaste aree tra Milano e Abbiategrasso. Inoltre, gli scolmi del Naviglio Grande provocavano piene nelle rogge Ticinello e Gamberina e, di conseguenza, inondazioni in provincia di Pavia.

In anni recenti hanno provocato estesi allagamenti l'Olona e tutti gli altri corsi d'acqua minori: ad esempio i t. Pudica e Garbogera hanno inondato parte dei territori comunali di Limbiate, Novate Milanese, Senago e Bollate.

Il t. Seveso ha inondato frequentemente la zona di Niguarda: per questo motivo il Comitato Coordinatore per le Acque della Provincia di Milano propose l'estensione del CSNO fino al t. Seveso. L'opera di presa e il nuovo tratto del CSNO furono ultimati nel 1980.

Riassumendo, la rete idrografica che corre a ovest di Milano funziona nel modo seguente:

- il ramo Seveso del CSNO raccoglie lo scolmo del Seveso proveniente da Palazzolo;
- più a valle, il CSNO intercetta parte dei deflussi di: Garbogera, Pudiga, Guisa e Nirone;
- successivamente il CSNO riceve lo scolmo di piena dell'Olona al nodo idraulico Olona2, che si trova a valle di Rho, e quindi si congiunge a Vighignolo con il ramo Olona del

CSNO che convoglia le portate derivate dall'Olonal alla presa Olona1, posta a monte di Rho;

- più a valle, deflussi del CSNO vengono in parte deviati nel canale Deviatore Olona che recapita nel Lambro Meridionale;
- tra Vighignolo e Poscallone di Abbiategrasso, ove è posta la presa dal Naviglio Grande, il CSNO riceve i contributi di circa 30 rogge, prima di sfociare in Ticino.

Nell'ottobre 1988, la Provincia di Milano in accordo con il Magistrato per il Po, predispose il Progetto Generale di massima dell'ampliamento del canale da Palazzolo a Vighignolo, al fine di migliorare la situazione idraulica del CSNO.

Nel 1999 la Regione Lombardia, la Provincia di Milano, il Comune di Milano, il Magistrato per il Po e l'Autorità di Bacino del Fiume Po sottoscrissero un accordo di Programma per la "Salvaguardia Idraulica della città di Milano".

Nel marzo 2001 l'Autorità di Bacino del fiume Po avviò lo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olonal".

Lo studio, che fu concluso nel 2004, propone la formazione di 33 aree di laminazione per una complessiva capacità d'invaso pari a 17 hm<sup>3</sup> e interventi di laminazione urbana finalizzata al rispetto della normativa regionale, canali scolmatori e diversivi, finalizzati a evitare le esondazioni dai corsi d'acqua in occasioni di piene con tempo di ritorno non superiore ai 100 anni e ai 200 per il Lambro.

Sulla scorta di diverse analisi e modellazioni idrologiche e idrauliche, lo studio dell'Autorità di Bacino del fiume Po rivalutò le portate e i volumi di piena da considerarsi per pianificare gli ulteriori interventi di protezione idraulica.

### 3. IL PIANO DEGLI INTERVENTI NEL BACINO DEL T. SEVESO

Tra il 1976 e il 2011 sono avvenute 90 esondazioni dal t. Seveso con una frequenza media di 5 ogni due anni. La statistica storica segnala la tendenza a crescere delle esondazioni che, nel più recente periodo 2005-2011, hanno mediamente superato le tre all'anno.

Il progressivo peggioramento della condizione idraulica del torrente si spiega con il continuo aumento della portata di piena proveniente dal bacino di monte - della cui superficie totale pari a 226 km<sup>2</sup> circa 100 km<sup>2</sup> risultano urbanizzati - a fronte della permanente limitata capacità di deflusso dell'alveo tombinato in Milano che è stimata nell'ordine di 30÷40 m<sup>3</sup>/s.

Per conto della Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPO), fu predisposto nel giugno 2011: lo Studio Idraulico del t. Seveso chiuso alla sezione di presa del CSNO in località Palazzolo in Comune di Paderno Dugnano (MI) e lo Studio di fattibilità della vasca di laminazione del CSNO a Senago (MI).

Questo studio rappresenta l'aggiornamento e lo sviluppo di dettaglio del piano, citato nel paragrafo precedente, predisposto dall'Autorità di Bacino. Nel medesimo anno, su incarico del Comune di Milano la Metropolitana Milanese S.p.A. eseguì lo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del t. Seveso nella tratta compresa tra Palazzolo e Milano nell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona".

Lo studio AIPO ha definito, per il t. Seveso, l'idrogramma della piena di progetto con differenti tempi di ritorno, applicando di modelli matematici che riproducono:

- lo ietogramma dello scroscio temporalesco che causa la piena fluviale;
- il processo di trasformazione della precipitazione in scorrimento idrico sulla superficie del bacino idrografico e gli altri processi che avvengono a scala di bacino;
- la propagazione nell'alveo del t. Seveso delle onde di piena provenienti dai singoli sottobacini.

I pur aggiornati e dettagliati modelli matematici usati nello studio di fattibilità riproducono in maniera semplificata i fenomeni naturali; la semplificazione, fatta sempre a favore di sicurezza, è particolarmente evidente nella modellazione della pluviometria.

Pertanto, i parametri dei modelli matematici sono stati calibrati in modo che la ricostruzione modellistica dei livelli idrici del t. Seveso misurati a Palazzolo in occasione di alcune piene storiche risultasse attendibile.

I modelli così tarati sono stati utilizzati per la ricostruzione dell'idrogramma di piena con diversi tempi di ritorno.

Lo studio AIPO conclude che:

- è impossibile aumentare l'attuale capacità di deflusso dell'alveo del Seveso-Redefossi, ossia dell'alveo cittadino,
- la massima portata convogliabile nel tronco cittadino è pari a 40 m<sup>3</sup>/s,
- il contributo del bacino del Seveso compreso tra la presa di Palazzolo e l'ingresso del t. Seveso in Milano satura la capacità di portata dell'alveo cittadino,

- a favore di sicurezza, la piena proveniente dal bacino di monte deve essere completamente intercettata a Palazzolo deviando la portata in arrivo verso il CSNO che deve essere adeguato alla bisogna,
- debbono essere disposte opere di laminazione della piena lungo il t. Seveso prima della deviazione verso il Canale Scolmatore, in quanto la portata al colmo della piena centennale del t. Seveso è pari a  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  mentre la capacità di scolmo del CSNO non supera i  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- poiché il progetto dei “Lavori di adeguamento funzionale del CSNO nel tratto compreso tra Senago e Settimo Milanese – M.I.E.781” predisposto da AIPO e dalla Provincia di Milano stabilisce che la portata massima ammessa nel CSNO a valle di Senago sia di  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  deve essere realizzata a Senago una vasca di laminazione adeguata a contenere il volume scolmato. La portata massima scolmabile risulta pari alla differenza tra la portata in arrivo e la portata uscente dal nodo di Vighignolo:  
$$Q_s = 60 - 25 = 35 \text{ m}^3/\text{s}$$
- la capacità di laminazione da rendere disponibile mediante bacini di laminazione lungo la parte terminale del t. Seveso è stimata in circa  $4.4 \text{ hm}^3$ .

Il progetto preliminare, lo studio di prefattibilità ambientale e il “Progetto definitivo I lotto funzionale dei lavori di realizzazione della vasca di laminazione sul f. Seveso in Comune di Senago (M.I.E.789)” predisposto nel novembre 2012 da ETATEC S.r.l., Studio Paoletti Ingegneri Associati, Studio Associato di Geologia Spada, Land Milano Srl per conto dell’Agenzia Interregionale per il fiume Po considerano di rendere disponibile la richiesta capacità di laminazione pari a  $4.4 \text{ hm}^3$  realizzando le vasche già indicate nel precedente studio dell’Autorità di Bacino.

La posizione delle vasche è indicata, procedendo da monte verso valle, nella seguente tabella ed è riportata la planimetria riprodotta nella pagina seguente. La tabella riporta anche la richiesta di capacità di invaso e il tempo di svuotamento di ciascuna vasca.

Località della Vasca di laminazione	Capacità di invaso ( $\text{hm}^3$ )	Tempo di svuotamento (giorni)
Carimate	0.22	-
Lentate	0.85	2
Varedo	1.50	9
Paderno Dugnano	0.95	5.5
Senago	1.00	6



#### 4. ANALISI DELLE ALTERNATIVE DI INTERVENTO

Il costo del complessivo sistema di opere di controllo delle piene del t. Seveso, finalizzato alla mitigazione del rischio idraulico in Milano, è elevato e il finanziamento delle opere deve essere distribuito nel tempo.

Il sistema delle opere idrauliche deve dunque essere realizzato per stralci funzionali scaglionati nel tempo.

L'Amministrazione comunale di Senago ritiene che lo stralcio funzionale da realizzarsi per primo non debba riguardare la vasca di Senago.

Nelle discussioni con l'Amministrazione committente sono stati toccati diversi argomenti. Molti di questi esulano dal rapporto di consulenza e quindi non saranno sviluppati qui di seguito.

A parere degli scriventi, i dubbi sollevati dalla Committenza rispetto alla scelta di realizzare la vasca di Senago come primo stralcio dei lavori sul t. Seveso possono essere sintetizzati nei due seguenti quesiti:

1. nella presente situazione di fatto, una vasca di laminazione posta in fregio al t. Seveso risulterebbe più efficiente della vasca di Senago?
2. quale vasca, tra quella in fregio al t. Seveso e quella di Senago, sarà più vantaggiosa dal punto di vista idraulico quando il sistema delle opere di controllo delle piene sarà ampliato con la realizzazione del secondo stralcio funzionale?

Per studiare l'efficacia della vasca di laminazione di Senago nello scolmo delle piene del t. Seveso si pone a confronto il suo funzionamento con quello della vasca posta nella vicina località di Paderno Dugnano.

Infatti, gli scriventi ritengono che il confronto tra la vasca di Senago e altre vasche disposte più a monte lungo il t. Seveso richieda informazioni sulla dinamica della propagazione della piena più dettagliate di quelle ora disponibili, in quanto le condizioni in cui si trovano ad operare due opere distanti tra loro non sono direttamente confrontabili a causa della differenza di forma, volume e tempo di arrivo dell'onda nelle due diverse sezioni fluviali.

Le due vasche di Senago e di Paderno Dugnano hanno capacità di invaso tra loro paragonabili mentre diverse sono le modalità con cui scolmano la piena.

- La vasca di Senago entra in funzione solo quando la portata immessa nel ramo Seveso del CSNO supera il limite dei  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  attualmente convogliabili dal CSNO a valle di Senago. Ne segue che la portata massima scolmabile nella vasca risulta pari a  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ . La struttura idraulica opera in modo rigido, ossia non richiede regolazione.
- La vasca di Paderno Dugnano deriva direttamente dal corso d'acqua per cui la portata scolmabile in vasca è unicamente limitata dall'esigenza di non saturare la sua capacità di invaso prima della fine della fase critica del fenomeno. L'opera idraulica può essere gestita in maniera dinamica regolando l'operazione di scolmo sulla previsione in tempo reale dell'onda in arrivo onde massimizzare l'efficacia della manovra.

In altre parole, se la piena in arrivo è generata da una pioggia molto intensa ma di durata proporzionalmente breve e, quindi, ha un'elevata portata al colmo e un ridotto volume sarà possibile incrementare lo scolmo in vasca all'aumentare della portata in alveo senza saturare anzitempo la capacità di invaso della medesima. Opposta sarà la

manovra da attuare quando la portata al colmo sarà minore e il volume della piena in arrivo sarà maggiore.

Lo Studio di fattibilità su cui si basano le scelte del Progetto preliminare considera tra le ipotesi semplificatrici che la distribuzione nello spazio della precipitazione non varia nel corso dell'evento pluviometrico.

Poiché, come mostrano anche alcuni esempi riportati negli elaborati progettuali, il centro di scroscio di una perturbazione interessante un bacino delle dimensioni, della forma e dell'orografia come quelle del t. Seveso non può rimanere fermo nel medesimo punto per tutta la durata dell'evento né la intensità di pioggia può essere uniformemente distribuita sull'area del bacino idrografico, dobbiamo ritenere che l'ipotesi semplificatrice adottata dallo Studio di fattibilità sia decisamente conservativa.

Le simulazioni idrauliche svolte nel nostro studio, ipotizzano la massima intensità di pioggia sul bacino del t. Seveso a valle di Palazzolo non sia contemporanea all'arrivo del colmo della piena proveniente da monte. Ossia, nelle ore in cui piove intensamente sulle zone prealpine non necessariamente la pioggia cade con la massima intensità anche in pianura.

Di conseguenza, le nostre elaborazioni ammettono che sia possibile rilasciare da Palazzolo verso Milano una portata non superiore ai 10 m<sup>3</sup>/s anche durante l'evento di piena.

Il confronto di efficienza tra le diverse alternative di intervento è svolto considerando il funzionamento delle opere in occasione dei 6 eventi di piena più critici tra quelli registrati nel periodo 2010-2012 i cui caratteri salienti sono riassunti nella sottostante tabella. Nelle consecutive colonne sono riportati, per ciascuna piena: la data dell'evento, la portata di picco - Q<sub>P</sub> (m<sup>3</sup>/s) -, il volume - V (hm<sup>3</sup>) -, la durata - D (ore) -, la portata media - Q<sub>M</sub> (m<sup>3</sup>/s) -, il rapporto tra la portata al colmo e la portata media - R -.

N.	Data	Q <sub>P</sub> (m <sup>3</sup> /s)	V (hm <sup>3</sup> )	D (ore)	Q <sub>M</sub> (m <sup>3</sup> /s)	R
1	02/05/2010	83.5	3.03	29.5	28.6	2.9
2	12/05/2010	86.0	13.56	113.5	33.2	2.6
3	18/09/2010	114.0	3.11	17.7	48.8	2.3
4	01/11/2010	96.5	8.60	67.5	35.4	2.7
5	06/08/2011	130.5	1.50	9.2	45.5	2.9
6	12/09/2012	115.0	1.62	14.8	30.4	3.8

Il campione di eventi di piena è da considerarsi rappresentativo delle diverse situazioni idrologiche perché contiene sia eventi con elevata portata al colmo e volume piuttosto ridotto sia piene con portata al colmo più modesta ma volume dell'onda molto grande.

Per rispondere in maniera quantitativa chiara ai due quesiti prima posti, sono state studiati tre diversi scenari:

- Il primo scenario corrisponde alla realizzazione di un'unica vasca di laminazione ubicata a Senago o, in alternativa, a Paderno Dugnano, essendo per entrambe la portata massima scolmabile limitata a 35 m<sup>3</sup>/s .
- Il secondo scenario aggiunge al primo (realizzazione di un'unica vasca di laminazione ubicata a Senago o, in alternativa, a Paderno Dugnano) l'aumento della capacità di deflusso del Canale Scolmatore a valle di Senago attuato attraverso la rimozione delle

strozzature poste sul CSNO e sul Deviatore dell'Olonà. Gli scriventi valutano in prima istanza che la portata esitabile attraverso il CSNO a valle di Senago sia incrementabile fino a  $40\text{m}^3/\text{s}$ .

- Il terzo scenario considera la contemporanea operatività delle due vasche di Senago e di Paderno Dugnano associata al potenziamento della capacità di deflusso del CSNO. Secondo gli scriventi questo scenario rappresenterebbe la configurazione del sistema di protezione contro il rischio idraulico del t. Seveso a seguito della realizzazione del secondo stralcio funzionale.

La sintesi dei risultati delle simulazioni per i tre diversi scenari è presentata nei successivi paragrafi.

#### 4.1. PRIMO SCENARIO

La tabella 1a elenca i parametri del sistema idraulico simulato nel calcolo con la sola vasca di Senago operativa.

Elementi	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (hm <sup>3</sup> )
Portata del Seveso verso Milano	10.00	0.00
Portata immessa nel CSNO	60.00	0.00
Portata nel CSNO a valle di Senago	25.00	0.00
Vasca Senago	35.00	1.00
Vasca Paderno	0.00	0.00

La tabella 1b elenca i parametri del sistema idraulico simulato nel calcolo con la sola vasca di Paderno Dugnano Senago operativa.

Elementi	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (hm <sup>3</sup> )
Portata del Seveso verso Milano	10.00	0.00
Portata immessa nel CSNO	25.00	0.00
Portata nel CSNO a valle di Senago	25.00	0.00
Vasca Senago	0.00	0.00
Vasca Paderno	35.00	0.95

La tabella 2a riporta per i 6 eventi di piena storici, nel caso di vasca di Senago operativa ovvero vasca di Paderno Dugnano operativa, i valori calcolati della massima portata di esondazione e del volume d'acqua uscito dall'alveo a Niguarda

I valori delle grandezze sono dati sia in termini assoluti che in termini percentuali dei valori dell'onda di piena in arrivo a Palazzolo.

N.	Data	Primo Scenario				Vasca a Paderno		Vasca a Senago	
		Esondazione con Vasca a Paderno		Esondazione con Vasca a Senago		Esondazione in percento del valore di piena		Esondazione in percento del valore di piena	
		Q <sub>PE</sub> (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>E</sub> (hm <sup>3</sup> )	Q <sub>PE</sub> (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>E</sub> (hm <sup>3</sup> )	Q <sub>PE</sub> (%)	V <sub>E</sub> (%)	Q <sub>PE</sub> (%)	V <sub>E</sub> (%)
1	02/05/2010	13.45	0.04	13.45	0.04	0.16	0.01	0.16	0.01
2	12/05/2010	31.06	1.24	31.06	1.18	0.36	0.09	0.36	0.09
3	18/09/2010	43.27	0.53	43.27	0.53	0.38	0.17	0.38	0.17
4	01/11/2010	61.48	1.44	61.48	1.40	0.64	0.17	0.64	0.16
5	06/08/2011	60.51	0.28	60.51	0.28	0.46	0.18	0.46	0.18
6	12/09/2012	44.86	0.17	44.86	0.17	0.39	0.11	0.39	0.11

Tabella 2a – Risultati del calcolo di simulazione: esondazione

Come atteso, a pari caratteristiche dimensionali delle vasche corrisponde pari capacità di laminazione. Solo nel caso dell'onda di piena multipla del 12 maggio 2010 che aveva un grande volume, la minore capacità di invaso della vasca di Paderno Dugnano si fa risentire: la vasca si riempie prima della fine della piena.

La tabella 2b elenca i volumi invasati in ciascuna delle vasche alla fine della piena.

Primo Scenario			
		Volume invasato con Vasca a Paderno	Volume invasato con Vasca a Senago
N.	Data	$V_V$ (hm <sup>3</sup> )	$V_V$ (hm <sup>3</sup> )
1	02/05/2010	0.55	0.55
2	12/05/2010	0.95	1.00
3	18/09/2010	0.87	0.87
4	01/11/2010	0.95	1.00
5	06/08/2011	0.40	0.40
6	12/09/2012	0.28	0.28

Tabella 2b – Risultati del calcolo di simulazione: volumi invasati in vasca

In occasione delle piene 12 maggio 2010 e 1 novembre 2010 l'esonazione è dovuta alla limitata capacità di invaso del sistema idraulico; nelle altre 4 occasioni invece l'esonazione è dovuta alla insufficiente dimensione dell'opera di sfioro per lo scollo in vasca.

La figura 2 presenta gli idrogrammi delle portate entranti nelle vasche e delle portate di possibile esonazione a valle di Palazzolo (calcolate come supero della soglia di 10 m<sup>3</sup>/s) in occasione della piena del 12 maggio 2010: per facilitare il confronto, i risultati dei due scenari sono riportati sullo stesso grafico.

Il grafico riporta anche la portata di piena del t. Seveso proveniente da monte.

## 4.2 SECONDO SCENARIO

I calcoli di simulazione del primo scenario mostrano che in quattro casi sui sei esaminati l'esonazione è addebitabile alla insufficiente capacità di scolmo in vasca. Risulta quindi evidente come un sensibile miglioramento all'efficienza del sistema di riduzione del rischio idraulico possa essere conseguito attraverso un potenziamento della capacità di deflusso del Canale Scolmatore a valle di Senago.

Le tabelle 3a e 3b elencano i parametri del sistema idraulico simulato nel calcolo rispettivamente con la sola vasca di Senago operativa ovvero con la sola vasca di Paderno Dugnano operativa.

Elementi	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (hm <sup>3</sup> )
Portata del Seveso verso Milano	10.00	0.00
Portata immessa nel CSNO	60.00	0.00
Portata nel CSNO a valle di Senago	40.00	0.00
Vasca Senago	20.00	1.00
Vasca Paderno	0.00	0.00

Elementi	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (hm <sup>3</sup> )
Portata del Seveso verso Milano	10.00	0.00
Portata immessa nel CSNO	40.00	0.00
Portata nel CSNO a valle di Senago	40.00	0.00
Vasca Senago	0.00	0.00
Vasca Paderno	45.00	0.95

I risultati delle simulazioni sono rappresentati in tabella 4a e 4b.

N.	Data	Secondo Scenario				Vasca a Paderno		Vasca a Senago	
		Esonazione con Vasca a Paderno		Esonazione con Vasca a Senago		Esonazione in percento del valore di piena		Esonazione in percento del valore di piena	
		Q <sub>PE</sub> (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>E</sub> (hm <sup>3</sup> )	Q <sub>PE</sub> (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>E</sub> (hm <sup>3</sup> )	Q <sub>PE</sub> (%)	V <sub>E</sub> (%)	Q <sub>PE</sub> (%)	V <sub>E</sub> (%)
1	02/05/2010	0.00	0.00	13.45	0.04	0.00	0.00	0.16	0.01
2	12/05/2010	0.00	0.00	16.11	0.14	0.00	0.00	0.19	0.01
3	18/09/2010	18.27	0.13	43.27	0.53	0.16	0.04	0.38	0.17
4	01/11/2010	45.00	0.95	26.48	0.39	0.47	0.11	0.27	0.04
5	06/08/2011	35.51	0.11	60.51	0.28	0.27	0.07	0.46	0.18
6	12/09/2012	19.86	0.05	44.86	0.17	0.17	0.03	0.39	0.11

Tabella 4a – Risultati del calcolo di simulazione: esondazione

La configurazione con vasca di Paderno Dugnano risulta generalmente più efficiente in 5 casi su 6 mentre è meno efficiente in occasione della piena del 01 novembre 2010 caratterizzata da elevata portata al colmo e grande corpo d'acqua.

Nel caso in cui lo scolmo venisse gestito tenendo conto delle caratteristiche dell'onda in arrivo la migliore efficienza della vasca di Paderno Dugnano risulterebbe più evidente: in occasione delle piene del 6 agosto 2011 e 12 settembre 2012 l'esonazione sarebbe evitata.

Invece la piena del novembre 2011 non può in alcun modo essere controllata.

Secondo Scenario			
		Volume invasato con Vasca a Paderno	Volume invasato con Vasca a Senago
N.	Data	$V_V$ (hm <sup>3</sup> )	$V_V$ (hm <sup>3</sup> )
1	02/05/2010	0.26	0.22
2	12/05/2010	0.86	0.72
3	18/09/2010	0.85	0.45
4	01/11/2010	0.95	0.99
5	06/08/2011	0.38	0.21
6	12/09/2012	0.30	0.13

Tabella 4b – Risultati del calcolo di simulazione: volumi invasati in vasca

L'aumento della capacità di deflusso del CSNO a valle di Senago:

- riduce sensibilmente la richiesta di capacità di invaso in quanto lo scolmatore adduce verso valle un volume d'acqua sensibilmente maggiore,
- riduce l'utilità della vasca di Senago che viene meno utilizzata, come si rileva dal confronto tra le tabelle 2b e 4b,
- fa dipendere sempre più l'efficienza del sistema idraulico dalla possibilità di derivare nella vasca una grande portata.

Queste considerazioni sono esemplificate dai grafici delle figure 2 che si riferiscono alla piena del 6 agosto 2011, che fu di elevata portata al colmo ma di breve durata.

Il grafico di figura 3a mostra come opera la vasca di Paderno Dugnano quando la capacità di derivazione è limitata a  $Q = 45 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il grafico di figura 3b mostra come agirebbe la vasca di Paderno Dugnano qualora l'imbocco fosse regolabile per consentire un maggiore scolmo in caso di onda elevata ma di breve durata: la vasca si riempie più velocemente ma, almeno in questa occasione non viene raggiunto il completo riempimento: il volume dell'acqua invasata è  $V_V = 0.48 \text{ (hm}^3\text{)}$ .

#### 4.3 TERZO SCENARIO

I risultati presentati e commentati al paragrafo precedente confermano che:

- il CSNO rimane il cardine del sistema di difesa idraulica dell'area metropolitana di Milano;
- l'aumento della capacità idraulica del CSNO riduce la richiesta di invasi, migliora la gestione del complessivo sistema idraulico in situazioni di piena ordinaria e aumenta la sicurezza contro il rischio di esondazione in occasione delle piene maggiori;
- ogni variazione della capacità idraulica del CSNO influenza sensibilmente il sistema di controllo delle piene del t. Seveso: questa considerazione deve guidare la programmazione degli stralci funzionali dell'intervento complessivo.

L'ulteriore fase di completamento delle opere di controllo delle piene del t. Seveso dovrebbe considerare la realizzazione di due vasche di laminazione a Senago e a Paderno Dugnano insieme con l'eliminazione dei colli di bottiglia lungo il CSNO e il Deviatore Olona che limitano la portata del CSNO a valle di Senago al valore di 25 m<sup>3</sup>/s..

Questa soluzione consente di utilizzare completamente la capacità del ramo Seveso del CSNO e riduce sostanzialmente la dimensione della vasca di Senago che assume una funzione ausiliaria rispetto all'altra vasca che può essere gestita dinamicamente per conseguire l'incremento di efficacia evidenziato nel precedente paragrafo.

La tabella 5 presenta i parametri della simulazione del funzionamento del sistema costituito dalle due casse di laminazione e dal CSNO potenziato.

Elementi	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (hm <sup>3</sup> )
Portata del Seveso verso Milano	10.00	0.00
Portata immessa nel CSNO	60.00	0.00
Portata nel CSNO a valle di Senago	40.00	0.00
Vasca Senago	20.00	0.50
Vasca Paderno	80.00	0.95

La efficacia del sistema combinato dei tre elementi, che in ordine di importanza sono CSNO, vasca di Paderno Dugnano, vasca di Senago, è individuata dai risultati di tabella 6a.

		Terzo Scenario			
		Esondazione con Vasche a Paderno Dugnano e a Senago		Esondazione in percento del valore di piena	
N.	Data	Q <sub>PE</sub> (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>E</sub> (hm <sup>3</sup> )	Q <sub>PE</sub> (%)	V <sub>E</sub> (%)
1	02/05/2010	0.00	0.00	0.00	0.00
2	12/05/2010	0.00	0.00	0.00	0.00
3	18/09/2010	0.00	0.00	0.00	0.00
4	01/11/2010	0.00	0.00	0.00	0.00
5	06/08/2011	0.00	0.00	0.00	0.00
6	12/09/2012	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6a – Risultati del calcolo di simulazione: esondazione

I volumi d'acqua invasati nelle due vasche sono elencati in tabella 6b.

Terzo Scenario			
		Volume invasato con Vasca a Paderno	Volume invasato con Vasca a Senago
N.	Data	$V_v$ (hm <sup>3</sup> )	$V_v$ (hm <sup>3</sup> )
1	02/05/2010	0.04	0.22
2	12/05/2010	0.35	0.50
3	18/09/2010	0.53	0.45
4	01/11/2010	0.87	0.50
5	06/08/2011	0.28	0.21
6	12/09/2012	0.17	0.13

Tabella 6b – Risultati del calcolo di simulazione: volumi invasati in vasca

Il funzionamento del sistema di vasche multiple è esemplificato in figura 4a, riferita alla piena del 1 novembre 2010, e in figura 4b riferita alla piena del 6 agosto 2011.

## 5. CONSIDERAZIONI FINALI

Il sistema di opere per la salvaguardia idraulica dell'area metropolitana di Milano si è sviluppato nel corso dei decenni con sovrapposizione di interventi spesso parziali che hanno integrato altri precedenti rivelatasi non risolutivi con il passare del tempo.

L'articolato intervento idraulico di controllo delle piene del t. Seveso, costituito da impianti di diversa natura:

- casse o vasche di laminazione, che svolgono funzione di stoccaggio,
- sbarramenti fluviali, che fungono da partitori di portata,
- canali scolmatori e diversivi, che trasportano le acque verso il recapito finale,

deve essere realizzato e gestito secondo la logica delle reti (di produzione e distribuzione di servizi).

Inoltre, la operatività della rete di impianti lungo il t. Seveso è condizionata dagli eventi di piena che interessano i bacini idrografici vicini, che scolmano nel CSNO.

Il volume d'acqua del t. Seveso trasportato verso valle dal CSNO nel corso delle piene esaminate in questo studio, è stato computato. I risultati sono presentati nella sottostante tabella 7 considerando lo:

- Scenario 1: configurazione con una sola vasca
- Scenario 3: configurazione con due vasche e potenziamento del CSNO.

N.	Data	Portata trasportata dal CSNO durante la piena	
		Primo Scenario $V_{T1}$ (hm <sup>3</sup> )	Terzo Scenario $V_{T3}$ (hm <sup>3</sup> )
1.00	02/05/2010	1.38	1.71
2.00	12/05/2010	0.73	8.62
3.00	18/09/2010	1.07	1.50
4.00	01/11/2010	3.78	4.80
5.00	06/08/2011	0.48	0.67
6.00	12/09/2012	0.55	0.70

Tabella 7 – Risultati del calcolo di simulazione: volumi esitati dal CSNO

Notiamo che all'incremento di volume d'acqua trasportato dal CSNO nel corso della piena N. 2 passando dal primo al terzo scenario è spiegato dall'annullamento della esondazione in Milano e dal parziale riempimento di una delle due vasche.

L'insieme dei risultati presentati mostra che:

- la efficienza della rete di collettamento delle acque di piena provenienti dai bacini idrografici a nord di Milano, dipende dalla maggiore o minore capacità di deflusso del Canale Scolmatore di Nord Ovest, che costituisce la dorsale della rete;

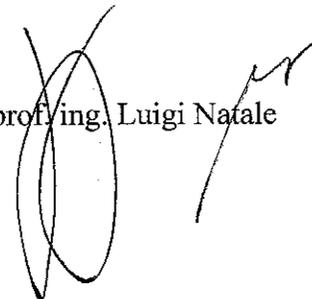
- i diversi impianti di deposito temporaneo delle acque di piena – vasche di laminazione - disposti lungo il t. Seveso e i corsi d'acqua limitrofi, devono essere realizzati e gestiti in maniera coordinata onde utilizzare pienamente la loro potenzialità

Considerando che il sistema di controllo delle piene del t. Seveso deve essere realizzato per successivi stralci funzionali, il primo dei quali è oggetto dell'esame descritto in questa Relazione Tecnica, si può concludere in risposta ai quesiti formulati dall'Amministrazione Comunale di Senago che:

1. Allo stato presente, la vasca di laminazione di Senago equivale alla vasca di laminazione di Paderno Dugnano, in termini di affidabilità di gestione e di efficienza. Nel caso di adeguamento del CSNO a valle di Senago il volume della vasca di Senago appare esuberante.
2. La vasca di Paderno Dugnano meglio si inserisce come elemento di un secondo stralcio funzionale che comprende, oltre all'adeguamento del Canale Scolmatore di Nord Ovest e del Canale Deviatore dell'Olona, anche la realizzazione di una vasca di laminazione a Senago avente dimensioni più contenute di quella attualmente in progetto.

Pavia, 7 marzo 2014

  
prof. ing. Carlo Claponi

  
prof. ing. Luigi Natale

## 6. ELENCO DELLE FIGURE

- 1 - Schema funzionale del reticolo idrografico milanese (fonte: AdB Po)
- 2 - Simulazione dell'evento del 12 maggio 2010 con la prima configurazione
- 3a - Simulazione dell'evento del 8 agosto 2011 con la seconda configurazione
- 3b - Simulazione dell'evento del 8 agosto 2011 con la seconda configurazione:  
a Paderno  $Q_{MAX} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$
- 4a - Simulazione dell'evento del 1 novembre 2010 con la terza configurazione
- 4b - Simulazione dell'evento del 6 agosto 2011 con la terza configurazione

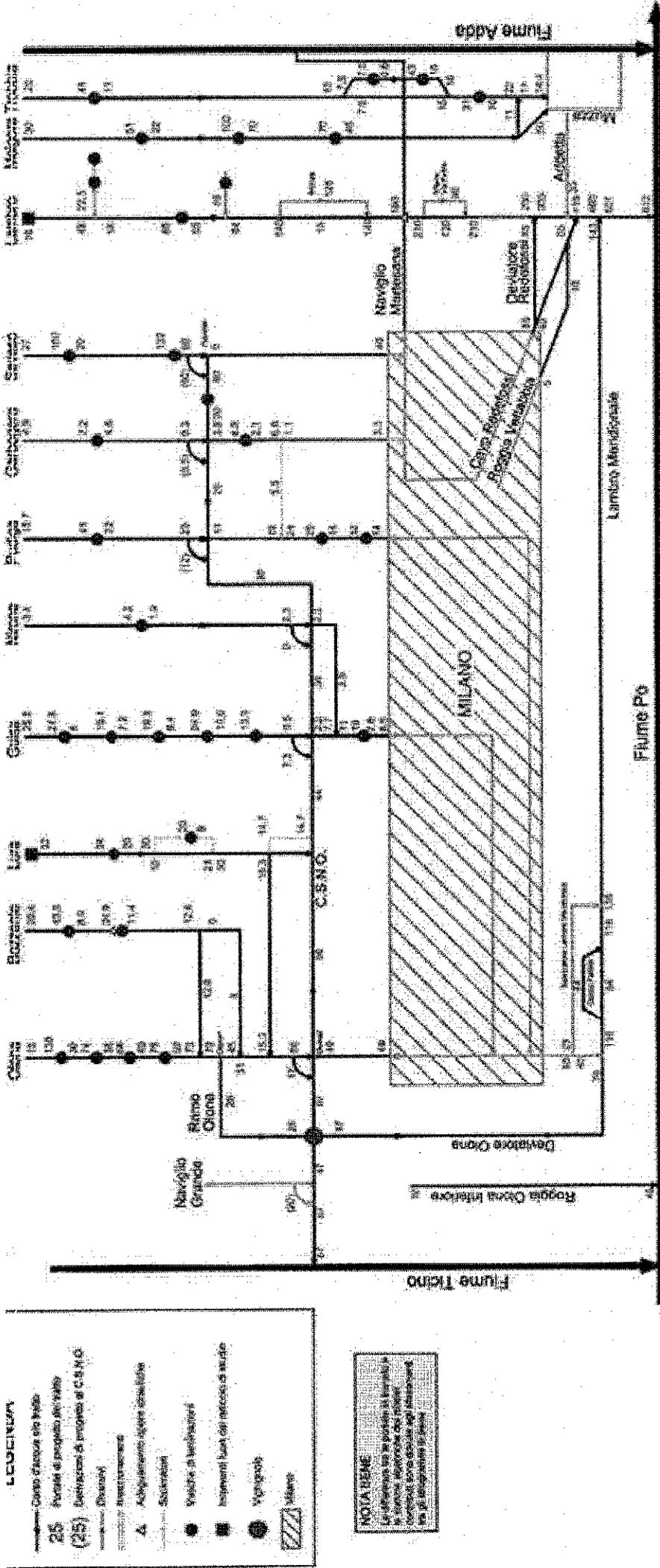


Figura 1 - Schema funzionale del reticolo idrografico milanese (fonte: Autorità di Bacino del fiume Po)

BILANCIO IDRICO di CONFRONTO

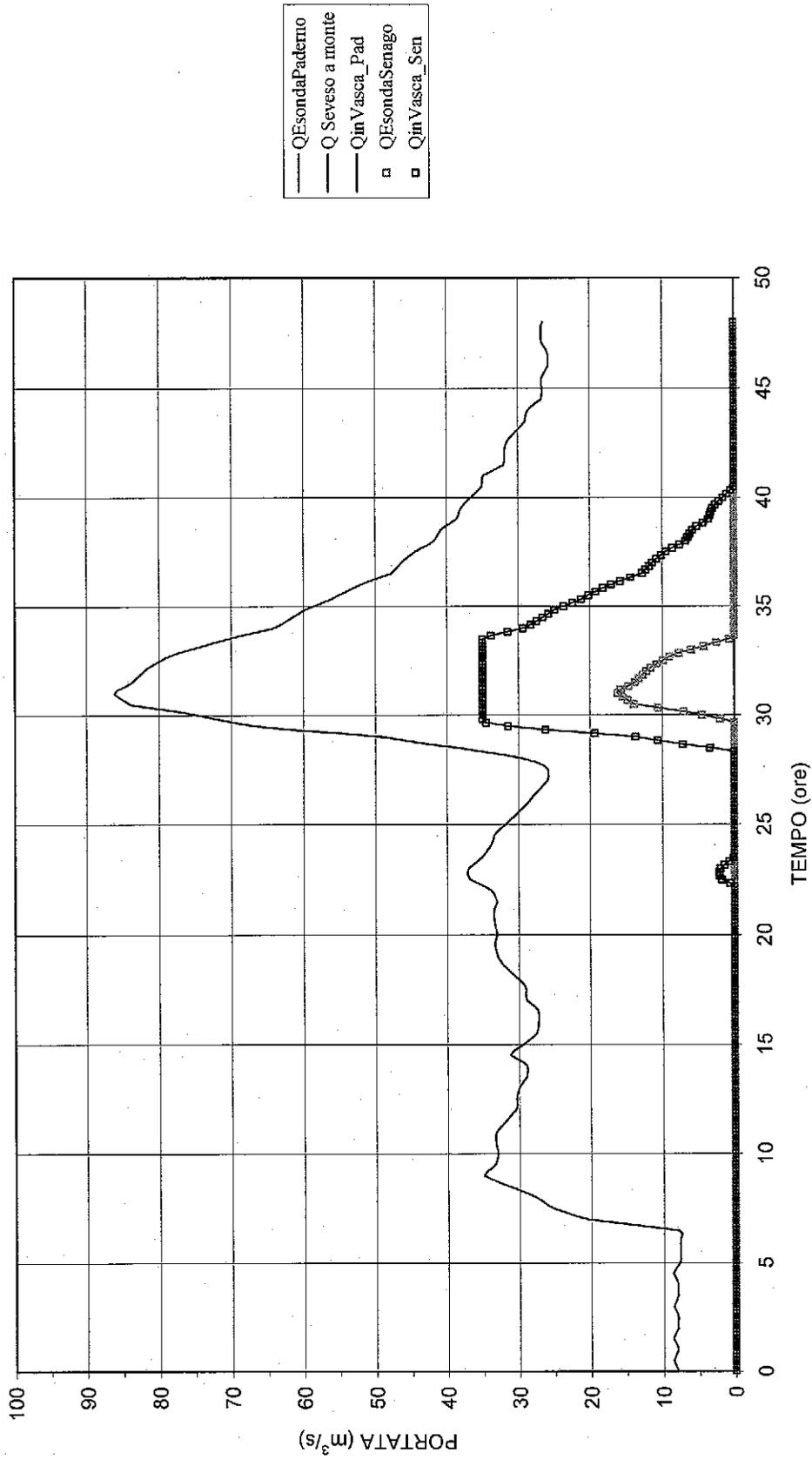


Figura 2 - Simulazione dell'evento del 12 maggio 2010 con la prima configurazione

BILANCIO IDRICO di CONFRONTO

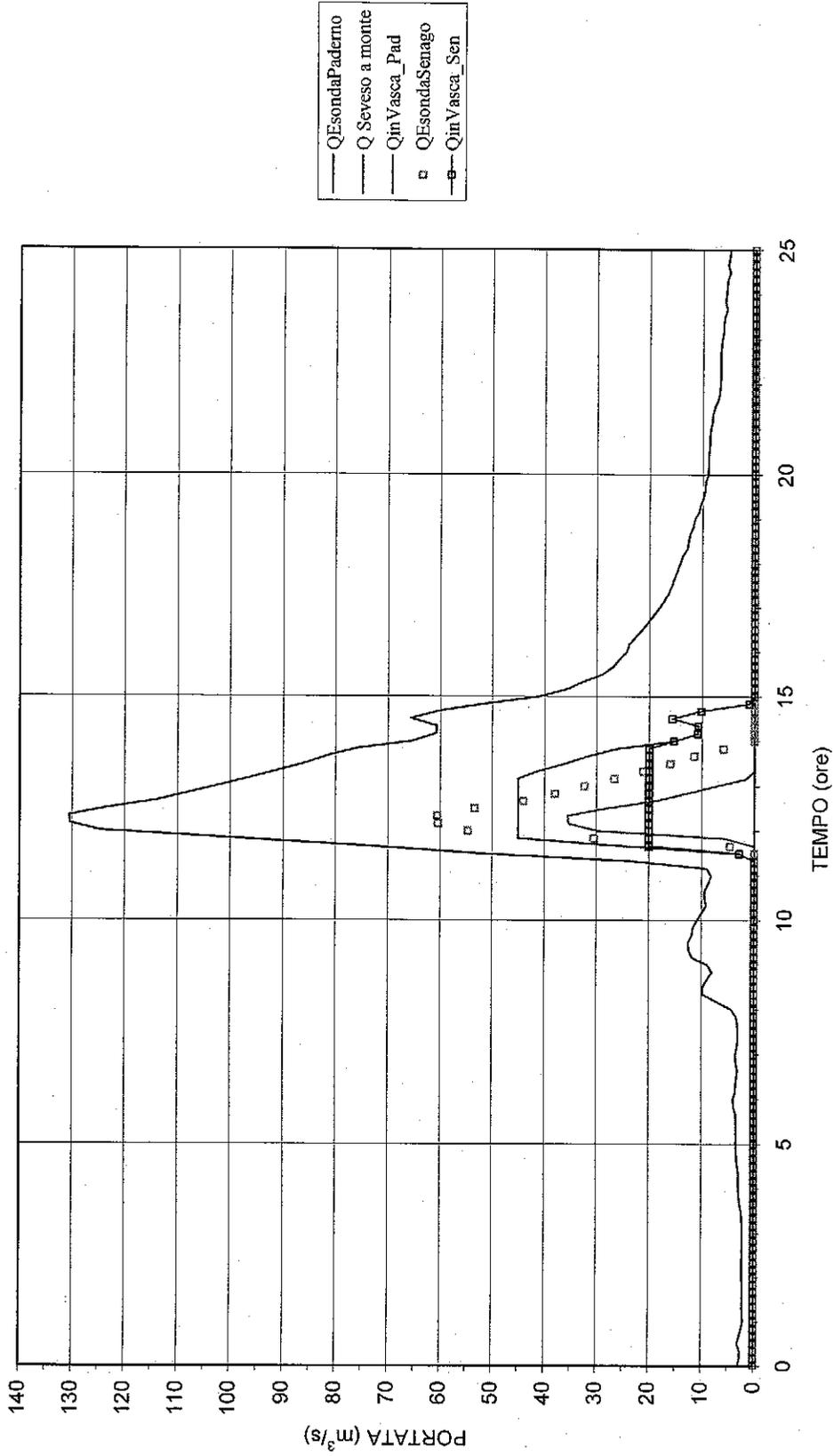


Figura 3a - Simulazione dell'evento del 8 agosto 2011 con la seconda configurazione

BILANCIO IDRICO di CONFRONTO

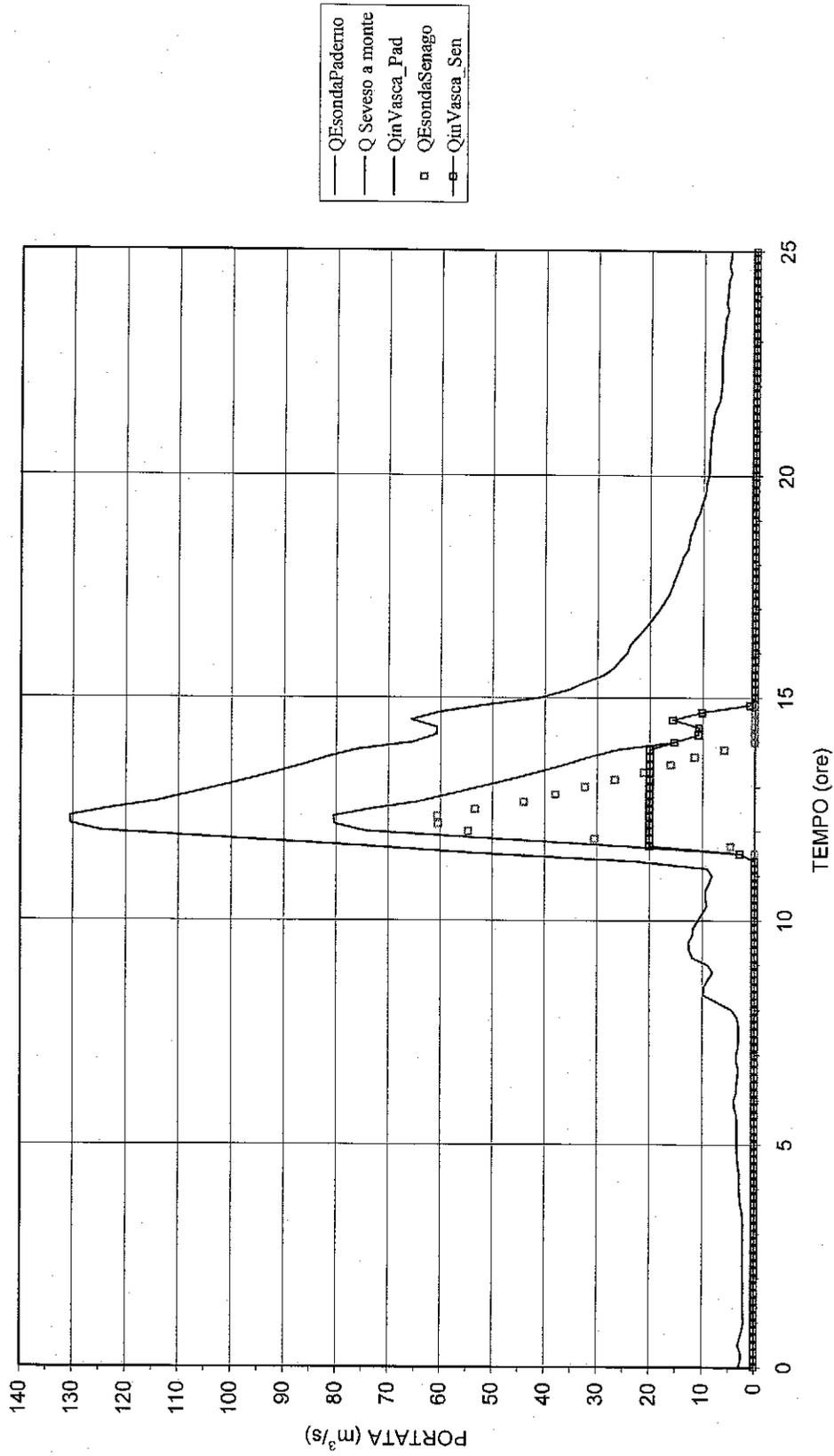


Figura 3b - Simulazione dell'evento del 8 agosto 2011 con la seconda configurazione e a Paderno  $Q_{MAX} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$

BILANCIO IDRICO di CONFRONTO

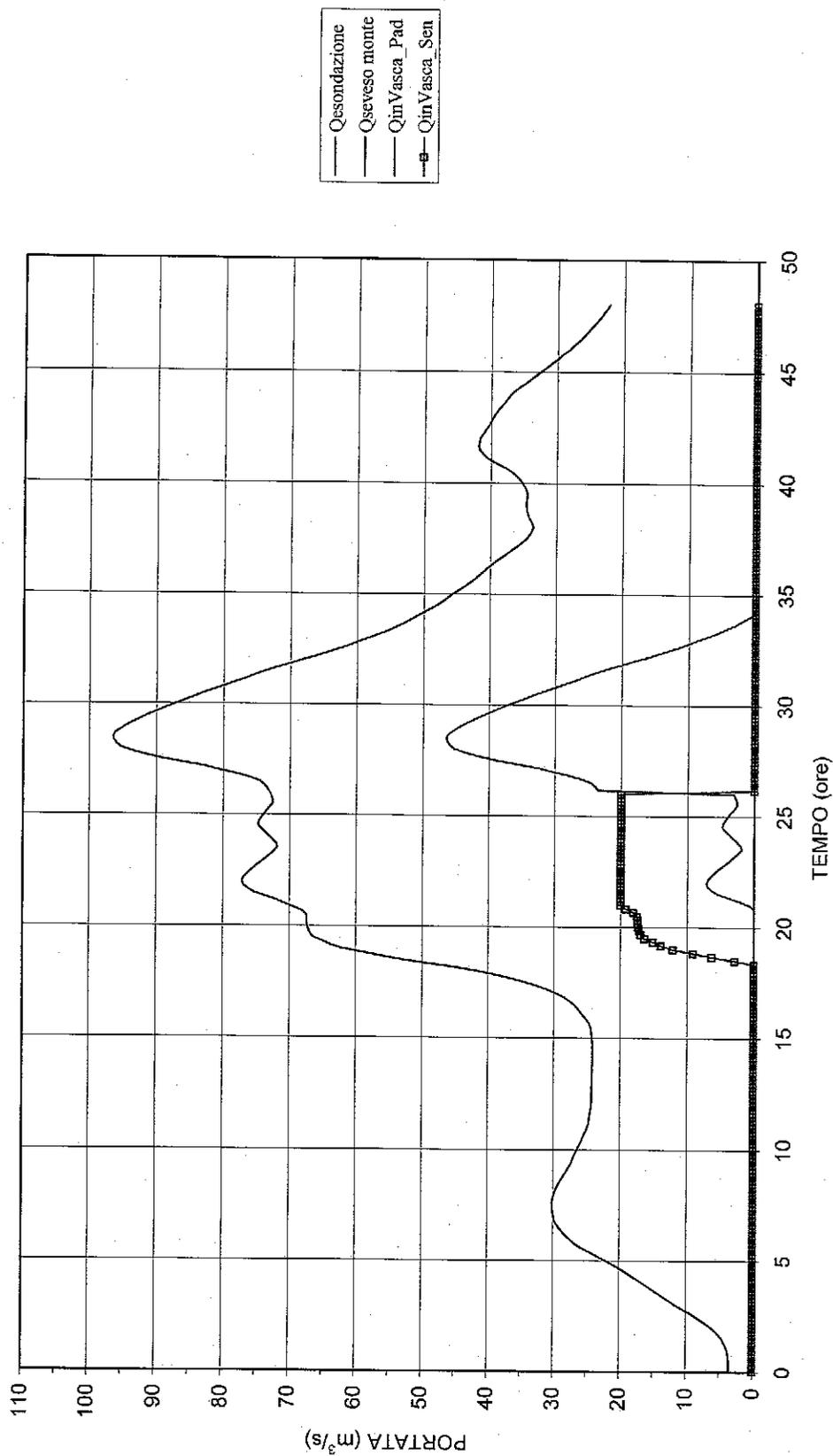


Figura 4a - Simulazione dell'evento del 1 novembre 2010 con la terza configurazione

BILANCIO IDRICO di CONFRONTO

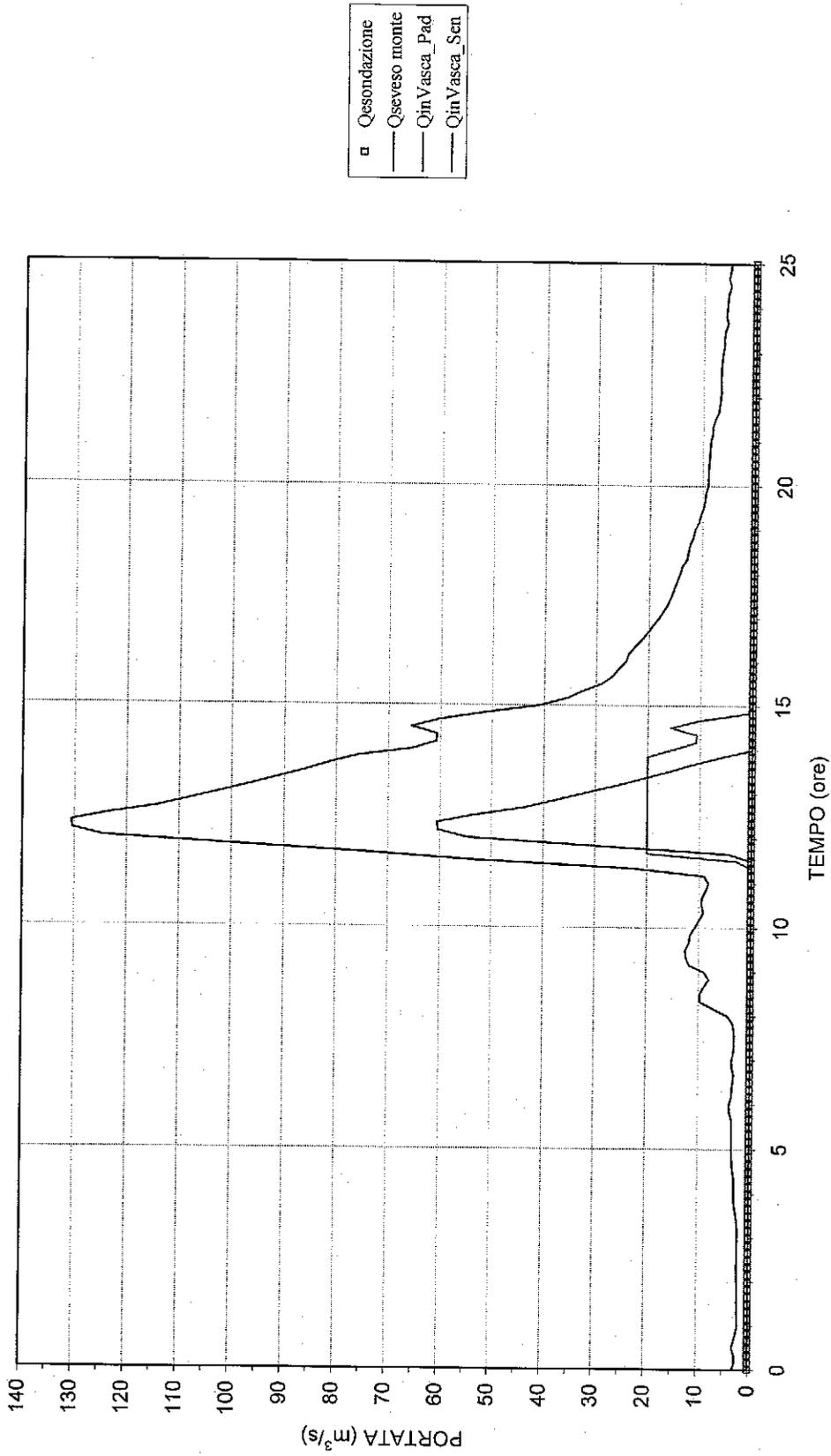


Figura 4b – Simulazione dell'evento del 6 agosto 2011 con la terza configurazione