



AIPO
AGENZIA INTERREGIONALE PER IL PO
– PARMA –
 UFFICIO OPERATIVO DI MILANO



STUDIO IDRAULICO DEL TORRENTE SEVESO

NEL TRATTO CHE VA DALLE SORGENTI ALLA PRESA C.S.N.O. IN LOCALITA'
 PALAZZOLO IN COMUNE DI PADERNO DUGNANO (MI) E STUDIO DI FATTIBILITA'
 DELLA VASCA DI LAMINAZIONE DEL C.S.N.O. A SENAGO (MI) (MI-E-781M)

GIUGNO 2011

ELABORATO A.01	TITOLO RELAZIONE TECNICA		
	NOME	FIRMA	DATA
REDAZIONE	S. Croci		
VERIFICA	G. B. Peduzzi		
APPROVAZIONE	A. Paoletti		
 ETATEC S.R.L. SOCIETA' DI INGEGNERIA 20133 MILANO – via Bassini, 23 – tel.(02) 26681264 fax (02) 26681553 – E-Mail: ETATEC@ETATEC.IT AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2008 SICIV – SC 06-647/EA 34		IL PROFESSIONISTA INCARICATO : <i>Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI</i>	
		TIPOLOGIA	COMMESSA
		SF	250-18 (04/11)

I N D I C E

1. PREMESSA.....	7
2. SPECIFICITÀ DELL'AMBITO IDROGRAFICO LAMBRO – OLONA E DEL TORRENTE SEVESO	10
2.1 INTRODUZIONE.....	10
2.2 IL SISTEMA IDRAULICO MILANESE DEL BACINO LAMBRO - OLONA.....	11
2.2.1 Le criticità idrauliche del bacino Lambro - Olona.....	14
2.2.2 Linee di intervento proposte	15
2.3 PECULIARITÀ DEL TORRENTE SEVESO NELL'AMBITO LAMBRO-OLONA	18
3. ASSETTO ATTUALE DEL T. SEVESO	24
3.1 INTRODUZIONE.....	24
3.2 CARATTERISTICHE ESSENZIALI DEL BACINO DEL T. SEVESO	24
3.3 PLUVIOMETRIA DI RIFERIMENTO	27
3.3.1 Tempo di ritorno di riferimento	27
3.3.2 Curve di possibilità pluviometrica.....	27
3.3.3 Ietogrammi di calcolo	30
3.3.4 Ragguaglio della precipitazione all'area.....	31
3.4 MODELLO IDROLOGICO AFFLUSSI – DEFLUSSI	32
3.4.1 Il modulo NAM per i bacini con ridotta percentuale di aree urbane	33
3.4.2 Il modulo NAM–URBANO per i bacini pianeggianti con elevata percentuale di aree urbane.....	35
3.4.3 Definizione dei parametri	38
3.4.4 Definizione dei sottobacini di calcolo e loro caratterizzazione	39
3.4.5 Risultati del modello idrologico	45
3.5 MODELLO IDRODINAMICO	47
3.5.1 Caratteristiche generali del modello	47
3.5.2 Descrizione dei tratti omogenei	49
3.5.2.1 I° tratto (da Como a Lentate sul Seveso).....	49
3.5.2.2 II° tratto (da Lentate sul Seveso a Paderno Dugnano) ..	50
3.5.3 Aspetti di dettaglio del modello idraulico.....	50
3.5.3.1 NAM urbani: schema idraulico di simulazione delle reti fognarie	51
3.5.3.2 Delimitatori d'alveo	51
3.5.3.3 Perdite di carico concentrate	52
3.5.3.4 Torrente Certesa	52
3.5.3.5 Canale scolmatore di Nord-Ovest	53
3.5.3.6 Condizioni al contorno	55
3.5.3.7 Scabrezze.....	56
3.5.4 Risultati ottenuti.....	56
3.5.4.1 Confronto con studi precedenti (AdBPo – 2004).....	61
3.6 TARATURA DEL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO.....	63

3.6.1	Analisi dei dati pluviometrici	65
3.6.1.1	Pluviometro di Como Villageno.....	65
3.6.1.2	Pluviometro di Vertemate con Minoprio.....	67
3.6.1.3	Pluviometro di Cantù Asnago	69
3.6.1.4	Pluviometro di Mariano Comense.....	71
3.6.1.5	Pluviometro di Palazzolo.....	73
3.6.1.6	Considerazioni generali sui dati pluviometrici registrati	75
3.6.2	Analisi dei dati idrometrici	77
3.6.2.1	Idrometro di Cantù Asnago	77
3.6.2.2	Idrometro di Cesano Maderno.....	78
3.6.2.3	Idrometro di Palazzolo	79
3.6.2.4	Idrometro del C.S.N.O. a Senago	80
3.6.3	Analisi della risposta del modello.....	83
4.	ASSETTO DI PROGETTO DEL T. SEVESO	90
4.1	LINEE GUIDA DELL'ASSETTO DI PROGETTO.....	90
4.2	LA LAMINAZIONE DELLE PIENE IN AREE MULTISCOPO	93
4.3	INTERVENTI DI LAMINAZIONE PREVISTI	99
4.3.1	I possibili invasi di laminazione analizzati	99
4.3.2	Gli invasi di laminazione in aree esondabili (Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate).....	114
4.3.2.1	Area di laminazione di Vertemate con Minoprio.....	115
4.3.2.2	Area di laminazione di Cantù.....	118
4.3.2.3	Aree di laminazione di Carimate.....	120
4.3.2.4	Sintesi degli effetti di laminazione indotti dalle aree di laminazione previste nelle aree esondabili.....	122
4.3.3	Invaso di laminazione in scavo a Lentate sul Seveso	123
4.3.4	Invaso di laminazione in scavo a Varedo	130
4.3.5	Invaso di laminazione in scavo a Paderno Dugnano	135
4.3.6	Invaso di laminazione in scavo a Senago (alternativa n. 3).....	139
4.3.7	Riepilogo degli interventi di laminazione previsti.....	149
4.4	RISULTATI DI SINTESI DELL'ASSETTO DI PROGETTO DEL T. SEVESO	149
4.5	IMPERMEABILIZZAZIONE DEGLI INVASI	153
4.6	INTERVENTO DI DISMISSIONE DEL DEPURATORE DI VAREDO CON CONSEGUENTE COLLETTAMENTO DELLE ACQUE AL DEPURATORE DI PERO	155
4.7	STIMA DEI COSTI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI DI LAMINAZIONE IN SCAVO	155
4.8	STIMA DEI COSTI DI GESTIONE DEGLI INTERVENTI DI LAMINAZIONE IN SCAVO	157
5.	CONCLUSIONI	159

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Sistema idraulico Lambro – Olona	13
Figura 2 – Schema degli interventi previsti dal Comitato Coordinatore delle Acque della Provincia di Milano nel 1937	16
Figura 3 - Schema idraulico assetto di progetto bacino Lambro-Olona (Fonte: AdBPo, 2004)	17
Figura 4 – situazione urbanistica ed idrografica di Milano nel 1884	19
Figura 5 – tratto di canale Martesana in via Melchiorre Gioia.....	20
Figura 6 – manufatto di testa del cavo Redefossi al termine del Naviglio Martesana	21
Figura 7 - Frequenza esondazioni del torrente Seveso in Milano (fonte: Comune Milano – MM S.p.A.)	23
Figura 8 – Allagamenti a Milano (sopra: anni '70; sotto: oggi).....	23
Figura 9 – Bacino idrografico del T. Seveso (in rosso sono indicati i sottobacini del modello idrologico, mentre in grigio sono indicate le aree urbanizzate aggiornate al 2007)	26
Figura 10 – Schermata del sito web dell'Arpa Lombardia da cui è possibile estrarre i parametri delle curve di possibilità pluviometrica	28
Figura 11 – Schemi grafici rappresentativi delle piene urbane e delle piene fluviali.....	37
Figura 12 – Schema modello afflussi-deflussi NAM-URBANO.....	38
Figura 13 – Sovrapposizione tra le aree urbanizzate dello studio AdBPo (giallo, in primo piano) e quelle ricavate con l'uso del suolo Dusaf (grigio, in secondo piano).....	42
Figura 14 – Sovrapposizione tra le aree urbanizzate dello studio AdBPo (giallo, in secondo piano) e quelle ricavate con l'uso del suolo Dusaf (grigio, in primo piano).....	43
Figura 15 – Schema idraulico quasi – bidimensionale delle aree golenali.....	50
Figura 16 – Schema idraulico del nodo di Palazzolo	54
Figura 17 – Opera di presa C.S.N.O. vista da valle	55
Figura 18 – Idrogramma T=100 anni alla sezione SV97 (Ponte autostrada A9).....	58
Figura 19– Idrogramma T=100 anni alla sezione SV68 (Ponte S.P.32)	58
Figura 20 – Idrogrammi T=100 anni a monte e a valle della confluenza tra T. Seveso e T. Certesa	59
Figura 21 – Idrogramma T=100 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO	59
Figura 22 – Ubicazione dei pluviometri ed idrometri presenti nel bacino del T. Seveso.....	64
Figura 23 – Dati registrati dal pluviometro di Como Villageno.....	66
Figura 24 – Dati registrati dal pluviometro di Vertemate con Minoprio.....	68
Figura 25 – Dati registrati dal pluviometro di Cantù Asnago	70
Figura 26 – Dati registrati dal pluviometro di Mariano Comense.....	72
Figura 27 – Dati registrati dal pluviometro di Palazzolo	74
Figura 28 – Stazioni della rete ARPA sul bacino, relativi poligoni di Theissen e Tr osservati durante l'evento del 18/9/2010 (Fonte: ARPA).....	76
Figura 29 – LSPP e precipitazioni osservate ragguagliate sul bacino del Seveso a Palazzolo (Fonte: ARPA)	77
Figura 30 – Dati registrati dall'idrometro di Cantù Asnago.....	78
Figura 31 – Dati registrati dall'idrometro di Cesano Maderno	79
Figura 32 – Dati registrati dall'idrometro di Palazzolo.....	80
Figura 33 – Dati registrati dall'idrometro del C.S.N.O. a Senago	81
Figura 34 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro del C.S.N.O. a Senago e quelli del Seveso a Palazzolo e gli eventi meteorici registrati. I livelli sono riferiti allo zero idrometrico della stazione e non al fondo alveo.....	82
Figura 35 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	83
Figura 36 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	84

Figura 37 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	84
Figura 38 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	85
Figura 39 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	85
Figura 40 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	86
Figura 41 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	86
Figura 42 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	87
Figura 43 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	87
Figura 44 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	88
Figura 45 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	88
Figura 46 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello.....	89
Figura 47 – Idrogramma di piena del T. Seveso a monte della presa del C.S.N.O.. La linea rossa rappresenta il limite della portata che può proseguire nel C.S.N.O. a valle di Senago (intersezione con il T. Garboga)	93
Figura 48 – Il progressivo ampliamento delle finalità degli invasi di laminazione [adattata da: Walesh, 1989; USEPA, 1999]	95
Figura 49 – Ricerca Fondazione Cariplo; CSDU, Politecnico di Milano, Università degli Studi Milano –Bicocca. Caso Pilota del T. Lura a Lomazzo – Bregnano. Confronto tra gli ambiti di allagamento frequente e gli usi del territorio ad essi associati nei diversi scenari proposti: S1.a: “Fuori linea - Minimi scavi/riporti”, S1.b: “Fuori linea - Risparmio suolo”, S1.c: “Fuori linea - Agricolo con irrigazione”, S1.d: “Fuori linea - Area umida/naturalistica”, S2: “In linea – Area umida e attuale produzione agricola”, S3: “Misto - Area umida e attuale produzione agricola”.....	96
Figura 50 – Foto del Parco Nord a Paderno Dugnano (MI)	97
Figura 51 – Rendering dell'invaso di laminazione proposto a Senago	98
Figura 52 – Ubicazione dei possibili invasi di laminazione analizzati nel presente studio	100
Figura 53 – T. Certesa tra Meda e la confluenza in Seveso con indicata l'area dell'ex-ICMESA, ora Parco Naturale Bosco delle Querce.....	101
Figura 54 – Invasi di laminazione in aree esondabili nei comuni di Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate	102
Figura 55 – Invaso di laminazione in comune di Lentate sul Seveso.....	103
Figura 56 – Invaso di laminazione previsto nello studio AdBPo 2004, in comune di Meda	103
Figura 57 – Invaso di laminazione in comune di Varedo.....	104
Figura 58 – Invaso di laminazione in comune di Paderno Dugnano, a monte Canale Villosesi	104
Figura 59 – Invaso di laminazione in comune di Paderno Dugnano nei pressi dello svincolo tra la tangenziale nord e la superstrada Milano-Meda.....	105
Figura 60 – Invasi di laminazione in comune di Senago, lungo il C.S.N.O.....	105
Figura 61 – Invasi di laminazione di Lentate sul Seveso e Meda.	106
Figura 62 – Invasi di laminazione di Varedo e Paderno Dugnano.	107
Figura 63 – Invasi di laminazione di Senago.	108
Figura 64 – Stralcio della cartografia degli interventi di sistemazione del T. Pudiga con riportata l'area di laminazione prevista, caratterizzata da una volumetria di 100'000 m ³ (AdBPo – 2004).	110
Figura 65 – Stralcio della cartografia degli interventi di sistemazione del T. Garboga con riportata l'area di laminazione prevista, caratterizzata da una volumetria di 100'000 m ³ (AdBPo – 2004).	111
Figura 66 – Invaso di laminazione a Lentate su Seveso con una configurazione plano-altimetrica che consente di ottenere un volume d'invaso massimo di 1'000'000 m ³	112
Figura 67 – Invaso di laminazione a Varedo con una configurazione plano-altimetrica che consente di ottenere un volume d'invaso massimo di 1'600'000 m ³	112
Figura 68 – Invaso di laminazione a Paderno Dugnano con una configurazione plano-altimetrica che consente di ottenere un volume d'invaso massimo di 1'500'000 m ³	113

Figura 69 – Invaso di laminazione a Senago con una configurazione plano-altimetrica che consente di ottenere un volume d'invaso massimo di 1'200'000 m ³	113
Figura 70 – Schema di funzionamento idraulico dell'assetto attuale delle aree di esondazione.	114
Figura 71 – Schema di funzionamento idraulico dell'assetto di progetto delle aree di esondazione.	115
Figura 72 – Aree di laminazione a Vertemate con Minoprio.	117
Figura 73 – Foto aerea aree di laminazione a Vertemate con Minoprio.	118
Figura 74 – Area di laminazione a Cantù Asnago.....	119
Figura 75 – Foto aerea area di laminazione a Cantù Asnago.	120
Figura 76 – Aree di laminazione a Carimate.....	121
Figura 77 – Foto aerea aree di laminazione a Carimate.	122
Figura 78 – Invaso di Lentate sul Seveso: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.....	123
Figura 79 - Configurazione planimetrica dell'invaso di Lentate sul Seveso.....	124
Figura 80 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Lentate S. – stato di fatto	125
Figura 81 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Lentate S. con indicato l'assetto di progetto proposto	125
Figura 82 – Impianto di sollevamento per lo svuotamento dell'invaso	127
Figura 83 – Manufatto di interconnessione tra l'invaso e la falda	128
Figura 84 – Caratterizzazione del livello di falda nei pressi dell'invaso di Lentate sul Seveso.....	129
Figura 85 – Invaso di Varedo: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.....	130
Figura 86 - Configurazione planimetrica dell'invaso di Lentate sul Seveso.....	131
Figura 87 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Varedo – stato di fatto.....	131
Figura 88 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Varedo con indicato l'assetto di progetto proposto	132
Figura 89 – Caratterizzazione del livello di falda nei pressi dell'invaso di Varedo.....	134
Figura 90 – Invaso di Paderno Dugnano: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.....	135
Figura 91 - Configurazione planimetrica dell'invaso di Paderno Dugnano	136
Figura 92 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Paderno Dugnano – stato di fatto.....	136
Figura 93 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Paderno Dugnano con indicato l'assetto di progetto proposto	137
Figura 94 – Caratterizzazione del livello di falda nei pressi dell'invaso di Paderno Dugnano.....	139
Figura 95 – Invaso di Senago: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.....	141
Figura 96 - Configurazione planimetrica dell'invaso di Senago.....	142
Figura 97 - Rendering dell'invaso di Senago – vista aerea	143
Figura 98 - Rendering dell'invaso di Senago – vista particolareggiata.....	143
Figura 99 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Senago – stato di fatto.....	144
Figura 100 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Paderno Dugnano con indicato l'assetto di progetto proposto (rendering)	145
Figura 101 – Caratterizzazione del livello di falda nei pressi dell'invaso di Senago.....	147
Figura 102 – Andamento temporale del livello di falda nei pressi dell'invaso di Senago.	148
Figura 103 – Idrogramma T=100 anni alla sezione SV97 (Ponte autostrada A9) – assetto di progetto.....	151
Figura 104– Idrogramma T=100 anni alla sezione SV68 (Ponte S.P.32) – assetto di progetto	151
Figura 105 – Idrogrammi T=100 anni a monte (linea nera) e a valle (linea blu) della confluenza tra T. Seveso e T. Certesa – assetto di progetto	152
Figura 106 – Idrogramma T=100 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO – assetto di progetto (tale idrogramma viene scolmato interamente nel C.S.N.O.; nel Seveso, a valle della presa del C.S.N.O. la portata è nulla).	152

Figura 107 – sistema di impermeabilizzazione degli invasi mediante geomembrana in pvc flessibile.....	154
---	-----

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Confronto fra le curve di possibilità pluviometrica studio AdBPo e ARPA Lombardia.....	29
Tabella 2 – Determinazione delle superfici urbanizzate per ogni sottobacino. Confronto fra studio AdBPo e attuale.....	41
Tabella 3 – Sottobacini del modello idrologico e loro caratteristiche principali.....	44
Tabella 4 – Parametri di calcolo del modello idrologico afflussi-deflussi	45
Tabella 5 – Risultati modello idrologico afflussi – deflussi.....	46
Tabella 6 – Livelli idrici e portate in alcune sezioni del Seveso	57
Tabella 7 – Confronto tra la portata idraulica e la portata compatibile in alveo	61
Tabella 8 – Livelli idrici e portate in alcune sezioni del Seveso nell’assetto di progetto.....	150
Tabella 9 – Sintesi dei costi di realizzazione degli invasi in scavo – approccio 1.	157
Tabella 10 – Sintesi dei costi di realizzazione degli invasi in scavo – approccio 2.	157

1. PREMESSA

La presente relazione riferisce in merito allo “*Studio idraulico del torrente Seveso nel tratto che va dalle sorgenti alla presa del C.S.N.O. in località Palazzolo in Comune di Paderno Dugnano (MI) e studio di fattibilità della vasca di laminazione del C.S.N.O. a Senago (MI)*” che l’AIPO – Agenzia Interregionale per il fiume Po – ha affidato alla società ETATEC s.r.l., a cui afferisce il sottoscritto professionista.

Lo studio qui presentato rappresenta l’aggiornamento dello studio idrologico-idraulico del torrente Seveso condotto dall’Autorità di Bacino del fiume Po nell’ambito dello “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d’acqua naturali e artificiali all’interno dell’ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*” - 2002 ÷ 2004 (da qui in poi indicato con la sigla *AdBPo 2004*), resosi necessario in relazione alle mutate condizioni del territorio che hanno, di fatto, reso non realizzabili gli interventi di sistemazione idraulica che erano stati previsti lungo l’asta del Seveso, costituiti essenzialmente da due opere di laminazione, una in Comune di Meda e una in Comune di Nova Milanese, in corrispondenza di due siti di cava esistenti per l’estrazione di inerti.

Come emerge dal titolo del presente incarico, lo studio prevede essenzialmente due attività:

1. analisi del comportamento idraulico del torrente Seveso, finalizzato all’individuazione degli interventi di controllo delle piene;
2. studio di fattibilità della vasca di laminazione del C.S.N.O. in Comune di Senago.

Tali attività non sono tra loro completamente disgiunte, in quanto la vasca di laminazione del C.S.N.O. a Senago, già prevista nello studio *AdBPo 2004*, ha una funzione strategica non solo nell’ambito del progetto di risoluzione dei problemi di allagamento delle aree poste a sud del Canale Scolmatore di Nord Ovest, ma, essendo alimentata dall’onda di piena che dal Seveso viene deviata all’interno del C.S.N.O., essa concorre, unitamente ad altre opere di laminazione da prevedersi a monte di Palazzolo, all’attuazione dell’assetto di progetto dell’asta del torrente Seveso finalizzata alla salvaguardia dei territori rivieraschi e soprattutto del Comune di Milano.

Infatti, in relazione al raddoppio del C.S.N.O. già realizzato ed in funzione degli interventi di adeguamento già programmati e finanziati (Progetto definitivo relativo ai “*Lavori di adeguamento funzionale del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – M.I.E.781.*” – AIPO e Provincia di Milano – 2009), in procinto

di essere appaltati, è possibile pensare ad un utilizzo combinato, anche in ottica gestionale, dei vari volumi di invaso individuati (quelli sul Seveso e quello di Senago sul C.S.N.O.), con il fine di arrivare a minimizzare la portata defluente sia in direzione di Milano, sia in direzione del C.S.N.O. a valle di Senago.

Mentre la riduzione della portata verso Milano ha l'obiettivo strategico di evitare gli ormai troppo frequenti fenomeni di allagamento della zona di Niguarda (anche in occasione di eventi caratterizzati da tempi di ritorno minori o prossimi ad un anno), la riduzione delle portate nel C.S.N.O. a valle di Senago, garantirebbe di poter effettivamente scolmare le portate di piena provenienti dai torrenti delle Groane (Garbogera, Pudiga, Nirone, Guisa), nonché dal Lura, dal Bozzente e dall'Olon. Siccome lungo il tratto dei suddetti corsi d'acqua a valle del C.S.N.O. sono presenti vasti e popolosi ambiti totalmente urbanizzati e sono previste infrastrutture strategiche, tra cui l'EXPO lungo il Guisa e la Città della Salute e della Ricerca lungo il Pudiga, la possibilità di garantire lo scolmo della portata dai suddetti corsi d'acqua nel C.S.N.O., consentirebbe di garantire la sicurezza idraulica di tali ambiti. Inoltre, la riduzione delle portate provenienti dal Seveso nel C.S.N.O. comporterebbe una diminuzione delle portate scaricate nel fiume Ticino, con indubbi vantaggi soprattutto dal punto di vista ambientale.

Occorre fare un'altra precisazione: il presente studio sull'asta del Seveso, come tra l'altro riportato nel titolo dell'incarico, ha come estremo di valle il nodo idraulico di Palazzolo, in Comune di Paderno Dugnano ove è presente l'opera di presa del C.S.N.O., e non l'imbocco del tratto tombinato del Seveso in Comune di Milano. Tale limite di valle è stato così definito in quanto, secondo quanto previsto nelle linee d'intervento indicate nello studio *AdBPo 2004*, durante un evento di piena occorre rendere nulla la portata del Seveso che prosegue nel tratto di alveo a valle della presa di Palazzolo, in quanto i soli apporti meteorici provenienti dalle reti di drenaggio urbano dei comuni posti nel tratto Palazzolo – Milano (Paderno Dugnano, Cormano, Cusano Milanino, Bresso, Cinisello Balsamo), durante un evento intenso, sono tali da essere superiori alla portata massima che può transitare nel tratto tombinato del Seveso al di sotto della Città di Milano. Tale circostanza (evento meteorico intenso nell'hinterland milanese, con portata del Seveso nulla a valle della presa del C.S.N.O. ed esondazione del Seveso a Milano) si è verificata diverse volte; in particolare, secondo i dati resi disponibili da Comune di Milano, Provincia di Milano e M.M. S.p.A., dal 2005 a oggi si sono verificate 19 esondazioni a Milano, di cui 6 con portata nulla in Seveso a valle della presa del C.S.N.O..

Il tratto di torrente Seveso posto a valle del limite di competenza del presente studio, e cioè

quello compreso tra la presa del C.S.N.O. e la Città di Milano, già analizzato nell'ambito del più volte citato Studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino del fiume Po, è oggetto di un parallelo e contemporaneo studio di fattibilità da parte della società Metropolitana Milanese S.p.A. su incarico del Comune di Milano, denominato “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del torrente Seveso nella tratta compresa tra Palazzolo e Milano nell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*” (2011), al quale si rimanda per dettagli e approfondimenti.

La presente relazione si articola sviluppando le seguenti tematiche:

- specificità dell'ambito idrografico Lambro – Olona ed in particolare del torrente Seveso (capitolo 2);
- assetto attuale del T. Seveso: pluviometria, modello idrologico afflussi – deflussi, modello idrodinamico, taratura del modello idrologico-idraulico (capitolo 3);
- assetto di progetto del T. Seveso, con individuazione e caratterizzazione delle opere necessarie alla messa in sicurezza dei territori urbanizzati, con particolare riferimento alla Città di Milano (capitolo 4);
- conclusioni (capitolo 5).

2. SPECIFICITÀ DELL'AMBITO IDROGRAFICO LAMBRO – OLONA E DEL TORRENTE SEVESO

2.1 INTRODUZIONE

Il territorio lombardo del bacino Lambro – Olona costituisce un esempio notevole delle straordinarie criticità idraulico-ambientali derivanti dalla massiccia urbanizzazione di un territorio.

L'ambito Lambro – Olona del bacino del Po è inserito in un territorio tra i più intensamente urbanizzati e industrializzati d'Europa e del mondo. Nella superficie complessiva di circa 2'500 km² vive e opera una popolazione complessiva di circa 4 milioni di abitanti, con una incidenza sull'equilibrio idraulico-ambientale assai rilevante per la presenza di attività industriali, agricole e zootecniche di grande rilevanza nazionale ed internazionale.

Il correlativo apparato di infrastrutture autostradali, stradali e ferroviarie di ogni ordine è assai fitto e sono ora in atto o programmati nuovi importanti interventi di potenziamento e di riordino (autostrade esistenti A4, A7, A8 con i relativi potenziamenti; il sistema delle autostrade tangenziali di Milano; nuove autostrade Pedemontana e Bre-Be-Mi; ferrovie Alta Capacità MI-TO e MI-BO e ferrovie ordinarie) dai quali deriverà tutto il corrispondente corollario di tangenziali, bretelle e superstrade di interconnessione urbana e interurbana. La sempre crescente urbanizzazione del territorio ha già da tempo formato, in una visione a grande scala, un'unica “megacittà” o “policittà” che da ovest a est interessa le sei province di Varese, Milano, Monza, Lodi, Bergamo e Brescia tuttora in fase di sviluppo insediativo abitativo e produttivo. È peraltro assai importante rilevare come all'interno e all'esterno di tale “megacittà” siano tuttora assai vaste le superfici agricole e le aree dei parchi urbani e fluviali alle quali si legano le residue possibilità di “respiro” del territorio, come viene opportunamente sancito dalle più recenti pianificazioni regionali e provinciali.

Le complessità e criticità del reticolo idraulico milanese, composto da corsi d'acqua naturali, navigli e altre vie d'acqua artificiali, a cielo aperto e intubati, derivano da interventi e alterazioni introdotti dall'uomo fin dall'epoca romana e profondamente intensificati nel corso degli ultimi secoli. Accanto al prestigio storico, civile e sociale delle opere che caratterizzano la situazione attuale del reticolo e che ne impongono il rispetto e la salvaguardia, la sempre più intensa urbanizzazione del territorio e il fitto intreccio delle nuove infrastrutture di trasporto comportano gravi e crescenti problemi di insufficienza idraulica e compromissione qualitativa delle acque.

La sfida che oggi si propone agli amministratori, agli ingegneri e ai pianificatori del territorio è assai rilevante, dal momento che essa attiene non solo a decisioni di mera difesa dagli impatti mediante l’inserimento di nuove infrastrutture di laminazione e depurazione delle acque meteoriche prodotte nelle nuove aree urbanizzate e nei nuovi sedimi stradali e ferroviari, ma necessariamente richiede di concepire una nuova ricomposizione del territorio urbano e agricolo ai fini del riequilibrio idrogeologico, della riqualificazione paesaggistico – ambientale e del contenimento del degrado.

Le gravi situazioni di criticità riguardano in sintesi:

- inadeguatezza della capacità di deflusso dei corsi d’acqua con conseguenti situazioni di rischio da inondazione di notevoli aree urbanizzate, anche in presenza di precipitazioni di non rilevante intensità;
- pessima qualità chimico-fisica delle acque;
- pessima qualità biologica dell’ambiente fluviale;
- pessima qualità idromorfologica dei corsi d’acqua;
- banalizzazione ed impoverimento dell’ecosistema e degli habitat fluviali;
- assenza di funzione estetico-paesaggistica;
- assenza di funzione ricreativa;
- pericolosità dei tratti canalizzati e ad elevata profondità.

Anche sulla spinta della normativa inserita nel Piano di Tutela ed Uso delle Acque della Regione Lombardia (2006), le impellenti necessità sia di sicurezza idraulica sia di conseguimento degli obiettivi di qualità ambientale impongono nuovi criteri di pianificazione, progettazione e gestione impostati su criteri di “invarianza idrologica” e di Best Management Practices (BMP) che impongono l’adozione di misure strutturali e non strutturali non solo atte ad evitare che ogni nuova urbanizzazione ed ogni riconversione di aree urbane generi incrementi delle portate di piena, ma anche idonee ad un auspicabile riduzione delle criticità già presenti.

2.2 IL SISTEMA IDRAULICO MILANESE DEL BACINO LAMBRO - OLONA

Il sistema idrografico del bacino Lambro – Olona è assai complesso (Figura 1). Nell’ambito “naturale” della parte montana e pedemontana l’antropizzazione del territorio è ancora relativamente modesta e i corsi d’acqua scorrono nei loro letti naturali ed in valli ben delineate morfologicamente. Gli altri ambiti, invece, sono fortemente urbanizzati, con un

tessuto urbano sovente continuo e intensivo, in cui i corsi d'acqua sono artificializzati, canalizzati o costretti in tombinature, nonché interconnessi con gli altri reticoli irrigui e fognari che contraddistinguono il territorio.

In questi ambiti l'intervento dell'uomo ha infatti creato una fitta interconnessione di reticoli rispondenti a differenti finalità. Possono in particolare distinguersi cinque sistemi idraulici:

- il *sistema fluviale*, e cioè il sistema dei corsi d'acqua "naturali", ancorché fortemente modificati non solo nell'assetto delle loro sezioni di deflusso, ma anche nel loro stesso tracciato. Le deviazioni dal tracciato naturale, già iniziate in epoca romana, hanno riguardato Olona, Bozzente e Lura, fiumi che presso Rho sono stati deviati verso Milano, con benefici in termini di approvvigionamento idrico nei secoli passati, e poi intubati nel corso del secolo scorso nell'attraversamento della città fino a farli riemergere a sud con il nome di Lambro Meridionale, a sua volta affluente del Lambro Settentrionale e quindi del Po. Con tale storica deviazione, pertanto, il fiume Olona a partire da Rho è divenuto un affluente del sistema Lambro Meridionale - Lambro Settentrionale, abbandonando il suo bacino naturale che raggiungeva direttamente il Po, in corrispondenza dell'attuale confluenza dell'Olona Inferiore, retaggio dell'antico Olona, in comune di San Zenone al Po.
- il *sistema prestigioso e monumentale dei Navigli*, creato a partire dall'alto medioevo e sviluppato nell'epoca rinascimentale, con lo scopo di creare vie d'acqua importantissime per il rifornimento idrico e la vita sociale, oltre che per i trasporti e il commercio. Il sistema dei navigli interessa il territorio compreso tra il Ticino, l'Adda, i laghi prealpini e il Po, ed è costituito da 140 km di canali: il Naviglio Grande, il Naviglio di Bereguardo, il Naviglio Martesana, il Naviglio di Paderno ed il Naviglio di Pavia.
- il *sistema dei canali scolmatori delle piene*, creati nel secolo scorso per difendere la città di Milano. Tale sistema è composto dal Canale Scolmatore di Nord Ovest (C.S.N.O.), costituito da due tronchi denominati "Ramo Seveso" e "Ramo Olona" e dal Deviatore Olona. Tale sistema ha la funzione di deviare parte delle acque di piena del torrente Seveso, dei torrenti delle Groane, del torrente Lura e dell'Olona, che gravano sulla città di Milano, verso il Ticino (attraverso il C.S.N.O.) e verso il Lambro Meridionale (attraverso il Ramo Olona prima e il Deviatore Olona poi).
- il *sistema irriguo*, composto dalla fittissima rete di rogge e canali che si diramano non solo dai Navigli ma anche dal grande sistema irriguo del Consorzio del Canale Villoresi, importantissima arteria idraulica che trae alimentazione dalla presa sul Ticino presso lo

sbarramento di Panperduto e percorre trasversalmente l'intero bacino con andamento ovest – est fino a sboccare in Adda nei pressi di Cassano d'Adda, ove recapita la portata residua. I reticoli irrigui alimentati dai Navigli e dal Villoresi approvvigionano l'intera pianura lombarda interclusa tra Ticino, Adda e Po e cioè uno dei territori agricoli più ricchi e produttivi d'Europa. Il sistema irriguo è anche un sistema di bonifica in quanto assume la finalità di raccolta e colo delle portate meteoriche drenate dalle aree agricole e dai numerosi centri urbani del territorio. Inoltre in molti casi il sistema costituisce il ricettore finale di grandi impianti di depurazione dei reflui urbani, con evidenti benefici di riuso a fini irrigui delle acque depurate.

- i *sistemi fognari e di drenaggio urbano* di tutte le aree abitate del territorio. La vastità delle aree urbanizzate e la loro densità abitativa conducono a valori delle portate fognarie immesse nei ricettori spesso preponderanti rispetto ai loro deflussi naturali.

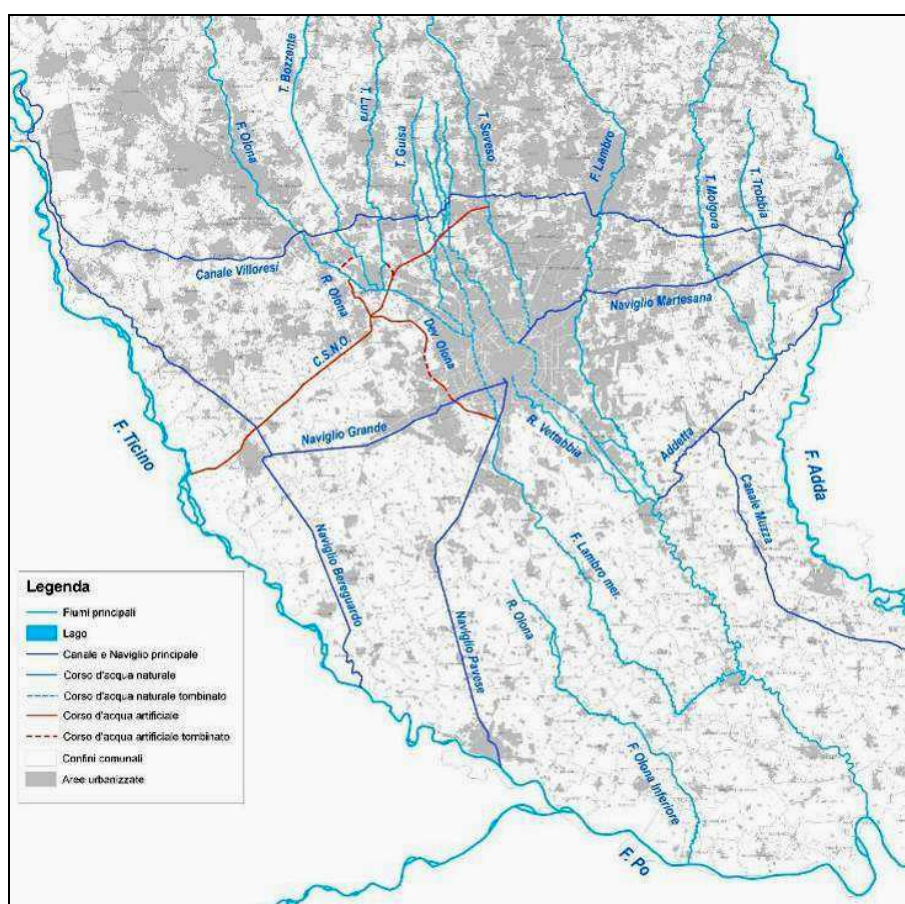


Figura 1 – Sistema idraulico Lambro – Olona

Le molteplici interconnessioni tra i sistemi suddetti e i conseguenti scambi idrici che si

alternano nel corso delle stagioni e degli eventi meteorici sono anche favoriti, in modo determinante, dall'andamento fortemente pianeggiante del territorio della pianura a sud di Milano tra Ticino e Adda. Ne consegue evidentemente che in tutto tale territorio i reticoli irrigui e fognari assumono rilevanza preponderante e i bacini idrografici propriamente detti perdono significato dal punto di vista dell'odierna organizzazione idraulica del territorio, fortemente dominata dai compensori di irrigazione e di bonifica e dai sistemi di drenaggio urbano.

2.2.1 Le criticità idrauliche del bacino Lambro - Olona

L'Autorità di Bacino del fiume Po ha recentemente approntato (2004) lo *“Studio di Fattibilità della Sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali ed artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona”*. Esso si basa su un accurata ricostruzione del comportamento idraulico in piena, effettuata con una modellazione matematica atta a simulare i profili di pelo libero condizionati da tutti gli effetti localizzati compresi i rigurgiti e gli allagamenti superficiali, sia nello stato attuale sia con diversi scenari di soluzione atti a eliminare le rilevanti criticità in atto.

L'ambito idrografico Lambro-Olona presenta notevoli specificità che ne fanno un caso unico nel bacino del Po. In estrema sintesi le maggiori peculiarità possono essere così riassunte:

- i corsi d'acqua oggetto di studio presentano tutti indistintamente una conformazione consolidata con capacità di deflusso progressivamente inferiore da monte verso valle. Come evidenziato dalle modellazioni già eseguite sul reticolo (Seveso, Lambro, Lura, Groane, Bozzente) e come storicamente noto, tutti i corsi d'acqua dell'ambito, convergendo sulla zona urbana di Milano e dell'hinterland, trovano alvei che per diversi chilometri (10÷15) hanno capacità di smaltimento inadeguata alle esigenze con tempo di ritorno modesto. Tali limitazioni al deflusso derivano da una consolidata conformazione d'alveo che si è venuta sviluppando nei secoli sino ad oggi e che è l'insieme di vincoli posti dalla dimensione dell'alveo, dalla successione ininterrotta di ponti e dalla discontinuità del sistema difensivo nell'attraversamento delle zone urbanizzate. Su normali corsi d'acqua infatti è possibile trovare sezioni puntuali (es. ponti) che inducono limitazioni anche pesanti al deflusso. Tali sezioni tuttavia sono puntuali e a valle delle stesse gli alvei riprendono caratteristiche di naturalità e di capacità di convogliamento simili o superiori a quelle di monte;
- l'urbanizzazione del territorio di fatto ha confinato tali tratti terminali dei corsi d'acqua in

ambiti o in sezioni chiuse il cui ampliamento non risulta proponibile e già era escluso nei lavori del Comitato Coordinatore delle Acque della Provincia di Milano del 1937;

- le sezioni di deflusso sono caratterizzate da numerosi manufatti di attraversamento e da un sistema difensivo spondale discontinuo, sviluppatosi senza un criterio guida omogeneo, come conseguenza dei limiti imposti dalle urbanizzazioni;
- i soli contributi del sistema di allontanamento delle acque meteoriche dai centri urbani sono in grado di saturare il sistema “naturale”.

I risultati dello studio riferito allo stato attuale hanno messo in evidenza numerosissime e gravi criticità distribuite lungo tutte le aste del bacino. È da sottolineare che ognuna di tali criticità genera condizioni di rigurgito con corrispondenti esondazioni superficiali più o meno rilevanti in funzione della morfologia dei luoghi. I corrispondenti effetti di laminazione, inaccettabili perché incontrollati e pericolosi e quindi da eliminare negli scenari futuri, valgono tuttavia a ridurre le portate fluenti verso valle.

2.2.2 Linee di intervento proposte

Gli studi che si sono susseguiti nel tempo per la risoluzione dell’ambito milanese hanno sempre individuato soluzioni volte a ridurre pesantemente i deflussi alle porte della città (intesa ora come zona urbana milanese e non più solo come città di Milano). Ad esempio il citato Comitato Coordinatore delle Acque della Provincia di Milano nel 1937 aveva individuato i seguenti interventi:

- necessità di scaricare le piene del bacino dell’alto Olona (sezione di p.te Gurone) nel lago di Varese e di qui nel lago Maggiore attraverso una galleria di lunghezza 2.400 m da p.te Gurone alla valle del torrente Riposino per una portata di 60 m³/s. Tale intervento, riproponendo la soluzione naturale esistente sul bacino del fiume Lambro con il lago di Pusiano o la soluzione del fiume Adige con lo scolmatore al lago di Garda, mirava a eliminare il contributo di tutto il bacino montano;
- necessità di deviazione delle piene dei torrenti delle Groane e del Seveso nel Lambro. Tale soluzione, allora fattibile per l’assenza di sviluppo urbanistico nella zona est milanese, oggi non è più praticabile;
- necessità di deviazione delle piene del Lambro sovrallacuale e della Bevera di Molteno nel lago di Annone e di qui nel lago di Como (ramo di Lecco). L’intervento oggi risulta scomponibile nei due proposti di gestione del lago di Pusiano e laminazione con casse di espansione del torrente Bevera.

E' evidente come già nel 1937 fosse ben chiaro il problema dell'insufficienza dei tratti vallivi dei citati corsi d'acqua e come tale problema dovesse essere risolto mediante l'azzeramento dei deflussi da monte mediante laminazioni (lago di Pusiano, lago Maggiore, ecc.) ovvero mediante scolmatori. E' tuttavia da osservare come nel 1937 i due corsi d'acqua principali (Lambro ed Olona) non fossero ancora inglobati nella cintura urbana milanese e pertanto non soffrissero dei vincoli oggi esistenti, che tendono sempre più ad omogeneizzarli con i corsi d'acqua che storicamente convergevano nel centro di Milano (Seveso, Groane).

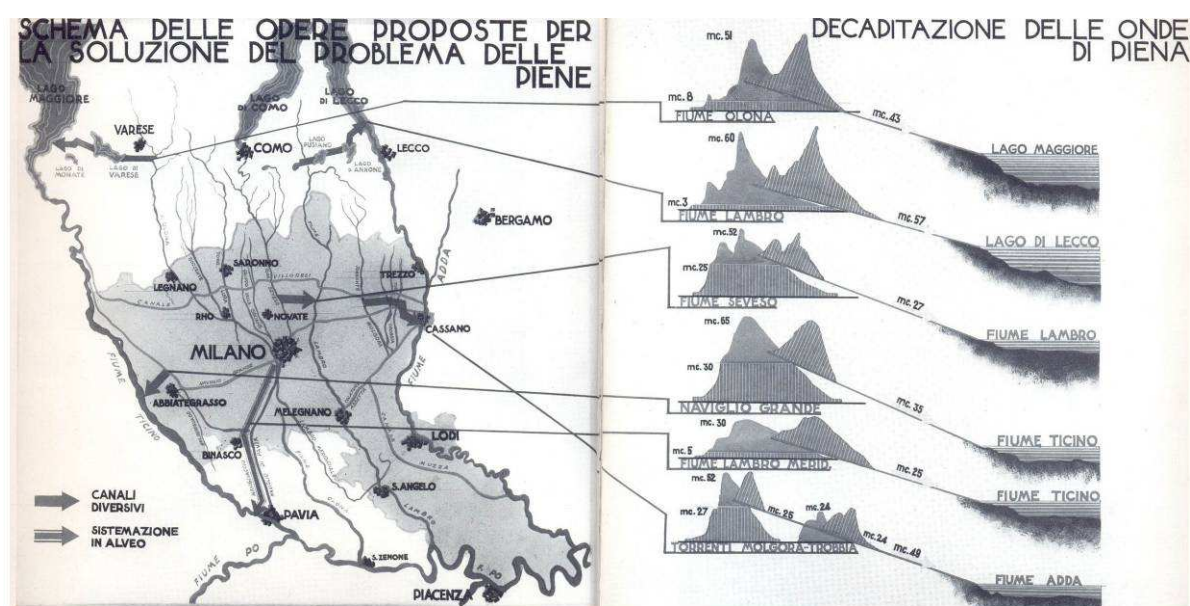


Figura 2 – Schema degli interventi previsti dal Comitato Coordinatore delle Acque della Provincia di Milano nel 1937

Successivamente gli interventi pensati ed in parte attuati sono stati volti alla deviazione delle portate mediante canali scolmatori ad ovest (C.S.N.O. esistente) e a est (C.S.N.E.);

In particolare, considerando l'ipotesi di diversivo verso est, era stato ipotizzato uno scolmatore in grado di convogliare le portate eccedenti del Seveso al fiume Lambro attraverso il cosiddetto Canale Scolmatore di Nord-Est. Tale progetto prevedeva diverse soluzioni di tracciato, a seconda della localizzazione dell'opera di presa sul torrente Seveso, tra Paderno Dugnano e via Ornato a Milano.

Tale intervento ora non è più proponibile, sia per la mancanza di spazio, sia per l'impossibilità del fiume Lambro di ricevere tali portate aggiuntive.

Lo studio condotto dall'Autorità di Bacino del fiume Po si concludeva con la proposta (Figura 3) di importanti opere di regimazione dei corsi d'acqua quali vasche di laminazione (lungo le

diverse aste del reticolo sono previste 33 aree di laminazione per una capacità di invaso complessiva di 17'000'000 m³, oltre a tutti gli interventi di laminazione urbana atti a rispettare la normativa regionale, 20 l/s/ha_{imp} per le aree di nuova urbanizzazione od a 40 l/s/ha_{imp}, per le aree già urbanizzate), canali scolmatori, diversivi o by-pass importanti, etc., atti a ridurre significativamente la portata di progetto (commisurata al tempo di ritorno di 200 anni per il Lambro e di 100 anni per tutti gli altri corsi d'acqua).

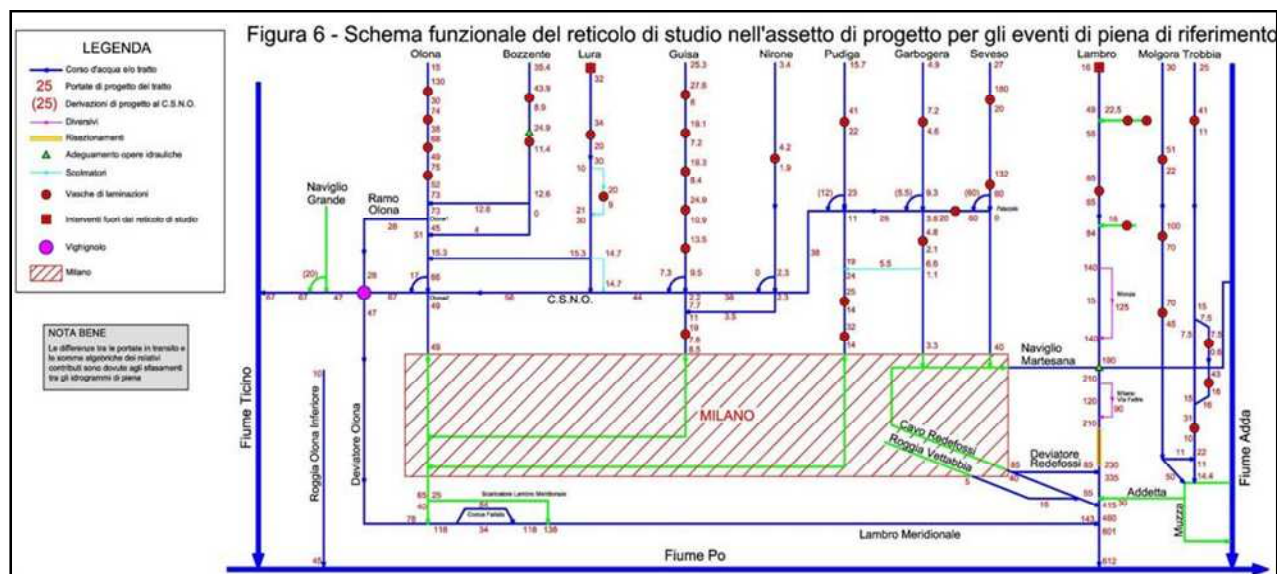


Figura 3 - Schema idraulico assetto di progetto bacino Lambro-Olona (Fonte: AdBPo, 2004)

Il vincolo dell'attraversamento della zona urbana di Milano ha imposto, ed impone oggi, lo sviluppo di pianificazioni che prevedono l'abbattimento ed in alcuni casi l'annullamento delle portate. La consapevolezza nello sviluppo della progettazione è che tutto l'assetto del corso d'acqua è comunque vincolato (sin dalle zone più lontane del bacino) alla conformazione ad imbuto del tratto terminale. La progettazione è influenzata sin dal principio dalla necessità vitale di ridurre le portate. Pertanto spesso la soluzione di formazione di arginature è superata dalla necessità di laminazioni sovradimensionate per il servizio locale ma mirate all'obiettivo finale.

Il grado di vincolo esistente sul sistema, la notevole insufficienza delle sezioni rispetto agli apporti, la pressione antropica sul territorio, portano inoltre a prevedere che tali soluzioni strategiche siano dimensionate con margini di sicurezza ampi.

Per quanto detto pertanto l'assetto fluviale definitivo risulta spesso influenzato da esigenze poste assai a valle rispetto al punto di intervento. Tale situazione tuttavia risulta avere anche

riflessi positivi distribuiti lungo l'intera asta, in quanto la riduzione delle portate, a volte, implica l'adeguamento delle strutture interferenti incompatibili.

2.3 PECULIARITÀ DEL TORRENTE SEVESO NELL'AMBITO LAMBRO-OLONA

In base ai diversi studi già condotti sul T. Seveso, ed in particolare facendo riferimento al più volte citato studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino del fiume Po, l'attuale assetto del torrente Seveso presenta una situazione ben suddivisibile in tre tratti:

- il tratto “naturale” di monte, ove gli allagamenti, per la piena di progetto, interessano zone per lo più a vocazione agricola o boschiva e dove le esondazioni, pur non decisive a fini complessivi d'asta, devono essere assolutamente mantenute e controllate al fine di non acuire i problemi di valle;
- il tratto “di propagazione” intermedio, ove gli allagamenti sono inesistenti o al più locali e dove non si rilevano spazi “naturali” idonei ove la corrente di piena possa espandersi;
- il tratto “urbanizzato” di valle, ove l'antropizzazione del corso d'acqua ha imposto una conducibilità idraulica assai limitata ($30\div40\text{ m}^3/\text{s}$ a fronte di una piena centennale di $140\text{ m}^3/\text{s}$ e di una capacità teorica del bacino di generare portate di circa $300\text{ m}^3/\text{s}$) e ove le esondazioni assumono una dimensione rilevante.

La citata morfologia deriva da una storia del corso d'acqua che ha condotto lo stesso a confrontarsi con un assetto che presenta elementi di assoluta originalità, non solo nel contesto del bacino del fiume Po, ma anche nel contesto Lambro-Olona nel Nord-Milano: il Seveso attualmente termina nel sottosuolo del centro di Milano (via Melchiorre Gioia) ove si origina, seguendo la linea dei bastioni, il cavo Redefossi, il quale ha una capacità di deflusso del tutto inadeguata agli afflussi di monte.

A puro titolo di esempio in di seguito è riportata la situazione urbanistica ed idraulica di Milano nel 1884. Si nota come il sistema Seveso-Martesana-Redefossi fosse del tutto esterno all'abitato.

Negli anni dell'immediato dopo-guerra si può notare sia la scarsa urbanizzazione del territorio (centri come Cinisello Balsamo, Cusano Milanino, Cormano, Bresso erano poco più che piccoli agglomerati rurali) sia il diverso grado di vincolo idraulico sul tratto urbano milanese (all'inizio degli anni '60 buona parte del sistema Seveso-Martesana-Redefossi era ancora a cielo aperto).

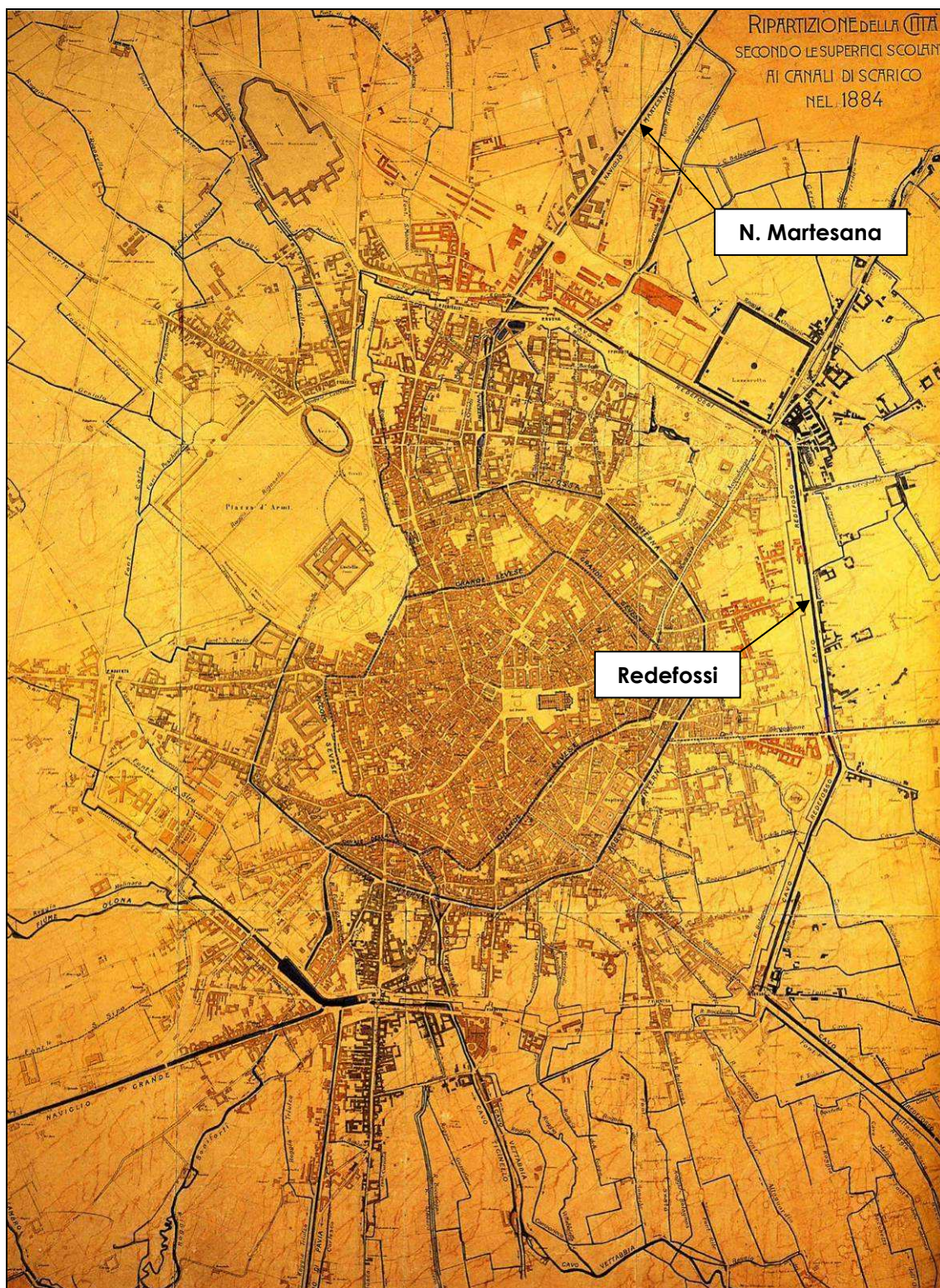


Figura 4 – situazione urbanistica ed idrografica di Milano nel 1884



Figura 5 – tratto di canale Martesana in via Melchiorre Gioia

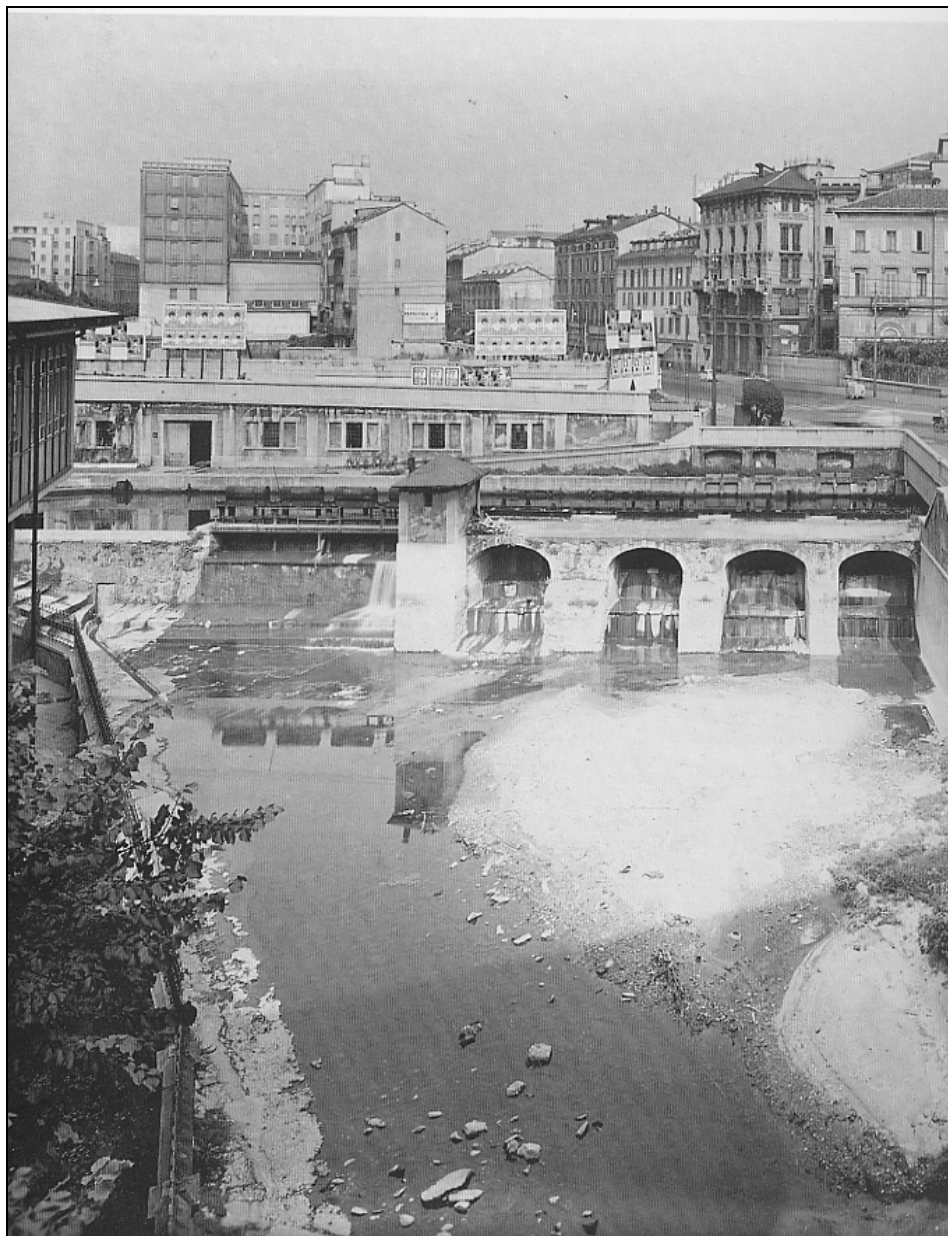


Figura 6 – manufatto di testa del cavo Redefossi al termine del Naviglio Martesana

Nel panorama generale sopra riassunto dell'ambito idrografico Lambro – Olona, il torrente Seveso si caratterizza per l'entità del grado di vincolo presente nella zona terminale dell'asta. Essendo posto infatti al centro della zona urbana milanese (a differenza di Lambro e Olona che scorrono in zone più periferiche) ed attraversando una porzione di territorio che ha subito uno sviluppo urbanistico senza paragoni in Lombardia negli ultimi 50 anni, il torrente Seveso risulta caratterizzato dal seguente assetto idraulico:

- la dimensione del bacino drenato. Il torrente Seveso ha un bacino di oltre 200 km², superiore alla somma dei corsi d'acqua delle Groane, che presentano la medesima

caratteristica di immettersi al di sotto della città di Milano;

- il bacino ha origine nella zona delle prealpi e pertanto le onde di piena che interessano il corso d'acqua hanno una base di tipo "naturale" con volumetrie dell'onda superiori a quelle derivanti dagli ambiti collinari e urbani che caratterizzano gli altri corsi d'acqua limitrofi (Groane, Bozzente ed anche Lura);
- l'asta si dirige nel centro urbano di Milano;
- l'asta, all'ingresso nel territorio comunale di Milano, si presenta a sezione tombinata con capacità di deflusso (stimata in $30\div40\text{ m}^3/\text{s}$ e limitata da vincoli a valle) assai inferiore rispetto alla capacità di monte;
- la capacità idraulica sopra riportata è appena sufficiente al drenaggio delle acque meteoriche urbane dell'hinterland per eventi che non superino i 2 anni di tempo di ritorno;
- il corso d'acqua, nel percorso in Milano, non presenta sezioni a cielo aperto;
- la rilevanza del grado di urbanizzazione attorno all'asta. Tutto il tratto terminale del corso d'acqua da Lentate sul Seveso a Milano presenta aree urbanizzate di vaste proporzioni ed inoltre in buona parte di tale tratto (da Lentate sul Seveso a Cusano Milanino) il corso d'acqua si presenta incassato di parecchi metri rispetto al piano campagna;
- il sistema spondale per ampi tratti è costituito dai muri stessi delle case realizzate ai margini dell'alveo che in alcuni casi ne riducono la capacità di deflusso;
- lo sviluppo urbanistico dei Comuni dell'hinterland a monte ha indotto alla progressiva impermeabilizzazione di vaste aree con conseguente aumento delle portate scaricate dal reticolo fognario. Le potenzialità di scarico di detto reticolo sono in grado di saturare la capacità di deflusso del corso d'acqua già per eventi associati a modesto tempo di ritorno, pur in assenza di afflussi da valle.

L'insieme delle citate particolarità fa sì che gli eventi alluvionali del torrente Seveso in Milano assumano una frequenza di più volte l'anno.

Secondo i dati disponibili, riassunti nel grafico riportato nella Figura 7, si ha che a Milano dal 1976 ad oggi si sono avute 90 esondazioni (in media 2,5 esondazioni all'anno). La frequenza delle esondazioni è aumentata negli ultimi anni, infatti dal 2005 ad oggi si sono verificate 19 esondazioni, con una media di 3,1 all'anno; particolarmente critico è stato l'anno 2010, durante il quale si sono verificate ben 8 esondazioni (03/05, 14/05, 23/07, 05/08, 12/08, 18/09, 01/11, 16/11), di cui particolarmente grave quella del 18 settembre.

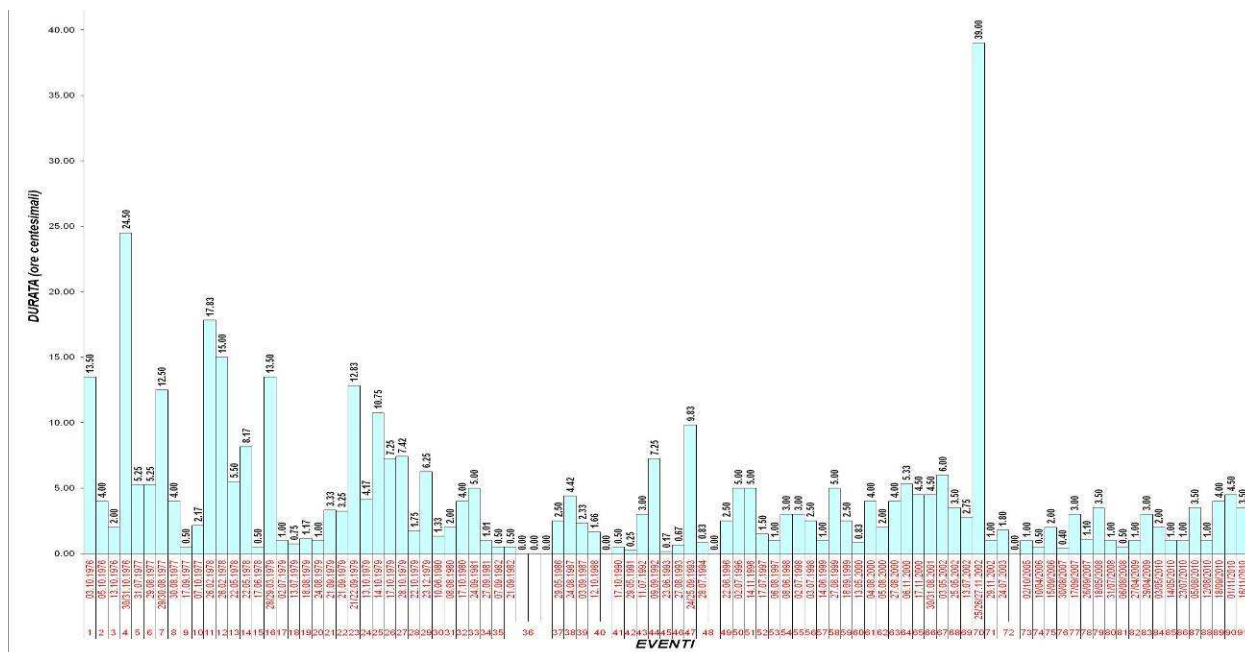


Figura 7 - Frequenza esondazioni del torrente Seveso in Milano (fonte: Comune Milano – MM S.p.A.)

Nelle foto seguenti si riportano alcune situazioni di allagamento in Milano nella zona di Niguarda: la situazione tra gli anni '70 e oggi non è cambiata.



Figura 8 – Allagamenti a Milano (sopra: anni '70; sotto: oggi)

3. ASSETTO ATTUALE DEL T. SEVESO

3.1 INTRODUZIONE

Nel presente capitolo vengono presentate le analisi che sono state condotte al fine di definire l'attuale assetto idrologico-idraulico del T. Seveso, con particolare riferimento ad un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 100 anni (tempo di ritorno di riferimento stabilito dall'Autorità di Bacino del fiume Po).

Le elaborazioni sono state condotte a partire da quanto già effettuato nell'ambito dello studio *AdBPo 2004*, al quale sono stati apportati gli opportuni aggiornamenti ed approfondimenti, relativi essenzialmente a:

- pluviometria;
- urbanizzazione del territorio;
- modifiche assetto geometrico dell'asta fluviale (rilievi topografici integrativi, interventi realizzati successivamente allo studio dell'Autorità di Bacino);
- nuova taratura del modello idrologico-idraulico attraverso l'analisi degli eventi verificatisi nel periodo settembre/dicembre 2010.

3.2 CARATTERISTICHE ESSENZIALI DEL BACINO DEL T. SEVESO

Il torrente Seveso nasce alle falde del Monte Pallanza nel territorio del comune di San Fermo della Battaglia (CO), nelle vicinanze del confine svizzero con il Canton Ticino, sul versante Meridionale del Sasso Cavallasca, in provincia di Como, circa a quota 490 metri sul livello del mare, tocca vari centri abitati della Brianza ed entra in Milano fino a sfociare nel Naviglio della Martesana all'interno della città di Milano in prossimità di via Melchiorre Gioia.

L'intero bacino idrografico del Seveso può essere suddiviso sostanzialmente in cinque parti:

- la prima parte più settentrionale, denominata "*Seveso naturale*", afferente all'asta del torrente Seveso dalla sorgente al comune di Lentate sul Seveso, presenta versanti acclivi o mediamente acclivi ed è caratterizzato da urbanizzazione ridotta;
- la seconda parte, denominata "*Certesa naturale*", ad est della precedente e afferente al torrente Certesa (o Roggia Vecchia), principale affluente del Seveso, si estende dalle sorgenti fino alla confluenza con il torrente Terrò ed è caratterizzato da versanti acclivi e da scarsa urbanizzazione;
- la terza parte, denominata "*Certesa urbano*", anch'essa afferente al Torrente Certesa, dalla confluenza con il Torrente Terrò fino alla confluenza nel torrente Seveso, presenta

versanti poco acclivi e vaste aree urbanizzate (Mariano Comense, Cabiato e Meda);

- la quarta parte, denominata “*Seveso urbano*”, afferente direttamente al torrente Seveso, da Lentate sul Seveso all’ingresso nel tratto tombato nel comune di Milano, presenta versanti pressoché pianeggianti ed un’elevata urbanizzazione (Barlassina, Seveso, Cesano Maderno, Bovisio Masciago, Varedo, Paderno Dugnano, Cusano Milanino, Cormano Bresso e Cinisello Balsamo).

Tali quattro parti in cui è stato suddiviso il bacino idrografico del Seveso possono essere raggruppate, a seconda della tipologia di funzionamento idrologico di formazione delle piene: i deflussi delle zone *Seveso naturale* e *Certesa naturale* dipendono esclusivamente dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, mentre i deflussi delle zone *Seveso urbano* e *Certesa urbano*, eccetto gli apporti di alcuni piccoli affluenti (Comasinella), risultano influenzati principalmente dalla capacità di smaltimento delle reti di drenaggio urbano.

La superficie complessiva del bacino del Seveso, chiuso all’ingresso nel tratto tombato di Milano in via Ornato è pari a circa 226 km², 100 dei quali di aree urbane (44%). Il bacino idrografico del torrente Certesa, affluente principale del Seveso, è pari a circa 72 km².

Se si considera poi come sezione di chiusura intermedia la presa del C.S.N.O. (limite di valle del presente studio), si ha che il bacino idrografico ha un’estensione di circa 190 km², 76 dei quali di aree urbane (40%). Come differenza si ha che il bacino idrografico del T. Seveso compreso tra la presa del C.S.N.O. e Milano è pari a 36 km², di cui 24 di aree urbanizzate (67%).

La lunghezza dell’asta del torrente Seveso fino a Milano (da ospedale S. Anna di Como) è pari a circa 39 km, 32 dei quali fino alla presa del C.S.N.O..

Nella Figura 9 è riportata una planimetria del bacino idrografico del T. Seveso, fino alla sezione di chiusura di Milano.

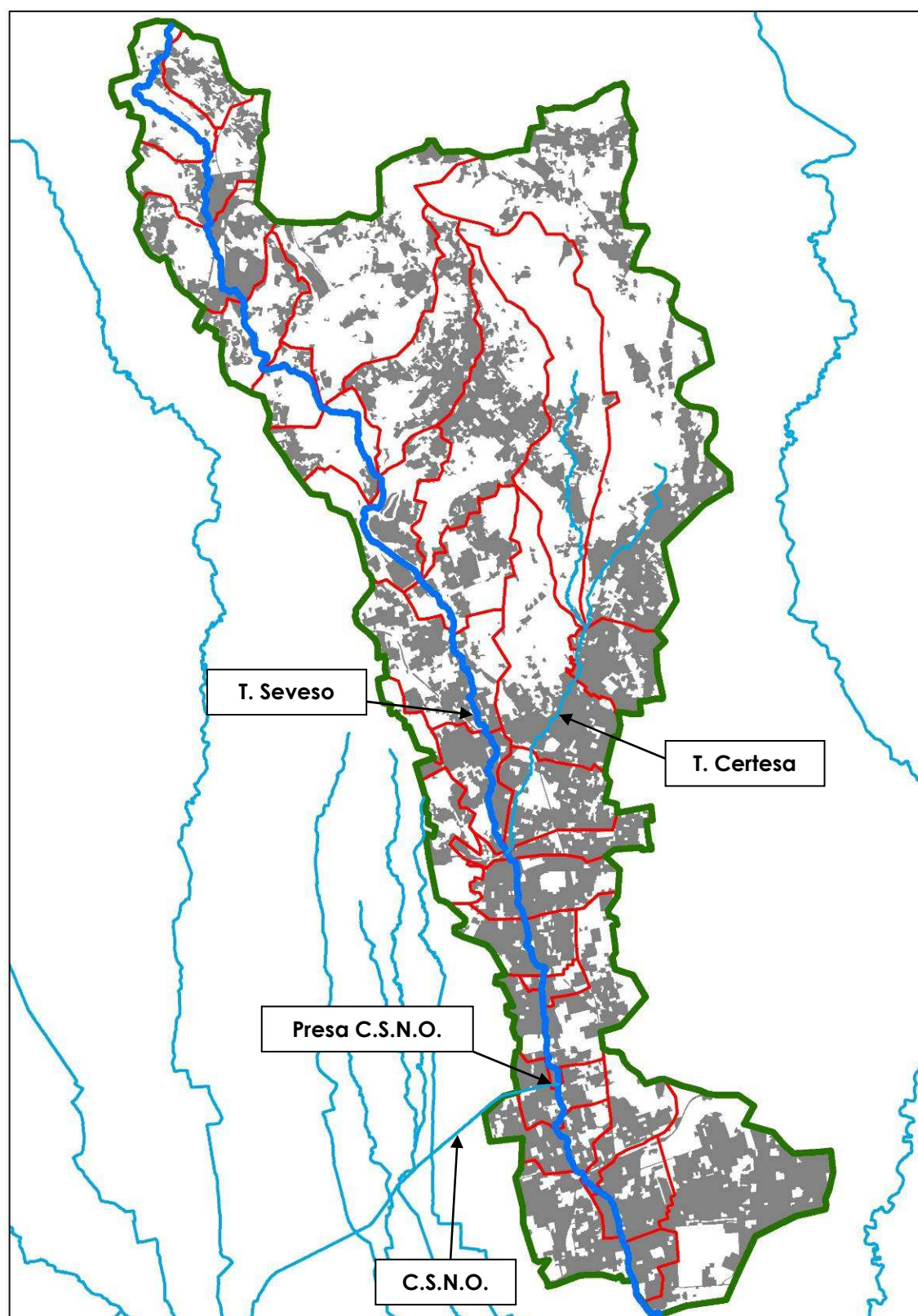


Figura 9 – Bacino idrografico del T. Seveso (in rosso sono indicati i sottobacini del modello idrologico, mentre in grigio sono indicate le aree urbanizzate aggiornate al 2007)

3.3 PLUVIOMETRIA DI RIFERIMENTO

Al fine di determinare il regime delle portate transitanti in un corso d'acqua è necessario utilizzare un modello di trasformazione afflussi-deflussi, il quale a partire da misure di precipitazione puntuali fornisce i corrispondenti ideogrammi di portata e di livelli idrometrici. Le serie storiche di livelli e di portate risultano infatti assolutamente insufficienti per determinare il regime idrografico del corso d'acqua in esame.

Per costruire quindi un modello afflussi-deflussi è necessario innanzitutto definire il regime pluviometrico che caratterizza il territorio, operando una attenta valutazione della disponibilità delle serie storiche dei dati di pioggia sul bacino in esame e nelle zone limitrofe. I modelli afflussi – deflussi richiedono input pluviometrici idonei alla previsione di onde di piena di assegnato tempo di ritorno.

Tale componente essenziale dell'indagine idrologica richiede, a partire dai dati storici relativi alle precipitazioni di forte intensità e breve durata, di effettuare le seguenti determinazioni:

- a. scelta dei tempi di ritorno necessari per la simulazione delle piene nella situazione in atto e negli scenari di intervento;
- b. elaborazione delle curve di possibilità pluviometrica sia di ogni stazione pluviografica disponibile, sia, attraverso criteri di regionalizzazione, di areali di interesse;
- c. adozione di valori idonei delle durate complessive degli eventi e di forme degli ietogrammi di progetto adatte per la rappresentazione delle dinamiche d'alveo e degli eventuali invasi in aree di espansione;
- d. adozione di idonei valori dei coefficienti di ragguaglio all'area per evitare errori di stima delle precipitazioni intense su areali di vasta dimensione in cui la disuniformità spaziale delle precipitazioni divenga significativa.

3.3.1 Tempo di ritorno di riferimento

Il presente studio è stato effettuato, in accordo con le scelte dell'Autorità di Bacino del fiume Po, adottando come tempo di ritorno di riferimento il valore pari a 100 anni.

3.3.2 Curve di possibilità pluviometrica

La determinazione delle curve di possibilità pluviometrica è stata effettuata aggiornando i dati utilizzati nell'ambito dello Studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino del fiume Po.

Nel suddetto studio si era fatto riferimento ai dati contenuti nel *“Rapporto sulla valutazione*

delle piene per l'Italia nord occidentale” (2001) di C. De Michele e R. Rosso e alla pubblicazione “Il regime delle piogge intense a Milano” (1976) di U. Moisello. Erano state effettuate elaborazioni puntuali, determinando per ciascuna stazione pluviometrica i parametri $a(T)$ e n della curva di possibilità pluviometrica $h(T)=a(T) t^n$, definendo poi la variazione spaziale della stessa attraverso la costruzione delle curve $iso-a$, per diversi tempi di ritorno, ed $iso-n$.

Nel presente studio, al fine di aggiornare le analisi condotte in precedenza, si è fatto riferimento ai dati delle curve di possibilità pluviometrica determinati da ARPA Lombardia, i quali sono aggiornati all’anno 2002.

La curva di possibilità pluviometrica è espressa nella forma $h_T(D)=a_1 w_T D^n$, in cui D rappresenta la durata dell’evento meteorico, T il tempo di ritorno, mentre a_1 (coefficiente pluviometrico orario), w_T (quantili normalizzati per i diversi tempi di ritorno espressi in anni) e n (esponente di scala) sono i parametri delle curve che variano spazialmente.

I valori dei diversi parametri sono estrapolabili dal sito internet dell’ARPA (http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg_serv_idro.phtml) dove sono presenti delle mappe in formato raster di tutta la regione.

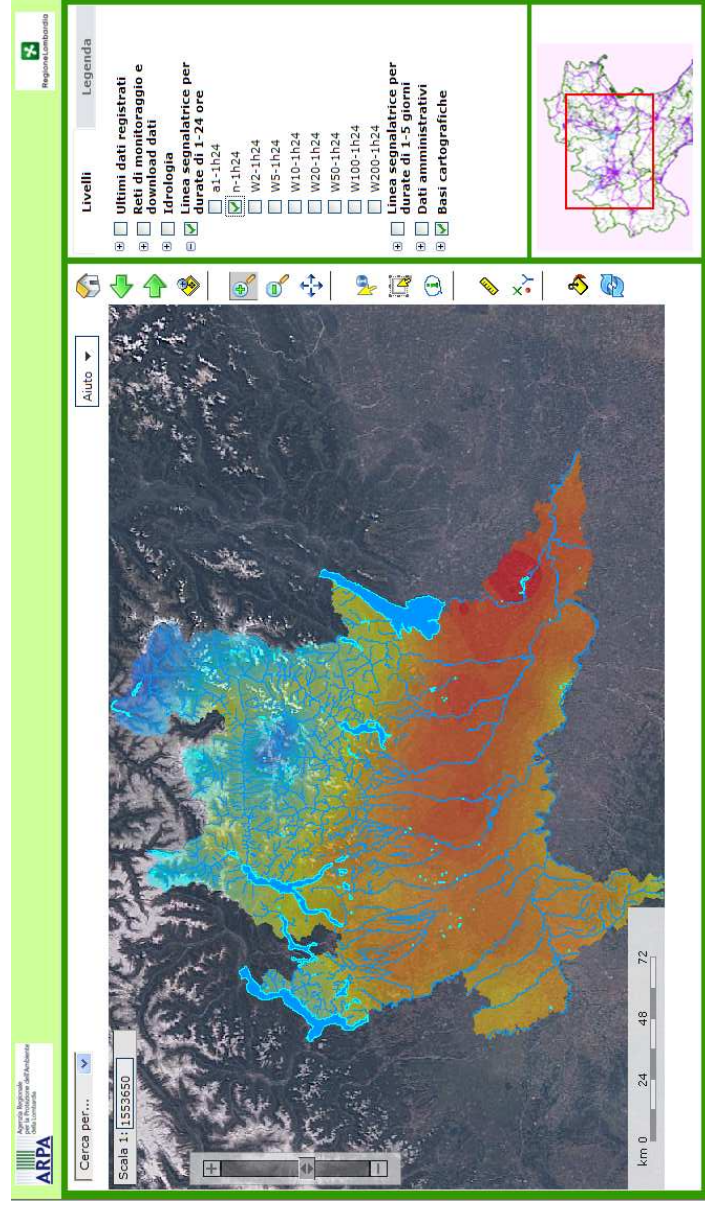


Figura 10 – Schermata del sito web dell’Arpa Lombardia da cui è possibile estrarre i parametri delle curve di possibilità pluviometrica

Con riferimento alla suddivisione in sottobacini effettuata nell'ambito dello Studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino e qui confermata, prendendo come sezione di chiusura l'opera di presa del C.S.N.O., ossia i sottobacini fino al n. SEV-14, si riporta nella seguente Tabella 1 il confronto fra i parametri considerati in tale studio e quelli ricavati dalle elaborazioni dell'ARPA Lombardia. I valori dei parametri riportati sono relativi al baricentro di ogni sottobacino.

Calcolando il valore dell'altezza di precipitazione relativa ad una durata di 24 ore per ogni sottobacino e determinando poi il volume lordo di precipitazione, si può osservare come i valori siano molto simili tra loro: risulta maggiore il volume di precipitazione determinato con i parametri dello studio dell'Autorità di Bacino, anche se la differenza è pari a circa il 2%.

Nel proseguo del presente studio si è deciso di utilizzare i parametri ricavati dalle mappe di ARPA Lombardia, che oltre ad essere disponibili ed omogenei per l'intero territorio regionale, verranno continuamente aggiornati.

Tabella 1 – Confronto fra le curve di possibilità pluviometrica studio AdBPo e ARPA Lombardia

n	sottobac.	cpp - arpa		cpp - SdF		Diff. % (Sdf - Arpa)/Sdf		h100 (T=24 ORE)		Diff. %	V100 (T=24 ORE)	
		n	a(T=100)	n	a(T=100)	n	a(T=100)	ARPA	ADBPO	h	ARPA	ADBPO
1	SEV_1a	0.30	70	0.31	70	2%	0%	183	187	2%	2'416'118	2'471'035
2	SEV_1b	0.30	71									
3	SEV_1c	0.30	71									
4	SEV_1d	0.30	72									
5	SEV_2	0.30	72	0.31	70	3%	-3%	188	187	0%	1'295'638	1'291'763
6	SEV_3	0.30	73	0.31	70	4%	-5%	190	187	-1%	896'355	884'923
7	ACQ	0.30	73	0.31	70	2%	-4%	191	187	-2%	3'021'061	2'962'243
8	SEV_4	0.30	74	0.31	70	2%	-6%	194	187	-4%	520'107	502'456
9	ANT	0.30	75	0.31	70	3%	-6%	194	187	-3%	1'428'444	1'381'755
10	SEV_5	0.30	74	0.31	70	4%	-6%	192	187	-3%	817'395	796'806
11	SEV_6	0.30	75	0.32	70	7%	-6%	192	194	1%	1'217'544	1'225'094
12	SER	0.30	75	0.31	70	4%	-7%	193	187	-3%	1'684'229	1'636'733
13	SEV_7	0.29	74	0.32	70	8%	-6%	190	194	2%	2'160'165	2'202'459
14	SEV_8	0.29	74	0.31	70	5%	-6%	188	187	0%	1'653'354	1'646'107
15	SEV_9	0.29	73	0.31	75	5%	3%	185	201	8%	746'057	809'528
16	CER_1	0.29	77	0.31	75	6%	-2%	194	201	3%	6'899'460	7'133'085
17	TER	0.29	76	0.31	75	6%	-1%	191	201	5%	3'099'547	3'254'181
18	CER_2	0.29	73	0.31	75	6%	3%	184	201	8%	772'423	843'677
19	CER_3	0.31	74	0.31	75	1%	2%	194	201	3%	2'193'633	2'269'892
20	CER_4	0.30	72	0.31	75	3%	3%	188	201	6%	958'748	1'024'465
21	SEV_10	0.30	72	0.30	75	0%	4%	187	195	4%	543'030	564'316
22	COM	0.30	73	0.31	75	3%	3%	190	201	5%	823'959	871'799
23	SEV_11	0.30	72	0.29	75	-3%	5%	185	189	2%	877'713	893'513
24	SEV_12	0.30	71	0.28	75	-9%	5%	187	183	-2%	701'762	684'781
25	SEV_13	0.31	71	0.27	80	-14%	12%	188	189	1%	180'118	181'142
26	SEV_14	0.29	71	0.26	80	-12%	12%	177	183	3%	1'318'757	1'359'934
											36'225'618	36'891'686

3.3.3 Ietogrammi di calcolo

Tra i diversi tipi di piogge sintetiche utilizzate nella progettazione di opere idrauliche, è stato qui utilizzato, in analogia con lo studio dell'Autorità di Bacino, lo ietogramma Chicago, le cui caratteristiche principali sono: andamento temporale non costante dell'intensità di precipitazione, caratterizzato in particolare dalla presenza di un picco d'intensità posto all'interno della durata complessiva dell'evento e che separa due rami rispettivamente crescente, prima del picco, e decrescente, dopo il picco, aventi andamento esponenziale; congruità tra le intensità medie dello ietogramma e quelle definite dalla curva di possibilità pluviometrica per qualsiasi durata parziale attorno al picco minore o uguale a quella dello ietogramma complessivo.

Lo ietogramma Chicago presenta molteplici vantaggi largamente messi in luce dagli studi specializzati di settore.

Anzi tutto è da sottolineare come tale ietogramma conduca a riprodurre onde di piena poco sensibili rispetto alla durata totale dell'evento meteorico, poiché un aumento di essa ha effetto solo sul prolungamento delle code iniziale e finale dello ietogramma ove l'intensità è minore. Inoltre uno stesso ietogramma Chicago, proprio perché è congruente con la curva di possibilità pluviometrica per ogni durata parziale attorno al picco, risulta contenere le piogge critiche di ogni sottobacino del bacino complessivo, purché la durata totale dello ietogramma sia maggiore del tempo di risposta del bacino complessivo. Esso quindi evita la ricerca dell'evento critico specifico di ogni sottobacino, ricerca che, anche se priva di difficoltà concettuali, diviene pesante quando un bacino, come ad esempio il Seveso, sia suddiviso in molti sottobacini ed occorra ogni volta procedere a molteplici simulazioni riferite a differenti tempi di ritorno e a differenti scenari di intervento.

È poi da tenere presente che la presenza del picco dello ietogramma Chicago consente di evitare gli errori di sottostima delle portate al colmo conseguenti, soprattutto nei bacini di piccole e medie dimensioni, all'adozione dello ietogramma costante, assai diffuso nelle elaborazioni idrologiche anche perché particolarmente semplice e ben maneggiabile nei modelli matematici.

Si deve peraltro ricordare che lo ietogramma Chicago, poiché rispetta la curva di possibilità pluviometrica per ogni durata parziale, è caratterizzato da un tempo di ritorno maggiore di quello nominale, con conseguente sovrastima dell'onda di piena. È noto che tale aspetto può assumere rilevanza soprattutto quando si scelga una durata eccessivamente maggiore del tempo di risposta del bacino e quando sia di interesse la simulazione di fenomeni di invaso,

qual'è il caso in oggetto in cui l'interesse principale riguarda gli invasi di laminazione, influenzati più dal volume che dal picco dell'idrogramma di piena. Peraltro l'eventuale sovrastima è da considerarsi positivamente nel campo della pianificazione in cui le valutazioni devono essere a carattere prudentiale, tenendo conto delle inevitabili approssimazioni di tutte le elaborazioni idrologiche.

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

Per il bacino del Seveso la durata dello ietogramma è stata assunta pari a 24 ore e il parametro r è stato assunto pari a 0.3.

3.3.4 Raggiungimento della precipitazione all'area

Poiché il modello afflussi – deflussi più oltre descritto è stato utilizzato per la simulazione distribuita dell'intero bacino del Seveso (190 km²) chiuso all'opera di presa del C.S.N.O., è stato necessario individuare i coefficienti correttivi di raggiungimento delle precipitazioni a tale valore dell'area.

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

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

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

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

Il primo è il classico coefficiente di riduzione del volume di pioggia all'area; esso tiene conto che il volume complessivo di pioggia considerato nello ietogramma di progetto come sopra calcolato, da intendersi riferito al centro di scroscio, deve essere ridotto all'aumentare dell'area del bacino per tener conto del fatto che statisticamente altri punti del bacino sono investiti da piogge minori. Il detto coefficiente è quindi minore dell'unità. In proposito, tenuto conto dell'intento pianificatorio dello studio e della necessità di procedere con assunzioni di

tipo cautelativo legate alla protezione idraulica del territorio per eventi a carattere straordinario, si è assunto un unico valore del coefficiente di ragguaglio, costante per tutti i sottobacini, pari a 0.9; tale valore è stato ottenuto, in media, applicando per i sottobacini in esame le formule di letteratura (Columbo, Procedura Wallingford, Moisello).

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

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

Anche se gli studi disponibili concordano su tale aspetto, tuttavia le proposte in merito sono ancora poco documentate. Nel caso di interesse, tenuto conto dei ricordati caratteri dello studio, si è assunto per tale coefficiente il valore di 1.1.

Pertanto, considerando entrambi i fattori correttivi (0.9 e 1.1) è come se non si considerasse nessun tipo di ragguaglio, quindi l'evento meteorico di riferimento è costituito da una precipitazione contemporanea in ogni sottobacino.

3.4 MODELLO IDROLOGICO AFFLUSSI – DEFLUSSI

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

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

3.4.1 Il modulo NAM per i bacini con ridotta percentuale di aree urbane

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

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

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

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

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

I quattro serbatoi rappresentano i seguenti processi:

- accumulo e scioglimento neve (non utilizzato nel presente studio);
- intercettazione;
- infiltrazione;
- immagazzinamento nella falda.

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

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

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

Anche la quantità d'acqua contenuta nel serbatoio inferiore L diminuisce per effetto della traspirazione, mentre il contenuto reale di umidità controlla il tasso di infiltrazione.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

In questo modo si assicura, in pratica, l'assunzione del modello dell'onda cinematica per

simulare i processi di deflusso superficiale e ipodermico; il deflusso di base è simulato invece secondo i processi della dinamica sotterranea.

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

- parametri per il setup delle simulazioni: periodo di simulazione, passo temporale di calcolo;
- parametri del modello: S , L_{max} , U_{max} , $CQOF$, $CK1,2$, $CKIF$, TOF , TIF , TG , $CKBF$;
- condizioni iniziali: contenuto di umidità in tutti i serbatoi, U/U_{max} e L/L_{max} , ed eventuali valori di portata;
- dati meteorologici: precipitazioni reali o di progetto P (ottenute dalle curve di possibilità in funzione della durata della pioggia e del tempo di ritorno T), evapotraspirazione potenziale E_p (nel seguito posta uguale a zero) e temperatura.

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

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

3.4.2 Il modulo NAM-URBANO per i bacini pianeggianti con elevata percentuale di aree urbane

Per i bacini a contributo prevalentemente urbano, posti nei settori di pianura (e cioè nei settori *Certesa urbano*, *Seveso urbano* citati in precedenza), le acque meteoriche raccolte dal sottobacino vengono recapitate nei corsi d'acqua solo attraverso le reti di drenaggio urbano (scarichi e sfioratori).

In tali aree urbane, infatti, non esiste un reticolo idrografico naturale e l'adduzione al Seveso delle acque meteoriche avviene solo attraverso le reti fognarie e quindi con onde di piena fortemente dipendenti dalle modalità di funzionamento di reti idrauliche a sezione chiusa, generalmente dimensionate per bassi tempi di ritorno (tipicamente 2 – 10 anni).

Né d'altra parte sarebbe ipotizzabile una situazione futura presentante nuove dimensioni delle reti fognarie atte a recapitare al Seveso portate meteoriche commisurate per eventi di tempo di ritorno di 100 – 200 anni. Ciò non solo per i costi diretti e indiretti assolutamente inaccettabili che avrebbero collettori così dimensionati, ma anche perché tali portate sarebbero non compatibili e non ricevibili nel torrente Seveso. A tale proposito è anche da ricordare che il precedente P.R.R.A. della Regione Lombardia, poi confermato dal P.T.U.A. regionale, riconosciute tali circostanze, ha previsto estesi interventi di laminazione urbana delle portate

meteoriche allo scopo di rendere compatibili i deflussi urbani con i corsi d'acqua ricettori. In sostanza le limitazioni di portata delle reti fognarie devono essere considerate non solo in modo positivo nei riguardi dei corsi d'acqua ricettori, ma anche come non sopprimibili nel futuro e anzi da ulteriormente esaltare come parte fondamentale delle politiche di regimazione e di "invarianza" idraulica dei territori fortemente urbanizzati.

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

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

Per quanto riguarda, invece, il volume sotteso dall'idrogramma che può raggiungere il torrente Seveso, il serbatoio prima citato è stato dimensionato, mediante una soglia di sfioro, in modo da invasare un volume massimo pari a circa 1000 m^3 per ogni km^2 di bacino (volume medio di invaso interno delle reti fognarie); il volume dell'onda di piena che, in relazione allo ietogramma considerato, si forma nel sottobacino e che eventualmente eccede tale capacità d'invaso è considerato sfiorato e poi perduto agli effetti dell'idrogramma di piena in uscita dal modello afflussi-deflussi e in ingresso all'asta fluviale.

I concetti sopra esposti possono essere esemplificati attraverso le figure sottostanti: durante un evento meteorico intenso, caratterizzato da un tempo di ritorno elevato (100 anni) giunge al suolo una quantità d'acqua tanto ingente da non poter essere smaltita completamente dal sistema di drenaggio urbano (capacità di smaltimento commisurabile con eventi meteorici di $2\div 10$ anni di tempo di ritorno), con conseguenti fenomeni di allagamento lungo le strade, le piazze e i giardini. E poiché l'unico collegamento tra le aree urbanizzate e il reticolo idrografico superficiale è rappresentato dalle reti di drenaggio urbano, la quantità di acqua (portate e volumi) che giunge al ricettore è inferiore rispetto a quella associata al tempo di ritorno della precipitazione. Lo smaltimento dei volumi esondati, data la conformazione piana

dei territori urbanizzati in questione, avviene in tempi lunghi, superiori alla durata del colmo di portata all'interno dell'alveo e pertanto non influenzano la formazione dell'onda di piena.



Figura 11 – Schemi grafici rappresentativi delle piene urbane e delle piene fluviali

Tale approccio modellistico riprende quanto riportato nella relazione idrologica dello studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino, ed è quindi in linea con quanto in esso contenuto, non solo come concetti generali ma anche come modulo di calcolo NAM-URBANO del modello

MIKE 11 del DHI.

Nella figura sottostante viene rappresentato concettualmente il funzionamento del modello NAM-URBANO.

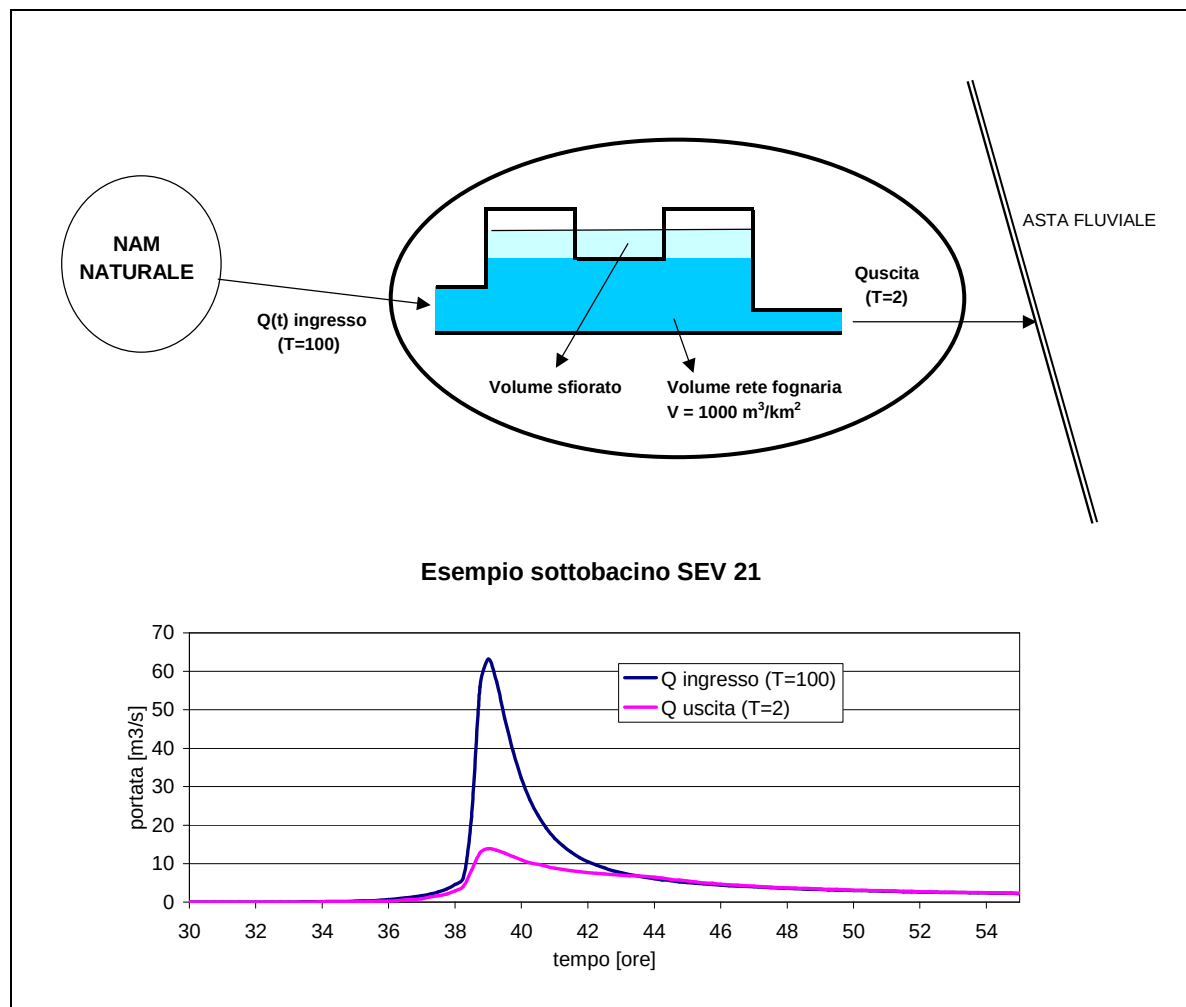


Figura 12 – Schema modello afflussi-deflussi NAM-URBANO

3.4.3 Definizione dei parametri

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

- $U_{max} = 10 \text{ mm}$;
- $L_{max} = 100 \text{ mm}$ per i bacini extra-urbani (NAM), 5 mm per i bacini urbani (NAM-URBANO), 150 mm per le porzioni non urbanizzate dei bacini urbani;
- U/U_{max} (per $t=0$) = 0;

- L/L_{max} (per $t=0$) = 0,15;
- $CQOF = 0,3 \div 0,5$ (per i bacini urbani, schematizzati con il modulo NAM-URBANO, si è considerato il valore di 0,3);
- $CK1,2 = 1 \div 2$ volte il tempo di corrivazione del bacino.

Per i restanti parametri, ad esempio quelli legati al serbatoio che rappresenta il funzionamento della falda, si sono considerati i parametri di default definiti all'interno del codice di calcolo.

La definizione dei suddetti parametri si è ottenuta solo dopo la taratura del modello completo, idrologico ed idraulico, attraverso la simulazione degli eventi pluviometrici verificatisi nel periodo settembre-dicembre 2010, esposta nel successivo paragrafo 3.6.

3.4.4 Definizione dei sottobacini di calcolo e loro caratterizzazione

Nel presente studio si è utilizzata la medesima suddivisione in sottobacini effettuata nell'ambito dello Studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino, ad eccezione del primo sottobacino, denominato in precedenza SEV-1, il quale è stato ora suddiviso in quattro sottobacini, denominati rispettivamente SEV-1a (Seveso a monte confluenza Valle Grande), SEV-1b (Valle Grande), SEV-1c e SEV-1d (Fosso Luser).

Per tutti i sottobacini è stata aggiornata la superficie urbanizzata. Nello studio del 2002-2004 la superficie delle aree urbanizzate di ciascun sottobacino era stata ricavata dalla cartografia CT10 della Regione Lombardia, all'interno della quale erano presenti le perimetrazioni degli agglomerati urbani relativi alla situazione presente nel 1994 (anno in cui è stato effettuato il volo con cui è stata redatta la Carta Tecnica Regionale della Lombardia).

Attualmente si dispone di informazioni più aggiornate e più dettagliate. Tali informazioni sono contenute nella cartografia dell'uso del suolo della Regione Lombardia, denominata DUSAF, realizzata da ERSAF in collaborazione con le Direzioni Generali Territorio e Urbanistica e Agricoltura di Regione Lombardia.

L'ultima versione disponibile del Dusaf, utilizzata nel presente studio, è la 2.1, la quale è stata prodotta attraverso la digitalizzazione e l'interpretazione delle ortofoto realizzate nel 2007 (IT2007). Pertanto, l'aggiornamento riguarda un periodo di 13 anni; è facile immaginare come in questo periodo nell'hinterland milanese le aree urbanizzate siano aumentate.

La legenda utilizzata nella produzione della cartografia DUSAF è molto estesa e particolareggiata. Per la definizione delle aree urbanizzate ai fini della modellazione idrologica, sono state considerate e accorpate le aree così definite, secondo la legenda del DUSAF:

- tessuto residenziale denso;
- tessuto residenziale continuo mediamente denso;
- tessuto residenziale discontinuo;
- tessuto residenziale rado e nucleiforme;
- insediamenti industriali, artigianali, commerciali;
- insediamenti ospedalieri;
- impianti di servizi pubblici e privati;
- impianti tecnologici;
- reti stradali e spazi accessori;
- reti ferroviarie e spazi accessori;
- cantieri.

Di seguito, per ogni sottobacino fino alla presa del C.S.N.O. (da SEV-1a fino a SEV-14 compreso), si riportano i valori delle superfici totali, l'estensione delle aree urbanizzate (studio AdBPo e studio attuale), nonché la variazione (espresso in percentuale) verificatasi nel periodo tra il 1994 e il 2007.

Complessivamente la superficie urbanizzata è passata da circa 72 km² a circa 76 km²; rispetto alla superficie totale del bacino del Seveso, la percentuale delle aree urbanizzate è passata dal 38 al 40%.

Analizzando i dati dei singoli sottobacini si osservano variazioni percentuali comprese tra -17% e +51%. Le variazioni negative delle superfici urbanizzate (sup. urbanizzata 2007 < sup. urbanizzata 1994) non derivano da un'effettiva riduzione delle aree urbanizzate, ma piuttosto da una migliore definizione delle stesse che è stato resa possibile dall'utilizzo delle informazioni contenute nel DUSAF rispetto a quanto disponibile in precedenza (nel Dusaf sono distinte le singole destinazioni di uso del suolo anche all'interno dei centri abitati; ad esempio un parco all'interno di un centro abitato, che prima era considerato come un'area urbanizzata, adesso è distinguibile come area verde).

Nella Figura 13 e nella Figura 14 sono riportate le aree urbanizzate nei singoli sottobacini, sovrapposte in ordine alternato, in modo tale da dare evidenza delle differenze esistenti tra quanto considerato nello studio dell'Autorità di Bacino e nello studio attuale.

Tabella 2 – Determinazione delle superfici urbanizzate per ogni sottobacino. Confronto fra studio AdBPo e attuale

n	SOTTOBACINO	S_KMQ	URB-CT10	URB-DUSAF2.1	Variazione
1	SEV_1a	2.97	3.37	1.13	13%
2	SEV_1b	4.69		0.51	
3	SEV_1c	3.00		1.43	
4	SEV_1d	2.49		0.71	
5	SEV_2	6.89	3.26	3.62	11%
6	SEV_3	4.72	1.45	1.73	20%
7	ACQ	15.80	2.80	3.76	39%
8	SEV_4	2.68	0.48	0.51	6%
9	ANT	7.37	4.90	4.72	-7%
10	SEV_5	4.25	1.21	0.99	-17%
11	SEV_6	6.33	2.09	2.41	16%
12	SER	8.73	5.51	5.11	-7%
13	SEV_7	11.38	1.99	2.23	3%
14	SEV_8	8.78	3.80	4.16	10%
15	SEV_9	4.03	2.96	3.00	2%
16	CER_1	35.51	11.13	11.71	5%
17	TER	16.20	2.02	2.53	26%
18	CER_2	4.20	3.75	3.36	-11%
19	CER_3	11.30	4.61	4.60	0%
20	CER_4	5.10	3.13	3.51	11%
21	SEV_10	2.90	2.16	2.10	-3%
22	COM	4.34	1.09	1.08	-1%
23	SEV_11	4.74	3.94	3.60	-10%
24	SEV_12	3.75	2.60	2.88	11%
25	SEV_13	0.96	0.37	0.56	51%
26	SEV_14	7.44	3.15	3.98	27%
		190.55	71.76	75.93	4%

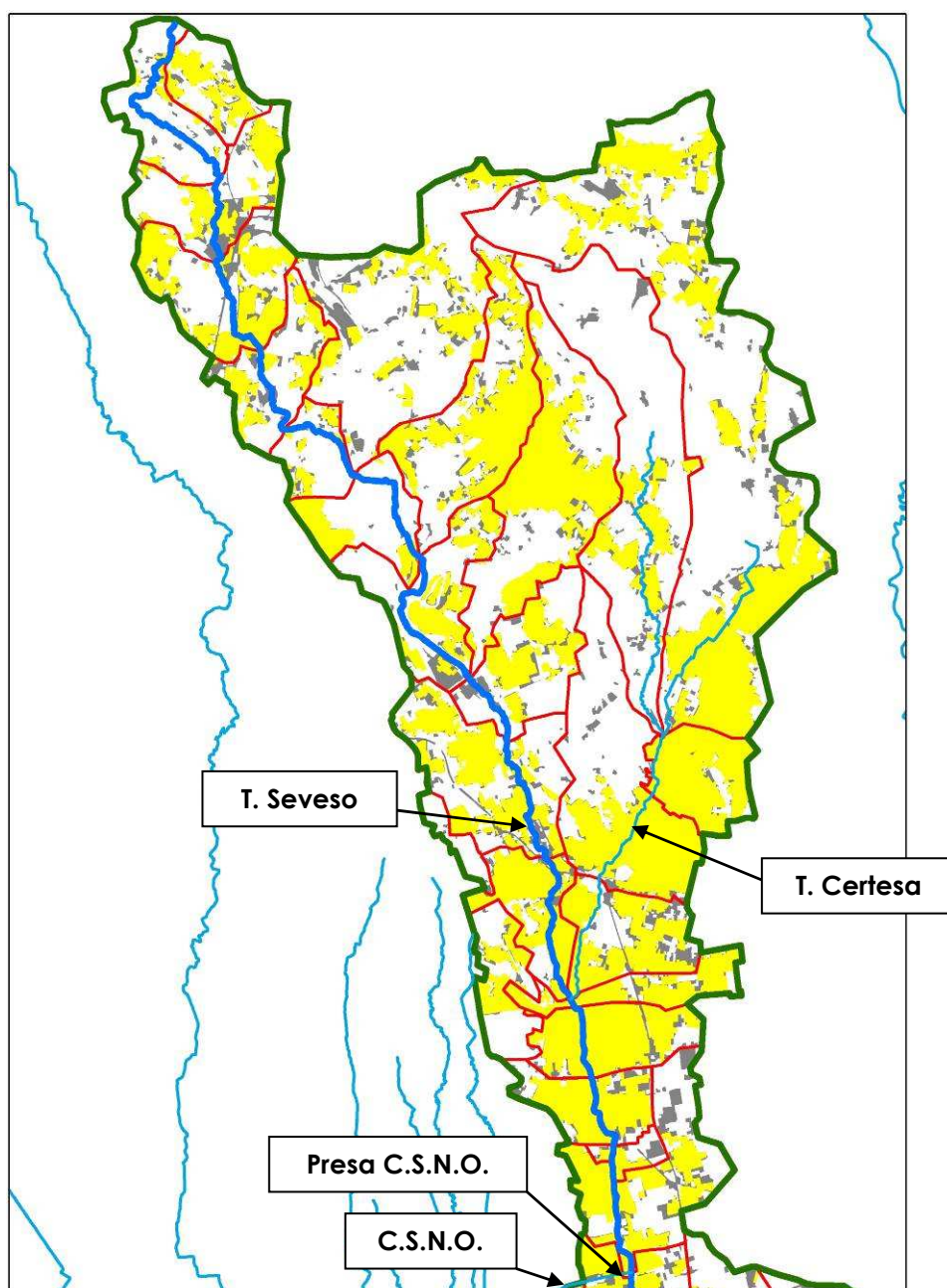


Figura 13 – Sovrapposizione tra le aree urbanizzate dello studio AdBPo (giallo, in primo piano) e quelle ricavate con l'uso del suolo Dusaf (grigio, in secondo piano)

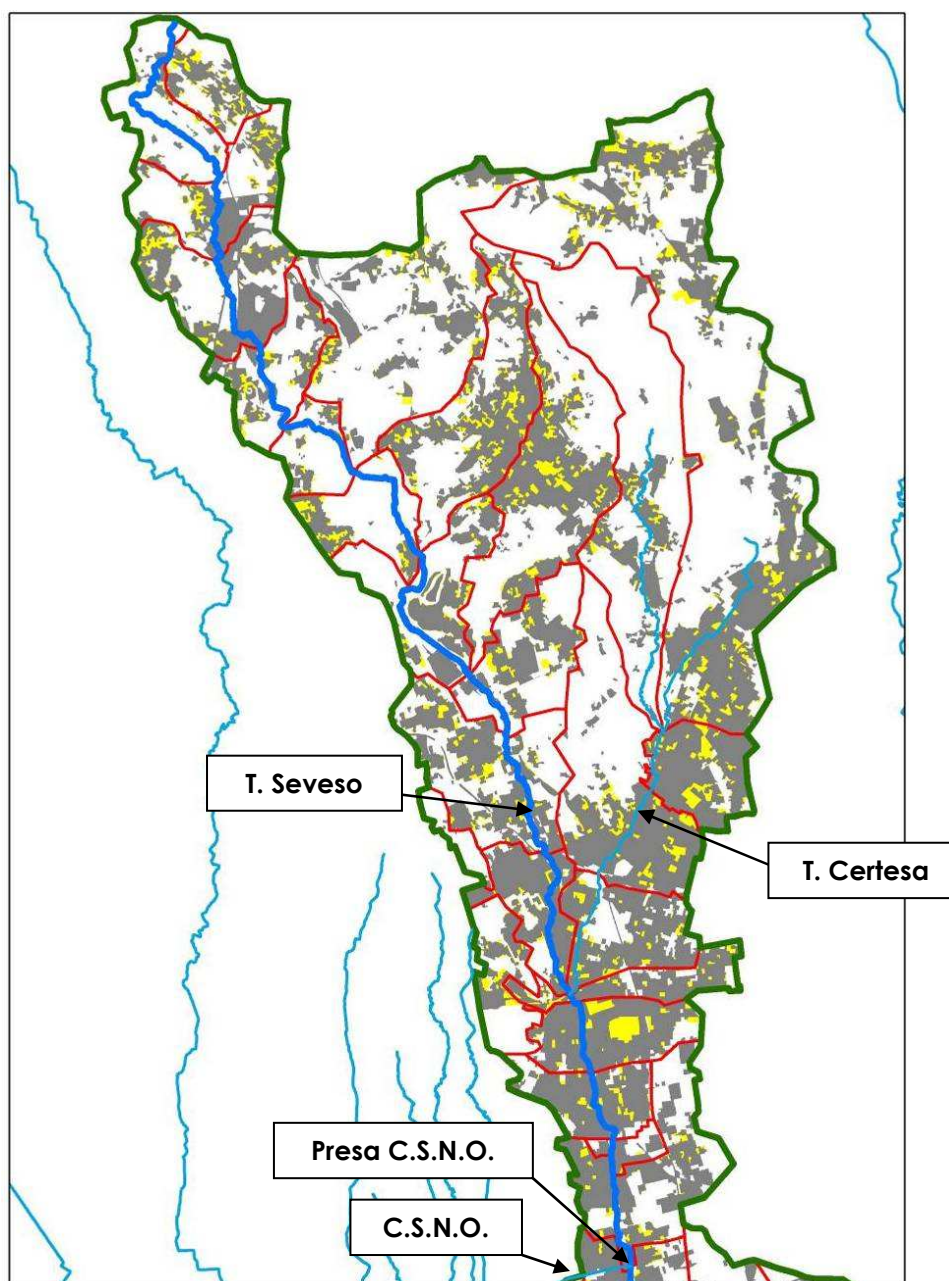


Figura 14 – Sovrapposizione tra le aree urbanizzate dello studio AdBPo (giallo, in secondo piano) e quelle ricavate con l'uso del suolo Dusaf (grigio, in primo piano)

Nella successiva tabella, sono riportati i diversi sottobacini con i dati relativi a: superficie complessiva, estensione delle aree extraurbane, estensione delle aree urbanizzate, note (es. comuni interni al sottobacino, nome affluente). All'interno delle note è inoltre riportato il caso in cui il sottobacino contribuisce agli afflussi del T. Seveso solo per la componente urbana, attraverso la rete di drenaggio urbano e non contribuisce per la componente extraurbana, a causa dell'assenza di reticolo superficiale di recapito nel Seveso e di ridotte pendenze del

piano campagna.

Tabella 3 – Sottobacini del modello idrologico e loro caratteristiche principali

Nome sottobacino	Superficie totale [km²]	Superficie extraurb. [km²]	Superficie urbanizzata [km²]	Note
SEV 1a	2.97	1.84	1.13	Cavallasca, San Fermo della Battaglia
SEV 1b	4.69	4.18	0.51	San Fermo della Battaglia, Montano Lucino
SEV 1c	3.00	1.57	1.43	Como, Montano Lucino
SEV 1d	2.49	1.78	0.71	Montano Lucino, Villa Guardia
SEV 2	6.89	3.27	3.62	Villa Guardia, Grandate Luisago, Casnate con Bernate
SEV 3	4.72	2.99	1.73	Casnate con Bernate Fino Mornasco
ACQ	15.80	12.04	3.76	Affluente Rio Acquaneгра
SEV 4	2.68	2.17	0.51	Fino Mornasco Vertemate con Minoprio
ANT	7.37	2.65	4.72	Affluente Valle Antonio
SEV 5	4.25	3.26	0.99	Vertemate con Minoprio
SEV 6	6.33	3.92	2.41	Carimate
SER	8.73	3.62	5.11	Affluente Rio Serenza
SEV 7	11.38	9.15	2.23	Carimate, Novedrate, Figino Serenza
SEV 8	8.78	4.62	4.16	Lentate sul Seveso
SEV 9	4.03	1.03	3.00	Barlassina, Seveso <i>Solo contributo urbano</i>
CER 1	35.51	23.80	11.71	Affluente Certesa Mariano Comense
TER	16.20	13.67	2.53	Terrò
CER 2	4.20	0.84	3.36	Affluente Certesa Mariano Comense, Cabiato <i>Solo contributo urbano</i>
CER 3	11.30	6.70	4.60	Affluente Certesa Meda
CER 4	5.10	1.59	3.51	Affluente Certesa Meda, Seveso <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 10	2.90	0.80	2.10	Cesano Maderno <i>Solo contributo urbano</i>
COM	4.34	3.26	1.08	Affluente Comasinella
SEV 11	4.74	1.14	3.60	Cesano Maderno <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 12	3.75	0.87	2.88	Bovisio Masciago <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 13	0.96	0.40	0.56	Varedo <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 14	7.44	3.46	3.98	Varedo, Paderno Dugnano <i>Solo contributo urbano</i>
Totale	190.55	114.62	75.93	

3.4.5 Risultati del modello idrologico

Nel presente paragrafo vengono riportati per ogni sottobacino (secondo la suddivisione riportata nella Tabella 3) i parametri di calcolo, in base a quanto descritto nel paragrafo 3.4.3., e per il tempo di ritorno centennale, i risultati del modello idrologico afflussi –deflussi (portata al colmo, volume dell’onda di piena).

E’ necessario sottolineare che per i sottobacini per i quali si ha solo contributo urbano (SEV 9÷21, CER2 e CER4) le aree extraurbane sono prive di reticolo superficiale in grado di convogliare le portate meteoriche nel Seveso e pertanto non contribuiscono alla formazione delle portate di piena; per tali sottobacini, nella tabella successiva sono riportate solo le superfici delle aree urbanizzate. Per i restanti sottobacini, per i quali contribuiscono sia le aree urbane che extraurbane, nella suddetta tabella è riportata l’intera superficie.

Tabella 4 – Parametri di calcolo del modello idrologico afflussi-deflussi

Name	Umax	Lmax	CQOF	CK1,2
SEV1A	10	100	0.38	2.5
SEV1B	10	100	0.32	3.8
SEV1C	10	100	0.4	2.8
SEV1D	10	100	0.36	2.5
SEV2	10	100	0.41	2.8
SEV3	10	100	0.37	2.1
ACQ	10	100	0.35	4.4
SEV4	10	100	0.34	1.8
ANT	10	100	0.43	5.0
SEV5	10	100	0.35	2.0
SEV6	10	100	0.38	2.5
SER	10	100	0.42	5.3
SEV7	10	100	0.34	4.5
SEV8	10	100	0.39	3.9
SEV9URB	10	5	0.3	0.5
SEV10URB	10	5	0.3	1.15
SEV11URB	10	5	0.3	0.85
COM	10	100	0.35	5.6
SEV12URB	10	5	0.3	0.8
SEV13URB	10	5	0.3	0.55
SEV14URB	10	5	0.3	0.8
CER1	10	100	0.37	5.0
CER3NAT	10	100	0.38	3.0
TER	10	100	0.33	3.5
CER4URB	10	5	0.3	1.0
CER3URB	10	5	0.3	0.9
CER2URB	10	5	0.3	1.1

Tabella 5 – Risultati modello idrologico afflussi – deflussi.

Nome bacino	Superficie contribuente	Modello di calcolo	<i>T=100 anni</i>		
			<i>Q max</i>	<i>q max</i>	<i>V tot</i>
	[km ²]		[m ³ /s]	[m ³ /s/km ²]	[m ³ x1'000]
SEV 1a	2.97	NAM	5.6	1.9	110
SEV 1b	4.69	NAM	4.8	1.0	150
SEV 1c	3.00	NAM	5.6	1.9	118
SEV 1d	2.49	NAM	4.7	1.9	92
SEV 2	6.89	NAM	13.6	2.0	283
SEV 3	4.72	NAM	11.3	2.4	181
ACQ	15.80	NAM	16.6	1.0	565
SEV 4	2.68	NAM	7.0	2.6	97
ANT	7.37	NAM	9.4	1.3	327
SEV 5	4.25	NAM	10.3	2.4	158
SEV 6	6.33	NAM	14.0	2.2	258
SER	8.73	NAM	10.2	1.2	377
SEV 7	11.38	NAM	11.1	1.0	385
SEV 8	8.78	NAM	11.8	1.3	339
SEV 9	3.00	NAM-URBANO	11.0	3.7	118
CER 1	35.51	NAM	37.8	1.1	1'367
TER	16.20	NAM	20.8	1.3	563
CER 2	3.36	NAM-URBANO	7.0	2.1	115
CER 3	11.30	NAM+ NAM-URBANO	22.2	2.0	455
CER 4	3.51	NAM-URBANO	7.2	2.0	121
SEV 10	2.10	NAM-URBANO	4.7	2.2	83
COM	4.34	NAM	3.6	0.8	152
SEV11	3.60	NAM-URBANO	10.0	2.8	143
SEV12	2.88	NAM-URBANO	8.3	2.9	115
SEV13	0.56	NAM-URBANO	2.0	3.6	25
SEV14	3.98	NAM-URBANO	10.4	2.6	147

Ciascuna onda di piena che si origina in ogni sottobacino rappresenta un input del modello idrodinamico dell'asta fluviale del Seveso.

3.5 MODELLO IDRODINAMICO

3.5.1 Caratteristiche generali del modello

L'asta del torrente Seveso oggetto di interesse ha una lunghezza di circa 32 km ed è compresa tra i comuni di Como a monte (nei pressi dell'ospedale di S. Anna) e l'opera di presa del C.S.N.O. in località Palazzolo, Comune di Paderno Dugnano, a valle.

È necessario in primo luogo soffermarsi sulle particolari caratteristiche del corso d'acqua di cui trattasi, peraltro del tutto simili a quelle degli altri corsi d'acqua del territorio posto a nord di Milano, compresi nell'ambito idrografico Lambro – Olona. Tali corsi d'acqua sono caratterizzati da una grande complessità legata alla plurisecolare azione modificativa dell'uomo tesa alla difesa dalle piene e all'utilizzazione delle acque.

L'antropizzazione del sistema idraulico è tale che il classico schema topologico idrografico a ramificazione aperta, che caratterizza i reticoli fluviali univocamente definiti, è ancora riconoscibile solo nelle aree a nord di Milano, in cui i corsi d'acqua scorrono in alvei incisi nelle pendici collinari; successivamente, subito allo sbocco in pianura, il reticolo si complica in un intreccio di canali artificiali progressivamente più importanti in funzione del livello di antropizzazione e di urbanizzazione delle aree. In vaste zone urbane, inoltre, i reticoli fognari di drenaggio delle acque meteoriche urbane sono spesso gli unici ad assicurare, nei limiti della loro potenzialità, lo smaltimento delle acque di piena verso i ricettori.

Dovunque sono presenti restringimenti di sezione, ponti e attraversamenti, traverse e soglie di fondo costruite nei secoli per rendere efficienti le derivazioni idriche, tutti con significativa influenza sul comportamento idraulico delle correnti fluviali, in particolare sulla formazione verso monte di condizioni di rigurgito e di eventuali esondazioni che modificano la forma e la cronologia delle onde di piena oltre che i valori delle portate.

In tale contesto è fondamentale l'affidabilità nella rappresentazione del comportamento idraulico sia dei manufatti od ostacoli che producono singolarità (attraversamenti, ponti, traverse, salti di fondo, coperture, ecc.), sia degli invasi concentrati o diffusi, liberi o regolati, che si formano durante le piene nelle aree golenali e di espansione adiacenti agli alvei. Solo, infatti, con tale rappresentazione è possibile individuare come le onde di piena si modifichino nella loro propagazione verso valle, sia per i contributi che gli affluenti e i reticoli fognari apportano lungo il percorso, sia per i citati rigurgiti, espansioni e allagamenti.

In altri termini, le onde di piena che si formano, per i vari tempi di ritorno presi in

considerazione, lungo l'asta principale del Seveso non possono calcolarsi con modelli puramente idrologici, ma devono derivare da una simulazione integrata idrologico – idraulica che coniughi i modelli idrologici adottati per calcolare le onde di piena confluenti dai sottobacini contribuenti con il modello idrodinamico dell'asta principale.

Per conseguire le migliori possibilità di rappresentazione di tutti tali aspetti della dinamica fluviale che si sviluppa nell'asta principale in occasione delle piene, si è utilizzato il codice di calcolo MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute. Esso, infatti, comprende moduli idonei al caso in oggetto, in funzione del livello di conoscenza, peraltro assai elevato data l'ampiezza delle operazioni topografiche di campo incluse nello studio, della reale geometria dei manufatti e delle aree.

Come già detto, l'attività di modellazione ha riguardato inizialmente lo stato di fatto dell'alveo con particolare riferimento ad un evento con tempo di ritorno pari a 100 anni, in base a quanto stabilito dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

L'asta principale del torrente Seveso oggetto del presente studio è stata rappresentata descrivendo complessivamente circa 400 sezioni topografiche rilevate in campo, di cui:

- 203 ricavate dai rilievi condotti nello “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*” dell'Autorità di Bacino del fiume Po, relativi all'anno 2002;
- 25 sezioni a monte del tratto rilevato nell'ambito del suddetto studio di fattibilità, ricavati da altri studi e da rilievi condotti sul campo da parte degli scriventi;
- 80 sezioni poste a rappresentare l'alveo a valle dei ponti, delle briglie e delle traverse (per i ponti, copia delle sezioni d'alveo rilevate a monte del manufatto, mentre per le briglie e le traverse copia delle sezioni di monte ma abbassate in funzione del salto di quota rilevato);
- 80 sezioni rappresentanti la forma del passaggio sotto i ponti e del ciglio delle briglie e delle traverse;
- 14 sezioni per rappresentare il comportamento di alcune aree di allagamento (schema quasi-bidimensionale).

Le onde di piena confluenti in tale tratto del Seveso sono state calcolate, come descritto in precedenza nel paragrafo 3.4, per ogni sottobacino ed introdotte nelle simulazioni di moto vario del modello sopra presentato in modo concentrato in corrispondenza delle sezioni di confluenza e dei principali scaricatori di piena delle reti fognarie, o in modo distribuito in corrispondenza di bacini naturali direttamente pertinenti l'asta principale.

3.5.2 Descrizione dei tratti omogenei

3.5.2.1 I° tratto (da Como a Lentate sul Seveso).

Il tratto, compreso tra l'ospedale S. Anna di Como e Lentate sul Seveso (sezione SV-68), ha uno sviluppo di circa 17 km, ed è caratterizzato da un alveo naturale con aree golenali interagenti con l'alveo principale.

Il tronco in esame risulta essere abbastanza inciso rispetto le porzioni di territorio circostante. In queste zone sono presenti tratti di corso d'acqua in cui si ha una corrente prevalentemente monodimensionale, caratterizzata da un unico livello idrico per l'alveo e le golene con conseguenti perdite nulle dal punto di vista dei volumi per tutta la durata dell'evento. In questo caso le aree golenali possono essere modellate come parte integrante delle sezioni trasversali del corso d'acqua (tipico delle zone contraddistinte da forti pendenze con aree golenali direttamente interagenti con l'alveo principale), oppure possono essere separate dall'alveo principale sino al momento della sua tracimazione, in modo che potenziali aree depresse o poste a quote inferiori al livello arginale non possano influenzare il livello idrico nella sezione d'alveo principale (tipico di zone in cui sono presenti aree golenali in cui, pur essendoci una diretta interazione tra corrente principale e golenale, i fenomeni di invaso nella stadio crescente dell'onda di piena, non sono trascurabili).

Come detto il comportamento idraulico in questo tratto è generalmente schematizzabile con un unico alveo con corrente monodimensionale, per la presenza di un alveo inciso.

Nella parte iniziale di tale tratto si assiste pertanto nel modello ad una propagazione dell'onda di piena senza particolari modifiche di forma o valore del colmo se non per gli apporti dei bacini laterali.

Nel tratto finale da Vertemate con Minoprio a Carimate, la presenza di ampie golene di fatto induce la deformazione dell'onda di piena con attenuazione locale dei colmi e appiattimento dell'idrogramma. Alcune aree golenali, essendo caratterizzate da una quota del piano campagna più basso rispetto alla sommità spondale dell'alveo del T. Seveso, sono state modellate attraverso uno schema quasi-bidimensionale, ossia con dei veri e propri canali laterali che interagiscono dinamicamente con l'alveo principale attraverso collegamenti rappresentati da sfioratori laterali, rendendo possibili fenomeni di drenaggio dalle aree allagabili verso l'alveo principale anche nella fase discendente dell'onda di piena.

Nella Figura 15 sono rappresentate le aree golenali che sono state modellate attraverso uno schema quasi-bidimensionale.

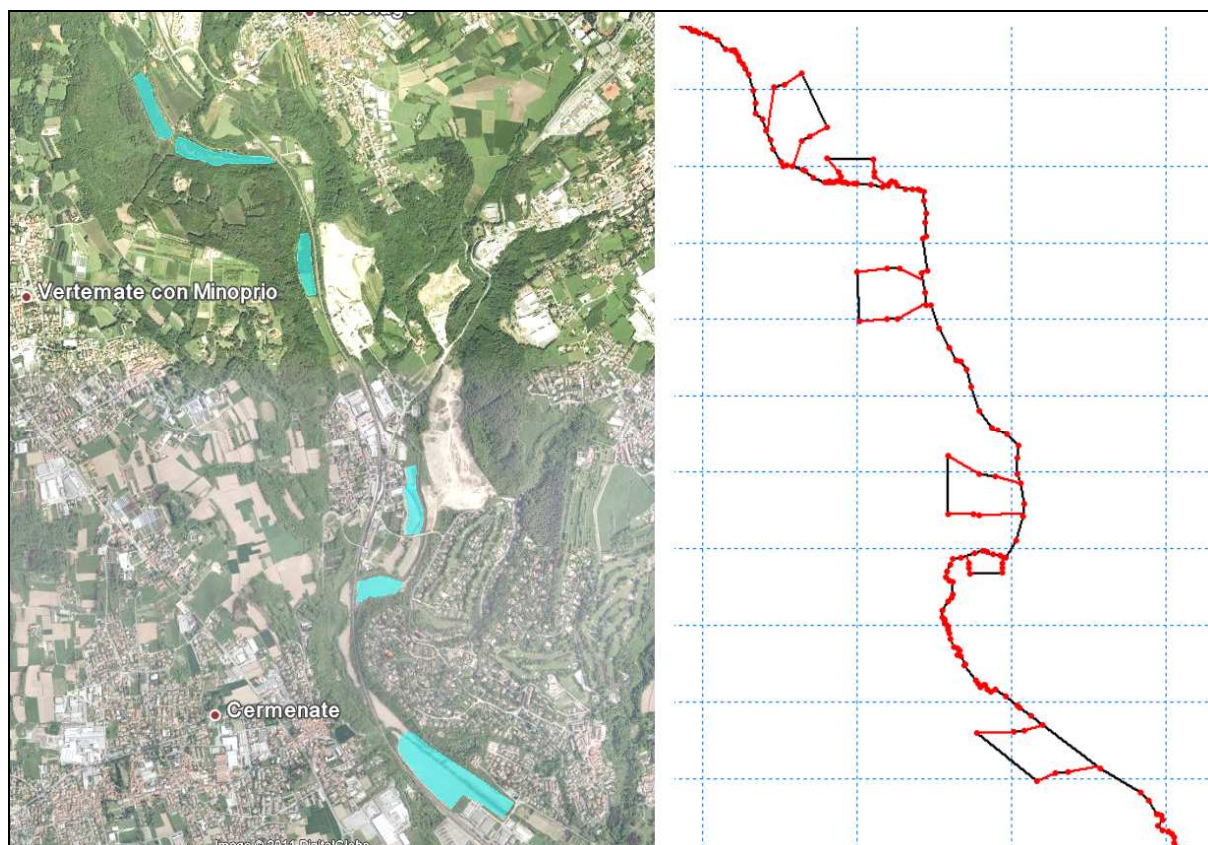


Figura 15 – Schema idraulico quasi – bidimensionale delle aree golenali

3.5.2.2 II° tratto (da Lentate sul Seveso a Paderno Dugnano)

Il secondo tratto, compreso tra le sezioni SV68 e SV23 (appena a valle dell'opera di presa del C.S.N.O.) ha uno sviluppo di circa 15 km ed è caratterizzato da un alveo canalizzato con funzione di solo trasporto. In queste zone la corrente assume un carattere di tipo monodimensionale. La sezione idraulica di calcolo è caratterizzata dall'assenza di aree golenali. Il tratto di torrente è contraddistinto da un'unica sezione di deflusso, caratterizzata da scabrezza minore rispetto al tratto precedente per la presenza pressoché ininterrotta di sponde, e talvolta anche del fondo, rivestiti in calcestruzzo.

3.5.3 Aspetti di dettaglio del modello idraulico

A fianco di una definizione di modello idraulico per tratti omogenei si sono studiate strutture e situazioni particolari dell'ambito in oggetto con riflesso diffuso sull'intera asta. Nel seguito sono descritte tali situazioni.

3.5.3.1 *NAM urbani: schema idraulico di simulazione delle reti fognarie*

Come anticipato in premessa l'asta del torrente Seveso presenta una stretta connessione idrologico-idraulica tra rete naturale e sistema di drenaggio urbano.

Al fine di tenere in conto gli effetti di laminazione ed invaso dettati dai limiti delle reti di drenaggio urbano in ambiti pianeggianti, si è introdotta la struttura idraulica “*NAM urbano*” precedentemente esposta in dettaglio (paragrafo 3.4.2).

La particolare struttura del corso d'acqua (racchiuso tra muri spondali) e del territorio (pianeggiante con numerose infrastrutture che ostacolano i deflussi superficiali) e l'assenza di reticolo di drenaggio naturale secondario, implicano di fatto il seguente regime idraulico delle zone urbane:

- nella prima fase dell'evento le reti fognarie apportano contributi illimitati al corso d'acqua;
- al crescere delle portate si assiste ad una progressiva crisi del sistema urbano con funzionamenti in pressione di tratti sempre più estesi di rete e formazione di allagamenti superficiali. In questa fase vengono saturate le capacità di invaso in rete e spesso i deflussi superficiali trovano recapito in zone più depresse. La portata scaricata dalle reti tende pertanto a stabilizzarsi pur al crescere degli afflussi;
- al decrescere dell'evento meteorico si assiste ad una persistenza del valore di portata al colmo scaricata e quindi allo svuotamento degli invasi di rete.

Tale schema idraulico di fatto si traduce in un funzionamento per cui:

- il valore di portata al colmo scaricata nel corso d'acqua è limitato dalla capacità della rete di drenaggio urbano;
- la rete, sulla base della sua estensione, garantisce un accumulo di volume che viene restituito in coda all'evento;
- i volumi esondati sul piano campagna vengono persi in quanto recapitati in zone ove non esiste drenaggio naturale o artificiale verso il corso d'acqua.

3.5.3.2 *Delimitatori d'alveo*

L'assegnazione del tipo di comportamento idraulico più adatto da attribuire ad uno specifico tronco fluviale viene effettuata marcando, nelle sezioni relative, i confini dell'alveo principale e delle aree golenali con appositi delimitatori predefiniti, denominati “marker”.

Il modello di calcolo MIKE11 permette di utilizzare svariati tipi di delimitatori, aventi

funzionalità differenti. Per la modellazione del torrente Seveso sono stati utilizzate 3 tipologie:

- marker 1 – delimita il confine sinistro della sezione fluviale;
- marker 2 – indica il punto più depresso della sezione fluviale “thalweg”;
- marker 3 – delimita il confine destro della sezione fluviale;

I marker 1 e 3, determinano l'ampiezza massima della sezione di calcolo idraulico, la quale risulta confinata verticalmente entro tali delimitatori.

Il marker 2, permette al programma di calcolare la pendenza tra due sezioni adiacenti.

3.5.3.3 *Perdite di carico concentrate*

I tratti studiati sono caratterizzati da numerosi manufatti (ponti e traverse) che interferiscono con il libero deflusso della corrente. I livelli di piena sono stati calcolati considerando l'effetto di ciascuna singolarità in termini di perdita di carico e rigurgito. Le perdite di carico relative all'imbocco ed allo sbocco da un ponte, nonché le medesime perdite inerenti lo scavalco dell'impalcato, sono state fissate per ogni singolo manufatto nella fase di taratura, in funzione dei dati idrometrici registrati ed in funzione della tipologia del ponte (forma, orientamento, stato della sezione).

3.5.3.4 *Torrente Certesa*

Oltre alla richiamata asta principale del torrente Seveso, è risultato necessario procedere anche ad una modellazione idraulica semplificata del tratto terminale dell'affluente di maggior importanza (torrente Certesa) che sfocia nel torrente Seveso nel territorio del comune di Cesano Maderno con un bacino di estensione pari a 72 km^2 e quindi poco inferiore alla superficie del bacino del torrente Seveso in corrispondenza della confluenza. Per tale affluente si è utilizzata una modellazione meno dettagliata, in funzione dei dati a disposizione, ma tuttavia sufficientemente attendibile per la riproduzione delle onde di piena addotte al Seveso. Il modello del torrente Certesa è costituito da 11 sezioni, per un tratto di circa 8 km. Alcune sezioni sono state ricavate dallo studio della Regione Lombardia “Progetto di sistemazione idraulica dei torrenti Terrò, Certesa ed affluenti” del 1999, mentre altre sono state rilevate in campagna (per quanto riguarda le luci dei manufatti compresi tra la confluenza in Seveso ed il limite inferiore del tratto analizzato dal suddetto studio). Dallo studio citato sono stati inoltre dedotti i valori di portata compatibili con le sezioni di monte sia nello stato di fatto, sia nello stato di progetto.

3.5.3.5 Canale scolmatore di Nord-Ovest

Nel modello idraulico del Seveso è stato inserito il nodo idraulico di intersezione con il Canale Scolmatore Nord Ovest (CSNO), nonché un tratto dello stesso canale, dall'opera di presa del torrente Seveso in località Palazzolo fino all'intersezione con il T. Pudiga, per una lunghezza complessiva di 4,8 km. Il tratto è stato modellato inserendo 72 sezioni, in parte ricavate dai disegni "as built" degli interventi di raddoppio del C.S.N.O. tra l'opera di presa e il ponte di Via Marzaboto, ed in parte dal progetto definitivo *"Lavori di adeguamento funzionale del canale scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra senago e Settimo Milanese"*.

Particolare cura è stata posta nella modellazione del sistema che costituisce l'opera di presa e di regolazione del C.S.N.O., che consente la derivazione dal torrente Seveso di una portata massima di circa 30 m³/s nella situazione attuale e di 60 m³/s nella situazione di progetto. Allo stato attuale un primo tratto del C.S.N.O. risulta già potenziato e quindi in grado di convogliare verso valle portate dell'ordine di 60 m³/s che, comunque, non sono attualmente compatibili con la rete idrica di valle. La limitazione delle portate verso valle avviene tramite la regolazione dell'opera di presa del C.S.N.O. mediante opere di intercettazione sul t. Seveso e sull'opera di presa stessa.

In particolare, il nodo idraulico della presa del C.S.N.O. è costituito dalle seguenti opere (v. figure seguenti):

- paratoia a settore posta lungo il T. Seveso a valle della soglia di sfioro di alimentazione nel C.S.N.O., che durante gli eventi di piena che possono generare situazioni di allagamento in Comune di Milano l'opera viene completamente abbassata. La paratoia è stata modellata mediante uno sfioratore frontale a larga soglia ("weir") munito di scarico di fondo ("culvert") di dimensioni ridotte in grado di garantire il passaggio delle portate iniziali verso valle ed evitare fenomeni di invaso dell'alveo durante la fase di inizializzazione della simulazione;
- soglia di sfioro fissa in c.a. posta in sponda destra del T. Seveso a monte della paratoia a settore. Tale opera è stata modellata tramite uno sfioratore laterale a larga soglia ("link") avente le caratteristiche geometriche dell'opera esistente (altezza, larghezza);
- paratoie di scarico contigue allo sfioratore laterale e poste a valle di esso. Tali opere sono state modellate tramite uno sfioratore laterale a larga soglia ("link")

avente la larghezza uguale alla luce di passaggio delle opere esistenti e quota di sfioro variabile in funzione del tipo di regolazione da simulare;

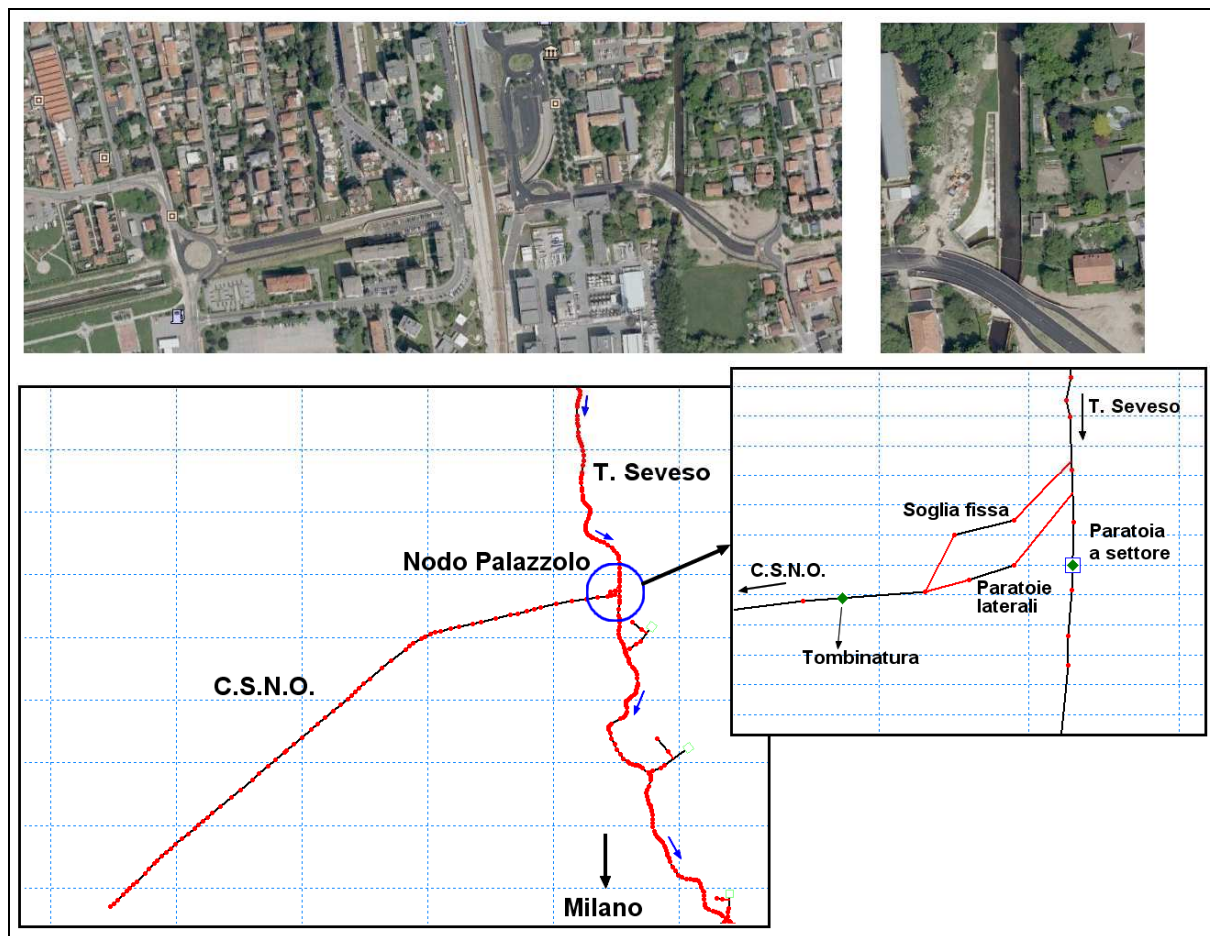


Figura 16 – Schema idraulico del nodo di Palazzolo



Figura 17 – Opera di presa C.S.N.O. vista da valle

3.5.3.6 Condizioni al contorno

Come condizione al contorno di valle, in corrispondenza dell'opera di presa del C.S.N.O., è stato inserito il modello idraulico dell'Autorità di Bacino del fiume Po implementato nell'ambito dello studio *AdBPo 2004*, il quale si estendeva fino all'ingresso del tratto tombinato del Seveso in Milano.

3.5.3.7 Scabrezze

Le scabrezze sono state valutate sulla base delle indicazioni fornite in letteratura, assegnando valori differenti per l'alveo principale e per le golene, in particolare:

- alveo naturale: $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$;
- alveo in ambito urbanizzato (sponde in c.a.): $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$;
- aree golenali naturali: $15 \div 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$;
- aree golenali in ambito urbano: $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

3.5.4 Risultati ottenuti

Sulla base delle considerazioni espresse nei paragrafi precedenti, tramite la modellazione si sono individuati gli idrogrammi di piena che nello stato attuale si formano in tutte le sezioni dell'asta principale del T. Seveso e, contemporaneamente, i profili idrici di moto vario lungo tutti i tratti dell'asta medesima, per un tempo di ritorno di 100 anni.

I tabulati descriventi tali risultati (portate al colmo e livelli idrici nelle diverse sezioni) sono dettagliatamente presentati nell'elaborato A.03 allegato alla presente relazione.

In generale si riscontra la notevole influenza dei manufatti di attraversamento sulla dinamica fluviale. In tutto il tratto oggetto di studio (32 km) si contano 48 attraversamenti, di cui 17 con franco adeguato e ben 15 con funzionamento in pressione o con sormonto. Tale caratteristica determina per ampi tratti il profilo idrico con regimi di rigurgito che spesso inducono un effetto di crisi a catena: il ponte a valle con il proprio effetto di rigurgito porta alla crisi il ponte a monte.

A livello di dettaglio l'analisi dei risultati ottenuti dimostra il seguente assetto idraulico:

- una generale compatibilità dell'alveo dalla sezione SV 119 alla sezione SV 86 per portate centennali o superiori, con locali insufficienze determinate per lo più da manufatti di attraversamento (sezione SV 91);
- una tendenza ad esondazioni nel fondovalle dalla sezione SV 85 alla sezione SV 68 con effetto significativo di laminazione della portata ed invaso nelle aree golenali caratterizzate da zone agricole e/o boschive. E' sintomatico come la portata al colmo alla sezione SV 84 si ritrovi pressoché uguale in valore assoluto alla sezione SV 68 pur in corrispondenza di onde con volumetria assai differente (più che raddoppiata). Tale capacità di laminazione "naturale" dell'asta (definita nel successivo par. 4.2 in termini di volumi disponibili all'esondazione in base ai tiranti caratteristici di ciascun tratto) è fondamentale per il corretto equilibrio

fluviale;

- un ampio tratto canalizzato con livelli contenuti in alveo e manufatti con scarsa interferenza ad eccezione di situazioni puntuali (SV 32, SV 27).

A titolo esemplificativo, nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi di piena in alcune sezioni significative del tratto di torrente modellato.

Nella successiva Tabella 6 sono riassunti i risultati dei calcoli idraulici in termini di quota idrica massima e portata al colmo in corrispondenza delle sezioni più significative.

Tabella 6 – Livelli idrici e portate in alcune sezioni del Seveso

Sezione	Descrizione	T 100	
		Livello (m)	Portata (mc/s)
SV97	Ponte autostrada A9	304	23
SV93	Ponte S.S.35 a Portichetto di Luisago	299.5	30
SV91	Ponte strada comunale Portichetto – Casnate	298	32
SV87	Ponte S.P.27 (Como)	282.5	40
SV84	Ponte Abbazia Vertemate – Valle confluenza Acquanegra	256.4	56
SV77	Ponte S.P.34 (Como) - Idrometro di Cantù Asnago	248.1	52
SV73	Ponte FFSS Milano Chiasso a Carimate –	243.3	57
SV68	Ponte S.P.32 (Como)	235.9	57
SV64	Ponte linea FFSS Milano-Chiasso	227	74
SV57	Ponte di Camnago di Lentate sul Seveso	220	78
SV54	Ponte di Via Marconi - Barlassina	216	79
SV53	Ponte Superstrada Milano-Meda	213.3	79
SV42	Ponte FNM Seregno-Saronno	199.3	81
SV40	Ponte comunale Cesano Maderno – Valle confluenza T.Certesa	197.7	142
SV34	Ponte comunale Bovisio Masciago	187.8	148
SV32	Ponte comunale Bovisio Masciago	185	150
SV27	Ponte attraversamento Canale Villoresi – a monte presa CSNO	174.6	153

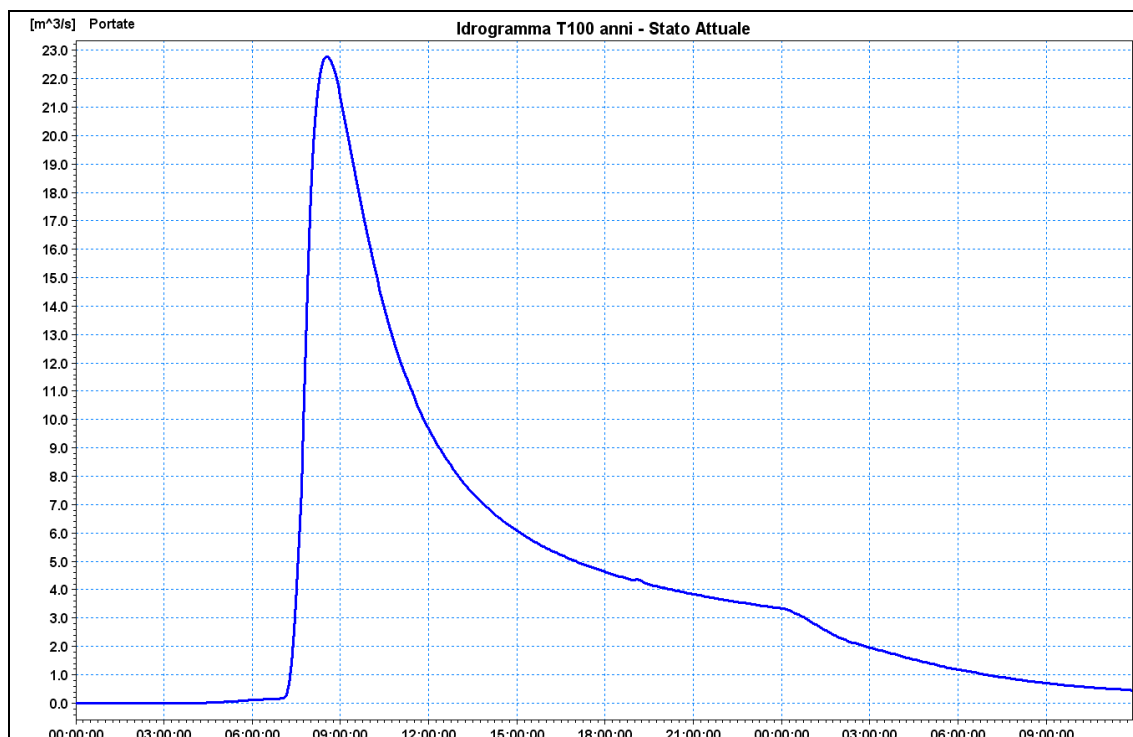


Figura 18 – Idrogramma T=100 anni alla sezione SV97 (Ponte autostrada A9)

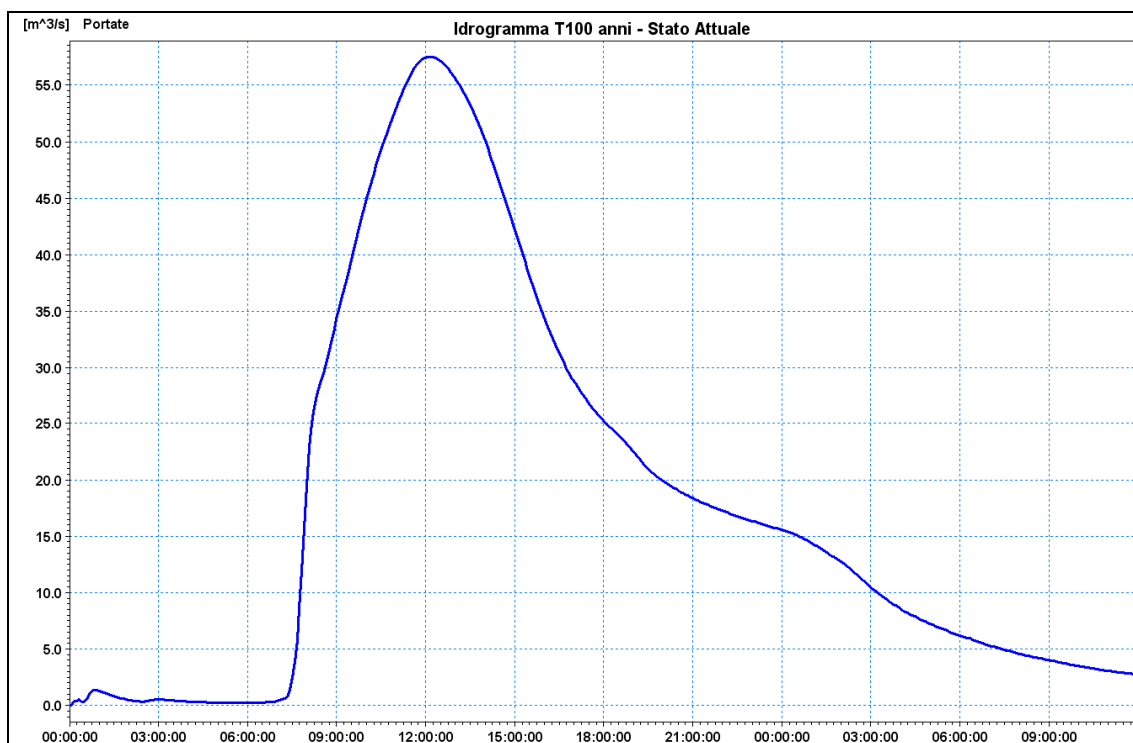


Figura 19– Idrogramma T=100 anni alla sezione SV68 (Ponte S.P.32)

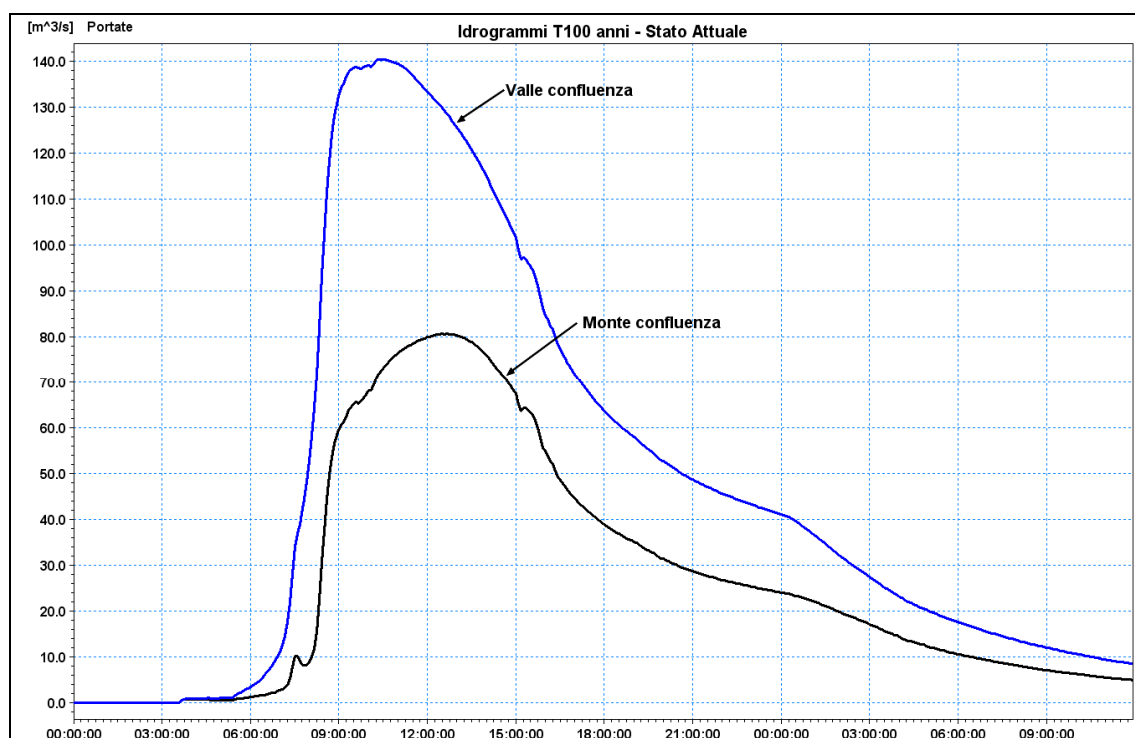


Figura 20 – Idrogrammi T=100 anni a monte e a valle della confluenza tra T. Seveso e T. Certesa

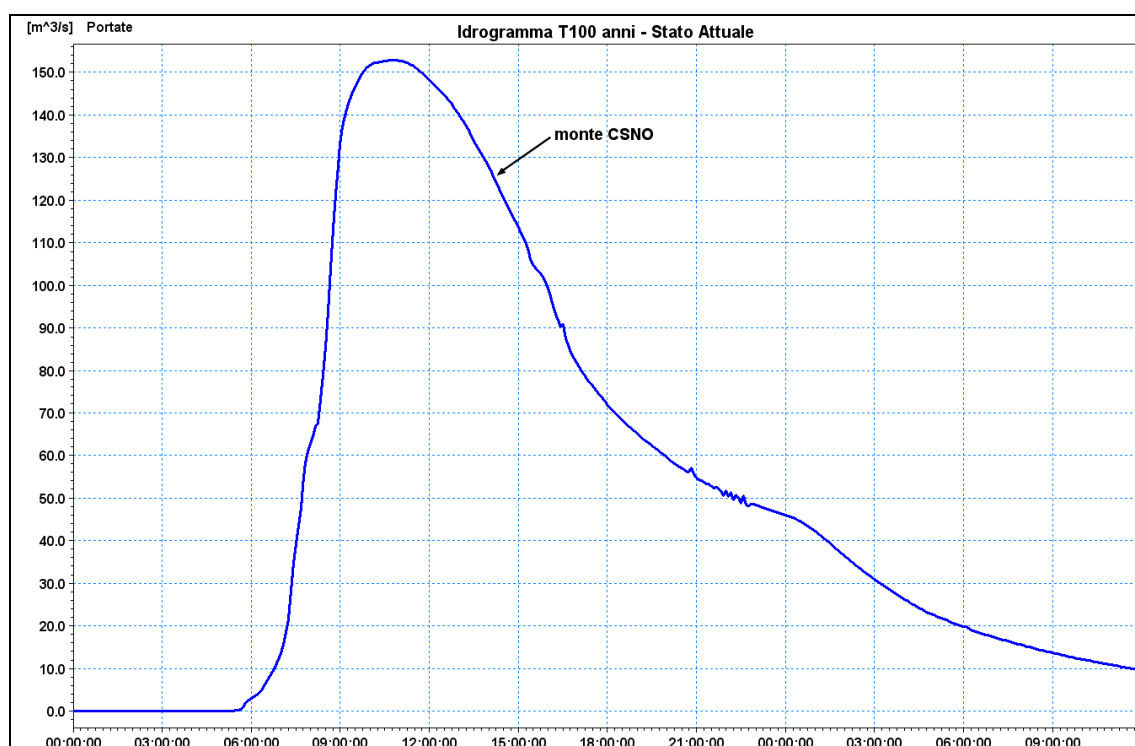


Figura 21 – Idrogramma T=100 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

Dal confronto tra il valore del livello idrico calcolato nelle diverse sezioni, la morfologia delle sezioni rilevate e le cartografie aerofotogrammetriche comunali a scala 1:2.000, si sono ricavate le perimetrazioni delle aree di allagamento per il tempo di ritorno di 100 anni. La perimetrazione ha tenuto conto anche di tutte le informazioni acquisite tramite sopralluoghi diretti, nonché delle informazioni storiche.

Come già evidenziato, infatti, lungo l'asta del torrente Seveso si susseguono tratti a diverso regime idraulico (alveo con golene, alveo canalizzato, alveo inciso limitato con piano campagna che non presenta limiti morfologici certi all'esondazione). Ciascun tratto ha richiesto pertanto un apposito schema di modellazione che potesse tener conto sia dei fenomeni di invaso sia del fatto che durante una piena si possono formare filoni di corrente che si muovono nelle piane inondabili. I risultati di ciascun schema modellistico sono quindi stati interpretati al fine di individuare le varie aree di allagamento, tra cui:

- le zone direttamente allagate per fuoriuscita di acqua di piena dall'alveo;
- le zone interessate da correnti fuori alveo nelle quali l'allagamento è dovuto a un'esondazione avvenuta più a monte;
- le zone interessate da allagamento da valle per effetto del rigurgito indotto da manufatti e dal superamento delle sponde in tratti a valle con risalita a tergo delle difese;
- le zone protette da strutture ma comunque soggiacenti al livello delle acque di piena che possono essere inondate a causa della presenza di elementi di connessione idraulica (es. sottopassi, rigurgiti tramite la rete fognaria, ecc.).

Le aree di allagamento sono rappresentate nelle cartografie in scala 1:10.000 riportate in allegato (elaborato B.02).

In generale, per eventi di tempo di ritorno 100 anni, si evidenzia quanto segue:

- lungo tutto il tratto di monte, in cui il Seveso presenta le caratteristiche di alveo naturale, da S. Fermo della Battaglia a Carimate, si hanno esondazioni diffuse dovute essenzialmente alle limitate dimensioni dell'alveo inciso ed alla presenza di numerosi manufatti che ostacolano il deflusso idrico (ponti), riducendo ulteriormente la sezione utile, e limitano la pendenza dell'alveo (traverse e soglie), riducendone la conducibilità idraulica a parità di altezza idrometrica. Gli allagamenti più importanti dal punto di vista volumetrico si riscontrano a valle della sezione SV86, nelle aree golenali comprese tra i Comuni di Vertemate con Minoprio e Carimate, mentre lungo il tratto a monte della sezione SV86 gli allagamenti si riducono a piccole aree antistanti il torrente che solo in

località Portichetto a Fino Mornasco lambiscono le aree urbanizzate;

- nella parte di valle, da Lentate sul Seveso alla presa del C.S.N.O., in cui l'alveo è praticamente canalizzato, si riscontrano alcuni allagamenti localizzati in prossimità dei comuni di Barlassina, Varedo e Paderno Dugnano.

L'assetto idraulico attuale è ben sintetizzato nella seguente Tabella 7 ove si riporta, per tratti, la capacità idraulica dell'alveo a confronto con la portata centennale risultante dalla modellazione. In tabella i valori risultano arrotondati ai 5 m³/s, mentre tra parentesi è riportato il valore "di modello".

Tabella 7 – Confronto tra la portata idraulica e la portata compatibile in alveo

Sezione	Descrizione	Portata compatibile stato attuale	Portata idraulica stato attuale (T=100)
SV97	Ponte autostrada A9	30 ₍₂₉₎	25 ₍₂₃₎
SV93	Ponte S.S. 35	40 ₍₃₈₎	30 ₍₃₀₎
SV91	Ponte comunale di Casnate	15 ₍₁₅₎	30 ₍₃₂₎
SV87	Ponte S.P.27 (Como)	50 ₍₄₉₎	40 ₍₄₀₎
SV84	Ponte Abbazia Vertemate – Valle confluenza Acquanegra	30 ₍₂₇₎	55 ₍₅₆₎
SV77	Ponte S.P.34 (Como) - Idrometro di Cantù Asnago	35 ₍₃₅₎	50 ₍₅₂₎
SV73	Ponte FFSS Milano Chiasso a Carimate –	35 ₍₃₆₎	60 ₍₅₇₎
SV68	Ponte S.P.32 (Como) – confluenza Serenza	35 ₍₃₆₎	60 ₍₅₇₎
SV64	Ponte linea FF.SS. Milano-Chiasso a Lentate sul Seveso	80 ₍₇₇₎	75 ₍₇₄₎
SV57	Ponte di Camnago di Lentate sul Seveso	80 ₍₈₁₎	80 ₍₇₈₎
SV54	Ponte di Via Marconi - Barlassina	55 ₍₅₅₎	80 ₍₇₉₎
SV53	Ponte Superstrada Milano-Meda a Barlassina	85 ₍₈₃₎	80 ₍₇₉₎
SV42	Ponte FNM Seregno-Saronno	85 ₍₈₇₎	80 ₍₈₁₎
SV40	Ponte comunale Cesano Maderno – Valle confluenza T.Certesa	160 ₍₁₆₁₎	140 ₍₁₄₂₎
SV34	Ponte comunale Bovisio Masciago	175 ₍₁₇₆₎	150 ₍₁₄₈₎
SV32	Ponte comunale Bovisio Masciago	85 ₍₈₃₎	150 ₍₁₅₀₎
SV27	Ponte attraversamento Canale Villoresi – a monte presa CSNO	95 ₍₉₃₎	155 ₍₁₅₃₎
SV24	Paratoia CSNO – a valle opera di presa	135 ₍₁₃₄₎	155 ₍₁₅₃₎

3.5.4.1 Confronto con studi precedenti (AdBPo – 2004)

Il confronto in termini di livelli idrici, portate e aree allagabili, tra i risultati ottenuti in questa sede e quanto emerso dallo studio AdBPo del 2004, ha permesso di quantificare gli effetti che gli aggiornamenti apportati hanno avuto sulla condizione di "stato attuale" del torrente Seveso.

In generale, le principali modifiche apportate al modello idrologico-idraulico, pur introducendo variazioni della dinamica fluviale, traducibili in lievi variazioni di livelli e

portate, non hanno effetti sostanziali sull'estensione delle aree allagabili. In particolare gli aggiornamenti apportati (pluviometria, idrologia, urbanizzazione, introduzione di un nuovo tratto d'alveo a monte di circa 3 km e modellazione quasi-bidimensionale delle aree allagabili comprese tra Vertemate con Minoprio e Carimate) hanno determinato i seguenti effetti sia sulle portate al colmo sia sui livelli idrici:

- lungo il tratto compreso tra la sezione SV99 e SV86 si registra mediamente una diminuzione dei livelli idrici di circa 0,20 m dovuta alla diminuzione delle portate defluenti lungo il tratto di circa 7 m³/s. Tale diminuzione, dovuta soprattutto all'effetto di laminazione e di maggior dettaglio idrologico-idraulico indotto dal nuovo tratto di torrente aggiunto a monte, comporta la diminuzione degli allagamenti in corrispondenza della sezione SV91 a Casnate;
- lungo il tratto compreso tra Vertemate con Minoprio e Carimate la variazione delle dinamiche di interscambio tra golene ed alveo principale, dovuta alla modellazione quasi – bidimensionale del tratto, comporta un maggior sfruttamento delle aree di allagamento golenale e la conseguente diminuzione dell'allagamento in prossimità della sezione SV77 a Cantù. Si evidenzia un maggior sfruttamento delle aree allagabili tra le sezioni SV 71-1 e SV69 a Carimate ed il miglior sfruttamento dell'area allagabile a valle dell'idrometro di Cantù. In questo tratto, inoltre, si registrano punti localizzati in cui i livelli idrici sono maggiori rispetto ai risultati dello studio AdBPo del 2004, in quanto la diminuzione delle portate nell'alveo inciso provoca, in alcuni casi, la risalita verso monte del rigurgito della corrente e, quindi, una differente legge di deflusso della corrente attraverso le opere di attraversamento;
- lungo il tratto posto a valle della sezione SV68 si registra mediamente una diminuzione delle portate, variabile tra 6 m³/s e 27 m³/s, e una conseguente diminuzione dei livelli idrici. In questo tratto non si registrano variazioni dell'estensione delle aree allagabili. La diminuzione delle portate è dovuta essenzialmente agli aggiornamenti introdotti a monte (nuovo tratto a monte e schema quasi-bidimensionale) e alla differente sovrapposizione dell'onda di piena del T. Seveso con quella in arrivo dal T. Certesa. Comunque, proseguendo verso valle l'effetto di laminazione attesta la differenza di portate a valori di circa 12 m³/s.

In sintesi, gli aggiornamenti apportati al modello idrologico-idraulico del T. Seveso non

alterano sostanzialmente le aree allagabili per eventi di tempo di ritorno centennale ad eccezione di alcuni punti localizzati in cui si riducono gli allagamenti o vengono maggiormente sfruttate le aree golenali preposte all'espansione della corrente di piena. In termini di livelli idrici e portate, si registrano mediamente lievi diminuzioni che in alcuni tratti consentono di avere un maggior franco di sicurezza rispetto al ciglio delle sponde o all'intradosso degli attraversamenti.

3.6 TARATURA DEL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO

La taratura del modello idrologico-idraulico è stata condotta utilizzando i dati pluvioidrometrici degli eventi meteorici che si sono succeduti nell'intero periodo compreso tra i mesi di settembre e dicembre del 2010. Durante tale periodo si sono verificati diversi eventi che hanno provocato esondazioni limitate in alcuni tratti dell'asta del Seveso e allagamenti diffusi a Milano nella zona di Niguarda dove il Seveso è tombinato. In particolare, l'evento più gravoso si è verificato il giorno 18 settembre 2010, con un'esondazione che ha interessato un'area urbana di circa 100 ettari, per un'altezza d'acqua rilevata lungo le sedi stradali variabile tra 40 e 70 cm; la durata dell'esondazione è stata di circa 4 ore.

Nel suddetto periodo si sono inoltre verificati altri due eventi che hanno determinato fenomeni di esondazione a Milano, in data 1 e 16 novembre, seppur di minore entità rispetto a quello del 18 settembre.

I dati idrologici disponibili per tale periodo sono stati registrati nei seguenti strumenti di misura (dati forniti dalla Protezione Civile della Regione Lombardia e dalla Provincia di Milano):

- pluviometri: Como Villageno, Vertemate con Minoprio, Cantù Asnago, Mariano Comense, Palazzolo;
- idrometri nel F. Seveso: Cantù Asnago (sezione SV-77), Cesano Maderno (sezione SV-38), Palazzolo (sezione SV-25);
- idrometro nel C.S.N.O. a Senago (sezione CN-151).

Nella Figura 22 è riportata la cartografia del bacino del Seveso con indicate le posizioni dei suddetti strumenti.

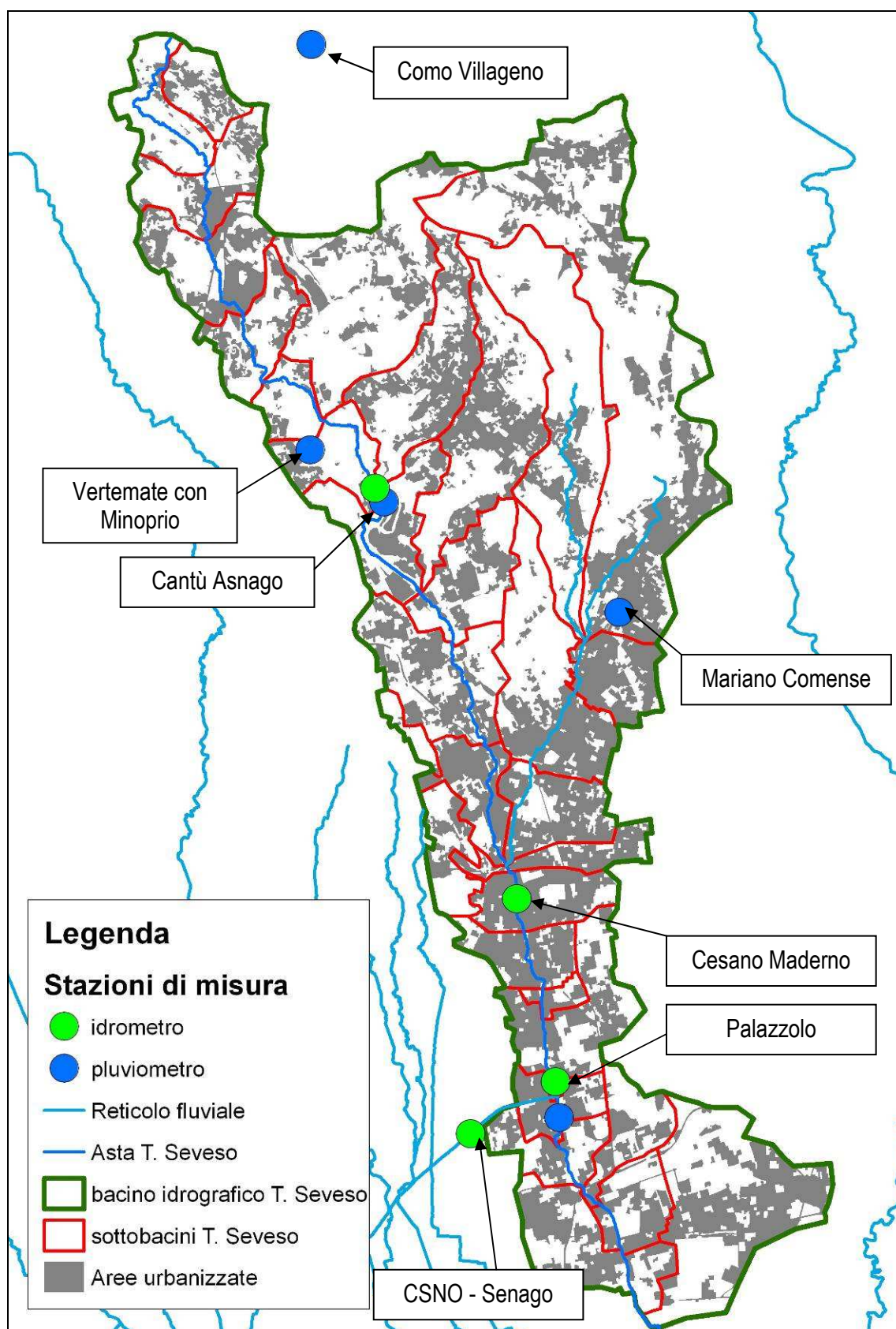


Figura 22 – Ubicazione dei pluviometri ed idrometri presenti nel bacino del T. Seveso

Poiché il modello idrologico-idraulico utilizzato è un modello fisicamente basato che riproduce l'evoluzione delle piene nel tempo e lungo il corso d'acqua sia in termini di portata che di livelli idrometrici, la taratura del modello è ben possibile confrontando i valori di livello idrometrico calcolati e registrati nelle prima citate stazioni idrometriche.

Ai fini della taratura del modello si è operato con la metodologia della “simulazione continua” e cioè considerando l'intero periodo settembre – dicembre 2010 come un unico evento. Con tale metodologia infatti si ottengono molteplici vantaggi:

- nei periodi di assenza di pioggia, tra un evento di piena e il successivo, il modello riproduce l'andamento delle portate e dei livelli di magra; ciò consente di analizzare la risposta in termini di livelli idrometrici confrontati con quelli registrati, non solo durante i picchi di piena ma anche nei periodi normali;
- nei periodi di pioggia la formazione dell'idrogramma di piena si istaura a partire da condizioni iniziali che sono quelle derivanti dalla simulazione del periodo di tempo asciutto precedente e non da condizioni iniziali standard teoricamente prefissate.

La simulazione dell'intero periodo settembre-dicembre 2010 con l'utilizzo del modello idrologico-idraulico ha permesso di verificare la buona attendibilità dei valori dei parametri dei modelli NAM dei singoli sottobacini precedentemente presentati.

3.6.1 Analisi dei dati pluviometrici

Nel presente paragrafo vengono presi in considerazione ed analizzati i dati registrati dai suddetti pluviometri durante l'intero periodo settembre-dicembre 2010, con particolare riferimento all'evento del 18 settembre. Con riferimento a tale evento è disponibile una relazione tecnica redatta, su mandato della *Segreteria Tecnica dell'Accordo di programma per la salvaguardia idraulica e la riqualificazione dei corsi d'acqua dell'area metropolitana milanese*, da un gruppo di lavoro coordinato dalla U.O. Protezione Civile costituito dalle seguenti Amministrazioni: Protezione Civile Regione Lombardia, Autorità di Bacino del fiume Po, STER di Milano, Provincia di Milano, ARPA Lombardia e Metropolitana Milanese S.p.A..

3.6.1.1 Pluviometro di Como Villageno

Nella Figura 23 sono riportate le registrazioni del pluviometro di Como Villageno (i valori dell'intensità di pioggia sono espressi in mm/ora e sono registrati ogni mezz'ora) nell'intero periodo compreso tra settembre e dicembre 2010. Tale periodo è stato caratterizzato da

un'altezza complessiva di precipitazione pari a 717 mm. Considerando i principali eventi verificatisi nel periodo di riferimento lungo tutto il bacino del Seveso (18 settembre, 31 ottobre/1 novembre e 15/16 novembre), si hanno i seguenti valori caratteristici:

- evento 18 settembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 29,8 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 37,8 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 38,0 mm;
- evento 31 ottobre/1 novembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 32,2 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 63,6 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 86,0 mm;
- evento 15/16 novembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 34,8 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 47,2 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 73,0 mm.

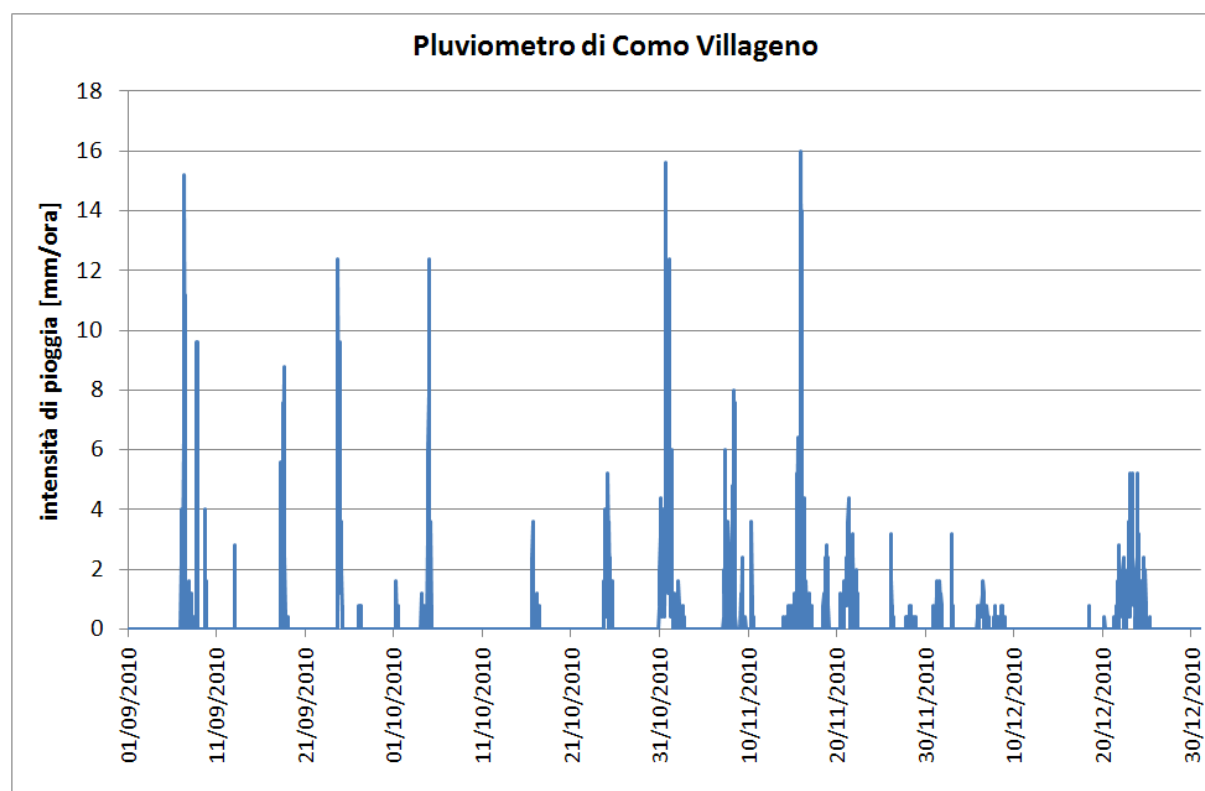


Figura 23 – Dati registrati dal pluviometro di Como Villageno

Per caratterizzare i tempi di ritorno dei suddetti eventi si sono considerati i parametri delle

curve di possibilità pluviometrica ricavati dai dati ARPA relativi al sottobacino SEV1-a (http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg_serv_idro.phtml). Di seguito si riportano i valori delle altezze di pioggia per 2, 10 e 100 anni di tempo di ritorno, relativamente alle durate di 6, 12 e 24 ore:

- altezza di precipitazione in 6 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 52 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 80 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 120 mm;
- altezza di precipitazione in 12 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 65 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 109 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 149 mm;
- altezza di precipitazione in 24 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 80 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 122 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 183 mm.

In base a quanto sopra riportato si evince che:

- evento 18 settembre: $T < 2$ anni (per tutte le durate);
- evento 31 ottobre/1 novembre: $T = 2$ anni (per durate di 12 e 24 ore);
- evento 15/16 novembre: $T < 2$ anni (per tutte le durate).

Nella simulazione idrologica-idraulica degli eventi reali tali precipitazioni rilevate nella stazione di Como Villageno sono state attribuite ai sottobacini SEV1-a, SEV1-b, SEV1-c e SEV1-d.

3.6.1.2 Pluviometro di Vertemate con Minoprio

Nella Figura 24 sono riportate le registrazioni del pluviometro di Vertemate con Minoprio (i valori dell'intensità di pioggia sono espressi in mm/ora e sono registrati ogni mezz'ora) nell'intero periodo compreso tra settembre e dicembre 2010. Tale periodo è stato caratterizzato da un'altezza complessiva di precipitazione pari a 969 mm. Considerando i principali eventi verificatisi nel periodo di riferimento lungo tutto il bacino del Seveso (18 settembre, 31 ottobre/1 novembre e 15/16 novembre), si hanno i seguenti valori caratteristici:

- evento 18 settembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 78,6 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 95,0 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 96,0 mm;
- evento 31 ottobre/1 novembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 37,0 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 69,0 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 91,6 mm;
- evento 15/16 novembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 36,0 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 52,8 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 77,6 mm.

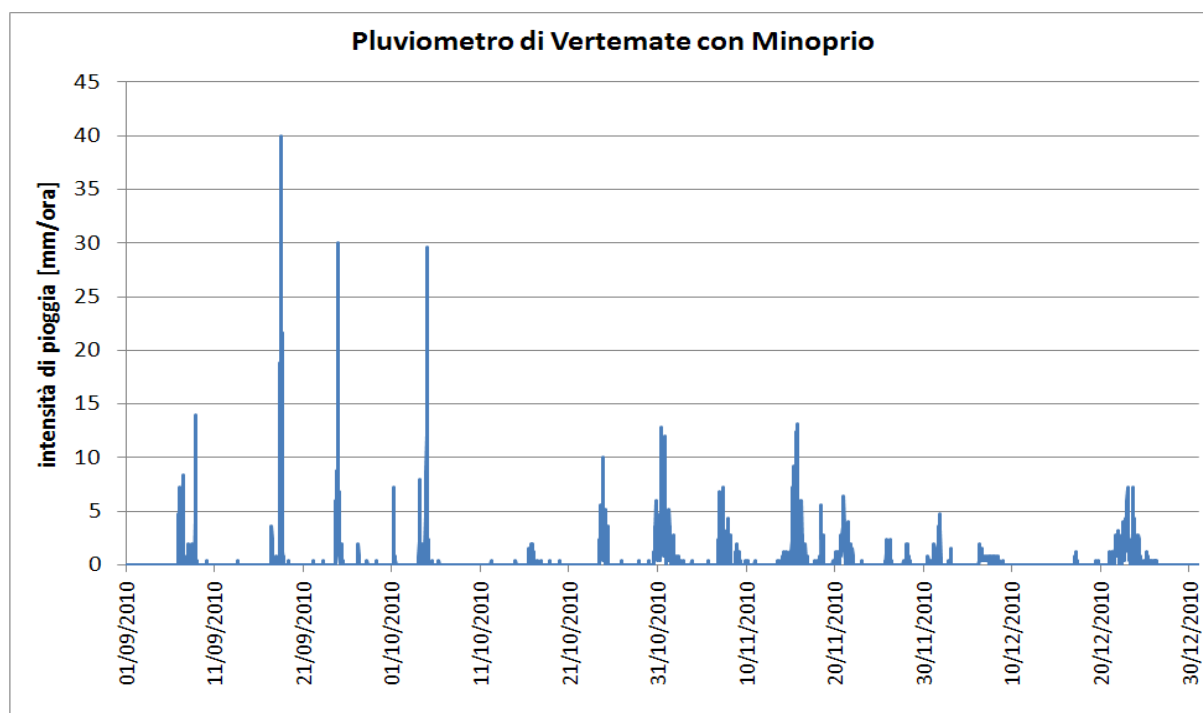


Figura 24 – Dati registrati dal pluviometro di Vertemate con Minoprio

Anche in tal caso per caratterizzare i tempi di ritorno dei suddetti eventi si sono considerati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica ricavati dai dati ARPA relativi al sottobacino SEV5 (http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg_serv_idro.phtml). Di seguito si riportano i valori delle altezze di pioggia per 2, 10 e 100 anni di tempo di ritorno,

relativamente alle durate di 6, 12 e 24 ore:

- altezza di precipitazione in 6 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 54 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 84 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 127 mm;
- altezza di precipitazione in 12 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 66 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 103 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 156 mm;
- altezza di precipitazione in 24 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 82 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 127 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 192 mm.

In base a quanto sopra riportato si evince che:

- evento 18 settembre: $T \sim 10$ anni per durate di 6 e 12 ore, $2 < T < 10$ per durate di 24 ore;
- evento 31 ottobre/1 novembre: $T < 2$ anni per durata di 6 ore, $T = 2$ anni per durata di 12 ore e $2 < T < 10$ per durate di 24 ore;
- evento 15/16 novembre: $T < 2$ anni per tutte le durate.

Nella simulazione idrologica-idraulica degli eventi reali tali precipitazioni registrate nella stazione di Vertemate con Minoprio sono state attribuite ai sottobacini SEV2, SEV3, ACQ e SEV4.

3.6.1.3 Pluviometro di Cantù Asnago

Nella Figura 25 sono riportate le registrazioni del pluviometro di Cantù Asnago (i valori dell'intensità di pioggia sono espressi in mm/ora e sono registrati ogni mezz'ora) nell'intero periodo compreso tra settembre e dicembre 2010. Tale periodo è stato caratterizzato da un'altezza complessiva di precipitazione pari a 882 mm. Considerando i principali eventi verificatisi nel periodo di riferimento lungo tutto il bacino del Seveso (18 settembre, 31 ottobre/1 novembre e 15/16 novembre), si hanno i seguenti valori caratteristici:

- evento 18 settembre:

- o altezza massima registrata in 6 ore: 68,8 mm;
- o altezza massima registrata in 12 ore: 83,4 mm;
- o altezza massima registrata in 24 ore: 84,8 mm;
- evento 31 ottobre/1 novembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 32,6 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 62,2 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 82,6 mm;
- evento 15/16 novembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 30,6 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 46,0 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 64,6 mm.

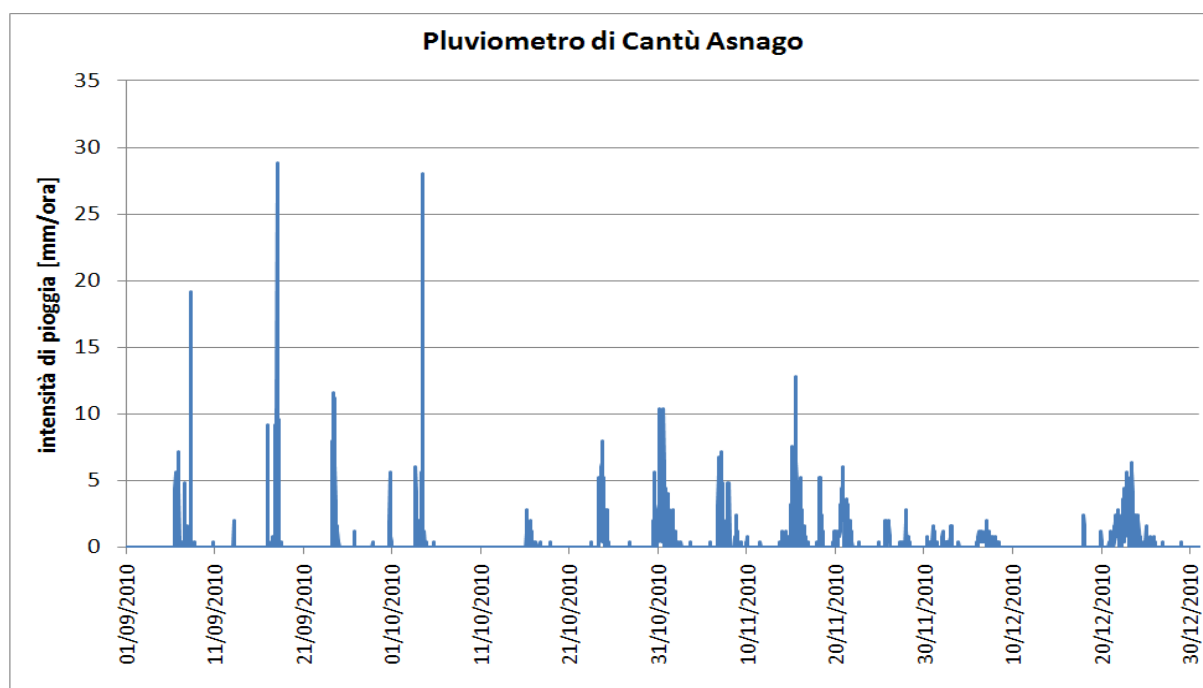


Figura 25 – Dati registrati dal pluviometro di Cantù Asnago

Anche in tal caso per caratterizzare i tempi di ritorno dei suddetti eventi si sono considerati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica ricavati dai dati ARPA (http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg_serv_idro.phtml), relativi al sottobacino SEV6. Di seguito si riportano i valori delle altezze di pioggia per 2, 10 e 100 anni di tempo di ritorno, relativamente alle durate di 6, 12 e 24 ore:

- altezza di precipitazione in 6 ore:

- o 2 anni di tempo di ritorno: 54 mm;
- o 10 anni di tempo di ritorno: 84 mm;
- o 100 anni di tempo di ritorno: 127 mm;
- altezza di precipitazione in 12 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 66 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 103 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 156 mm;
- altezza di precipitazione in 24 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 81 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 127 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 192 mm.

In base a quanto sopra riportato si evince che:

- evento 18 settembre: $2 < T < 10$ per durate di 6 e 12 ore, $T \sim 2$ per durate di 24 ore;
- evento 31 ottobre/1 novembre: $T = 2$ anni per durate di 12 e 24 ore $T < 2$ per durate di 6 ore;
- evento 15/16 novembre: $T < 2$ anni per tutte le durate.

Nella simulazione idrologica-idraulica degli eventi reali tali precipitazioni registrate nella stazione di Cantù Asiago sono state attribuite ai sottobacini ANT, SEV5, SEV6, SER, SEV7, SEV8, SEV9, CER1, TER.

3.6.1.4 Pluviometro di Mariano Comense

Nella Figura 26 sono riportate le registrazioni del pluviometro di Mariano Comense (i valori dell'intensità di pioggia sono espressi in mm/ora e sono registrati ogni ora) nell'intero periodo compreso tra settembre e dicembre 2010. Tale periodo è stato caratterizzato da un'altezza complessiva di precipitazione pari a 868 mm. Considerando i principali eventi verificatisi nel periodo di riferimento lungo tutto il bacino del Seveso (18 settembre, 31 ottobre/1 novembre e 15/16 novembre), si hanno i seguenti valori caratteristici:

- evento 18 settembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 63,8 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 84,6 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 85,6 mm;

- evento 31 ottobre/1 novembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 32,6 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 58,6 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 78,2 mm;
- evento 15/16 novembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 30,4 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 49,4 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 64,4 mm.

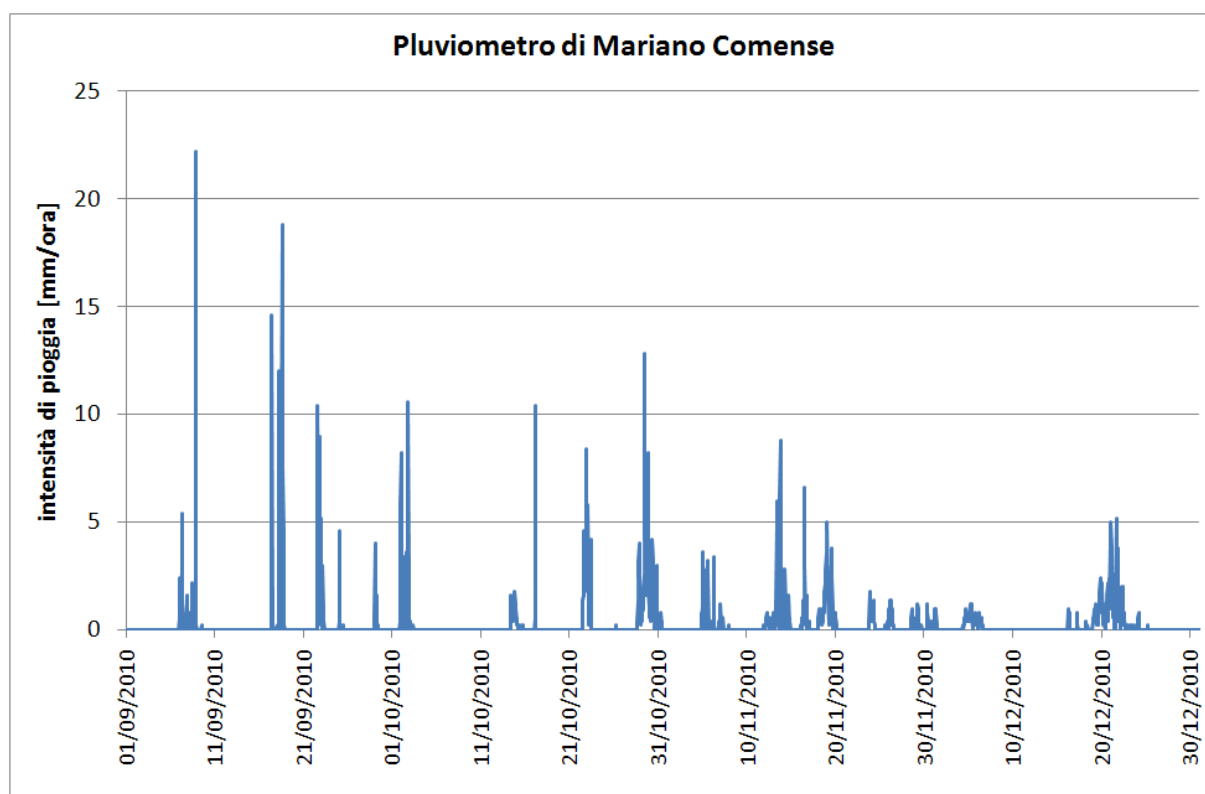


Figura 26 – Dati registrati dal pluviometro di Mariano Comense

Anche in tal caso per caratterizzare i tempi di ritorno dei suddetti eventi si sono considerati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica ricavati dai dati ARPA (http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg_serv_idro.phtml), relativi al sottobacino CER2. Di seguito si riportano i valori delle altezze di pioggia per 2, 10 e 100 anni di tempo di ritorno, relativamente alle durate di 6, 12 e 24 ore:

- altezza di precipitazione in 6 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 54 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 85 mm;

- o 100 anni di tempo di ritorno: 130 mm;
- altezza di precipitazione in 12 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 66 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 104 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 159 mm;
- altezza di precipitazione in 24 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 81 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 128 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 194 mm.

In base a quanto sopra riportato si evince che:

- evento 18 settembre: $2 < T < 10$ per durate di 6 e 12 ore, $T \sim 2$ per durate di 24 ore;
- evento 31 ottobre/1 novembre: $T = 2$ anni per durate di 24 ore $T < 2$ per durate di 6 e 12 ore;
- evento 15/16 novembre: $T < 2$ anni per tutte le durate.

Nella simulazione idrologica-idraulica degli eventi reali tali precipitazioni registrate nella stazione di Mariano Comense sono state attribuite ai sottobacini CER2, CER3 e CER4.

3.6.1.5 Pluviometro di Palazzolo

Nella Figura 27 sono riportate le registrazioni del pluviometro di Palazzolo (i valori dell'intensità di pioggia sono espressi in mm/ora e sono registrati ogni mezz'ora) nell'intero periodo compreso tra settembre e dicembre 2010. Tale periodo è stato caratterizzato da un'altezza complessiva di precipitazione pari a 759 mm. Considerando i principali eventi verificatisi nel periodo di riferimento lungo tutto il bacino del Seveso (18 settembre, 31 ottobre/1 novembre e 15/16 novembre), si hanno i seguenti valori caratteristici:

- evento 18 settembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 26,8 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 32,4 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 33,2 mm;
- evento 31 ottobre/1 novembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 30,6 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 51,8 mm;

- o altezza massima registrata in 24 ore: 72,8 mm;
- evento 15/16 novembre:
 - o altezza massima registrata in 6 ore: 29,0 mm;
 - o altezza massima registrata in 12 ore: 46,4 mm;
 - o altezza massima registrata in 24 ore: 55,2 mm.

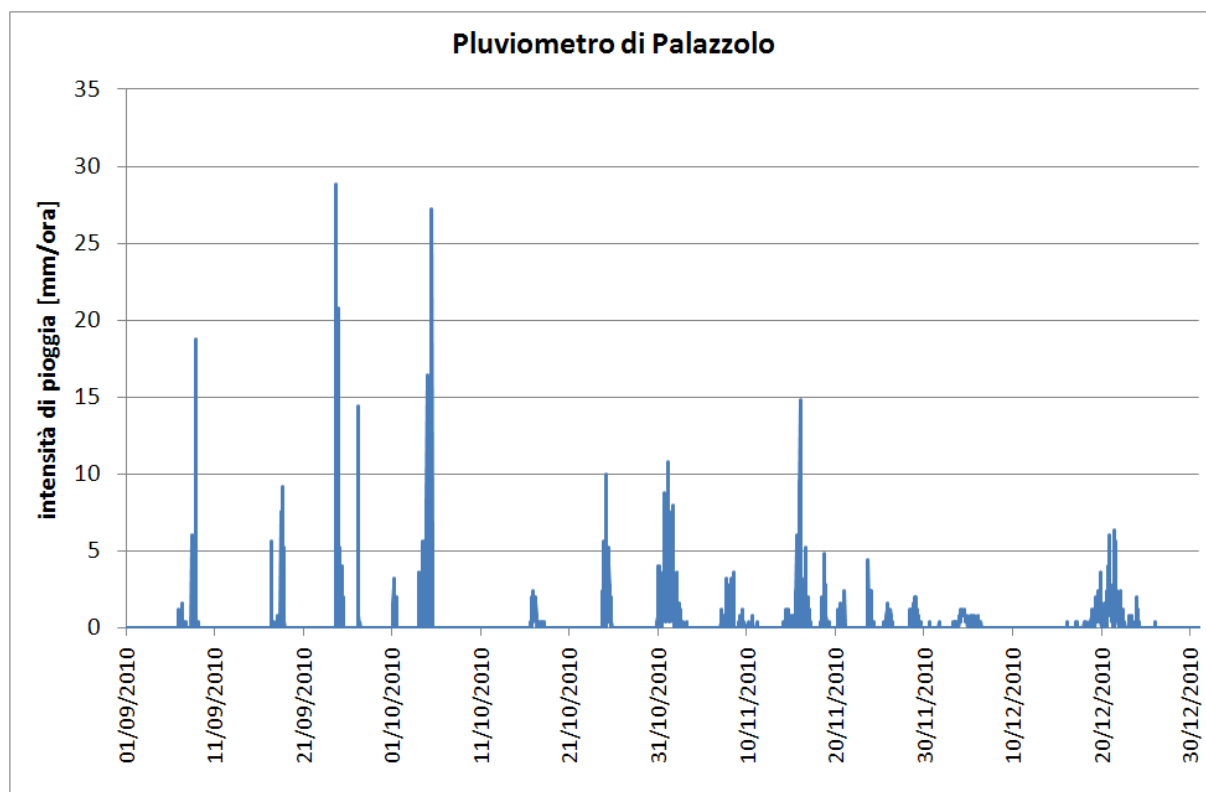


Figura 27 – Dati registrati dal pluviometro di Palazzolo

Anche in tal caso per caratterizzare i tempi di ritorno dei suddetti eventi si sono considerati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica ricavati dai dati ARPA (http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg_serv_idro.phtml), relativi al sottobacino SEV14. Di seguito si riportano i valori delle altezze di pioggia per 2, 10 e 100 anni di tempo di ritorno, relativamente alle durate di 6, 12 e 24 ore:

- altezza di precipitazione in 6 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 50 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 78 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 119 mm;

- altezza di precipitazione in 12 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 61 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 96 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 145 mm;
- altezza di precipitazione in 24 ore:
 - o 2 anni di tempo di ritorno: 75 mm;
 - o 10 anni di tempo di ritorno: 117 mm;
 - o 100 anni di tempo di ritorno: 177 mm.

In base a quanto sopra riportato si evince che:

- evento 18 settembre: $T < 2$ anni per tutte le durate;
- evento 31 ottobre/1 novembre: $T = 2$ anni per durate di 24 ore $T < 2$ per durate di 6 e 12 ore;
- evento 15/16 novembre: $T < 2$ anni per tutte le durate.

Nella simulazione idrologica-idraulica degli eventi reali tali precipitazioni registrate nella stazione di Palazzolo sono state attribuite ai sottobacini SEV10, SEV11, SEV12, SEV13, SEV14, COM.

3.6.1.6 Considerazioni generali sui dati pluviometrici registrati

Dai valori sopraesposti si può osservare come l'evento del 18 settembre 2010 sia stato il più gravoso fra quelli verificatisi nell'intero periodo settembre/dicembre 2010. L'evento è stato più intenso per la parte alta del bacino del Seveso (tempo di ritorno pari a circa 10 anni nella zona di Vertemate con Minoprio e tempo di ritorno compreso tra 2 e 10 per la zona di Cantù Asnago, Mariano Comense) rispetto alla parte bassa del bacino (area metropolitana a nord di Milano) che è stata sollecitata da un evento con tempo di ritorno inferiore a 2 anni (Palazzolo).

Tali considerazioni sono in linea con quanto affermato nella prima citata relazione tecnica redatta, su mandato della *Segreteria Tecnica dell'Accordo di programma per la salvaguardia idraulica e la riqualificazione dei corsi d'acqua dell'area metropolitana milanese*, dal gruppo di lavoro costituito da Protezione Civile Regione Lombardia, Autorità di Bacino del fiume Po, STER di Milano, Provincia di Milano, ARPA Lombardia e Metropolitana Milanese S.p.A..

Di seguito si riportano alcuni grafici riportati in tale relazione, da cui emerge che

considerando l'intero bacino del T. Seveso chiuso alla sezione di Palazzolo, si ha che la precipitazione osservata ragguagliata all'intera area è caratterizzata da tempi di ritorno compresi tra 2 e 10 anni, a seconda della durata di riferimento.

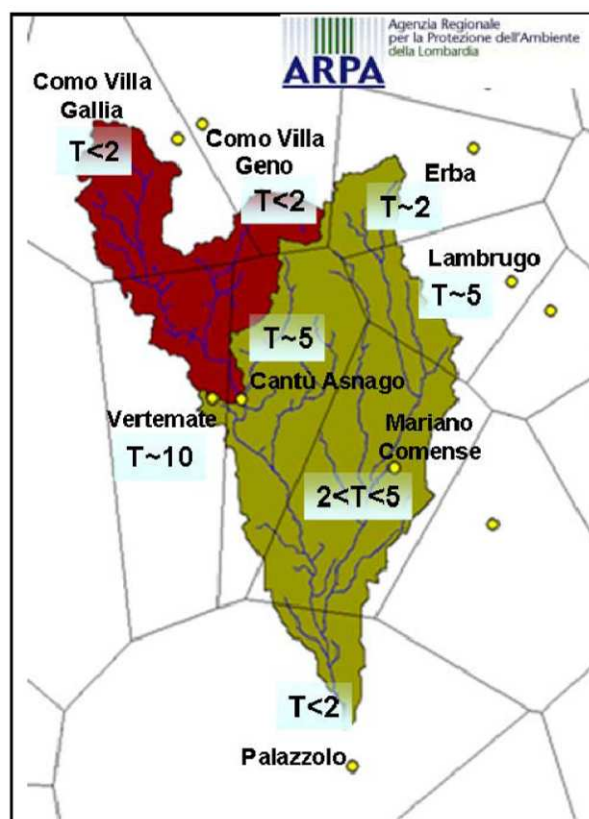


Figura 28 – Stazioni della rete ARPA sul bacino, relativi poligoni di Theissen e T_r osservati durante l'evento del 18/9/2010 (Fonte: ARPA)

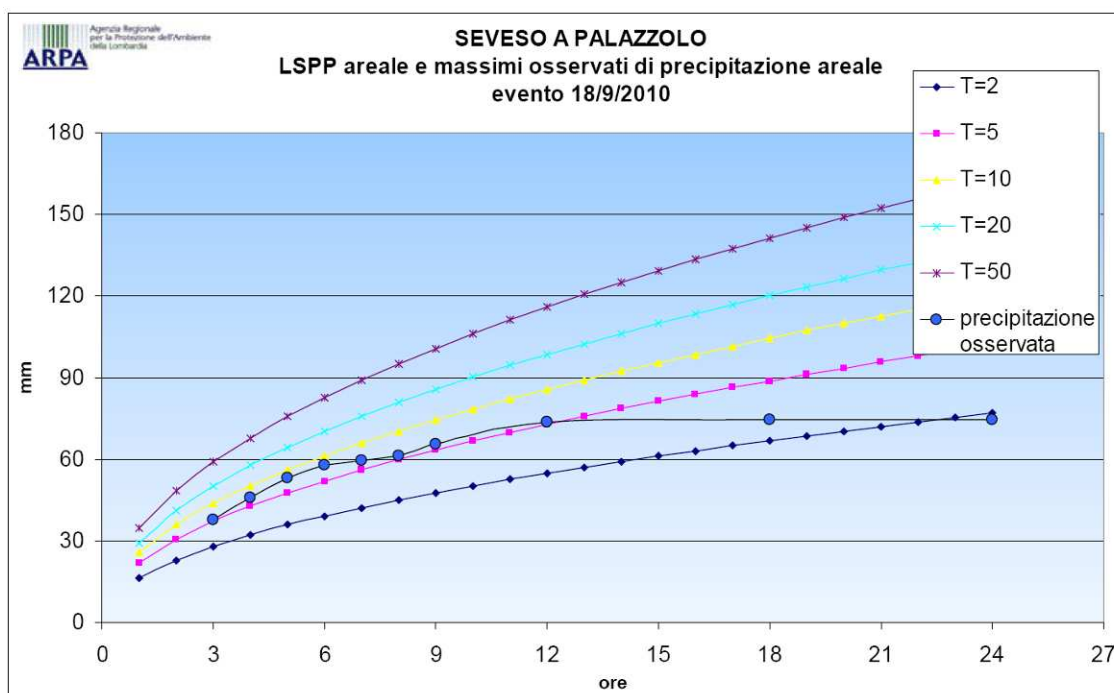


Figura 29 – LSPP e precipitazioni osservate ragguagliate sul bacino del Seveso a Palazzolo (Fonte: ARPA)

3.6.2 Analisi dei dati idrometrici

Nel presente paragrafo vengono presi in considerazione ed analizzati i dati registrati dagli idrometri presenti lungo l'asta del T. Seveso (da Como fino alla presa del C.S.N.O.) durante l'intero periodo settembre-dicembre 2010, con particolare riferimento agli eventi del 18 settembre, 31 ottobre/1 novembre e 15/16 novembre. In particolare gli idrometri considerati sono localizzati a: Cantù Asnago (sezione SV-77), Cesano Maderno (sezione SV-38), Palazzolo (sezione SV-25), lungo il C.S.N.O. a Senago (sezione CN-151).

3.6.2.1 Idrometro di Cantù Asnago

L'idrometro di Cantù-Asnago (SV 77) è particolarmente utile per la taratura della porzione "naturale" del torrente Seveso, dato che gli apporti a monte di tale strumento derivano da bacini caratterizzati da una modesta componente antropica. Il bacino idrografico sotteso da tale idrometro è pari a circa 55 kmq, pari al 29% dell'intero bacino sotteso dalla presa del C.S.N.O.. Nella Figura 30 sono riportate le registrazioni dell'idrometro di Cantù Asnago nell'intero periodo compreso tra settembre e dicembre 2010.

Dall'andamento registrato si può osservare come il livello maggiore sia stato raggiunto nei giorni 18 settembre, 1 e 16 novembre.

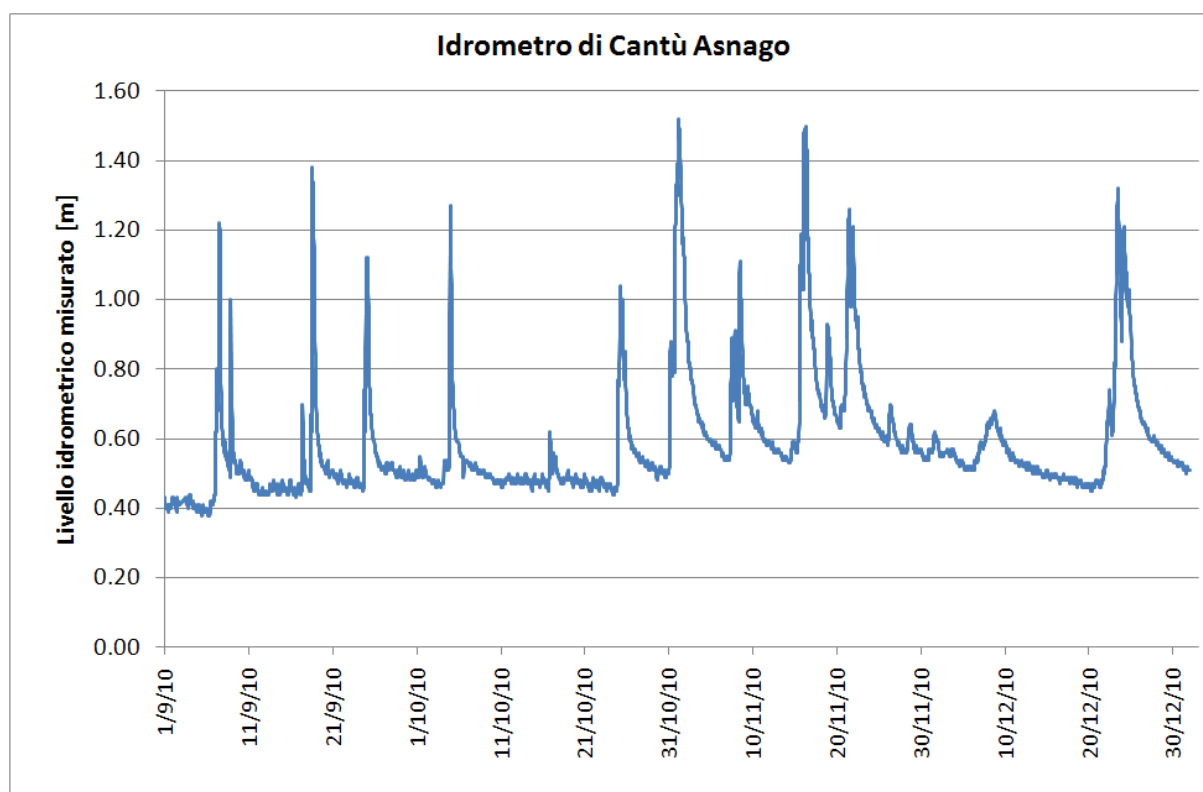


Figura 30 – Dati registrati dall'idrometro di Cantù Asnago

3.6.2.2 Idrometro di Cesano Maderno

L'idrometro di Cesano Maderno (SV 38) è particolarmente utile per la taratura dell'intero bacino del torrente Seveso a monte della presa del C.S.N.O.. Il bacino idrografico sotteso da tale idrometro è pari a circa 170 kmq, pari al 90% dell'intero bacino sotteso dalla presa del C.S.N.O.. Nella Figura 31 sono riportate le registrazioni dell'idrometro di Cesano Maderno nell'intero periodo compreso tra settembre e dicembre 2010.

Dall'andamento registrato si può osservare come il livello maggiore sia stato raggiunto durante l'evento del 18 settembre; ma anche gli eventi dell'1 e 16 novembre hanno indotto dei livelli considerevoli.

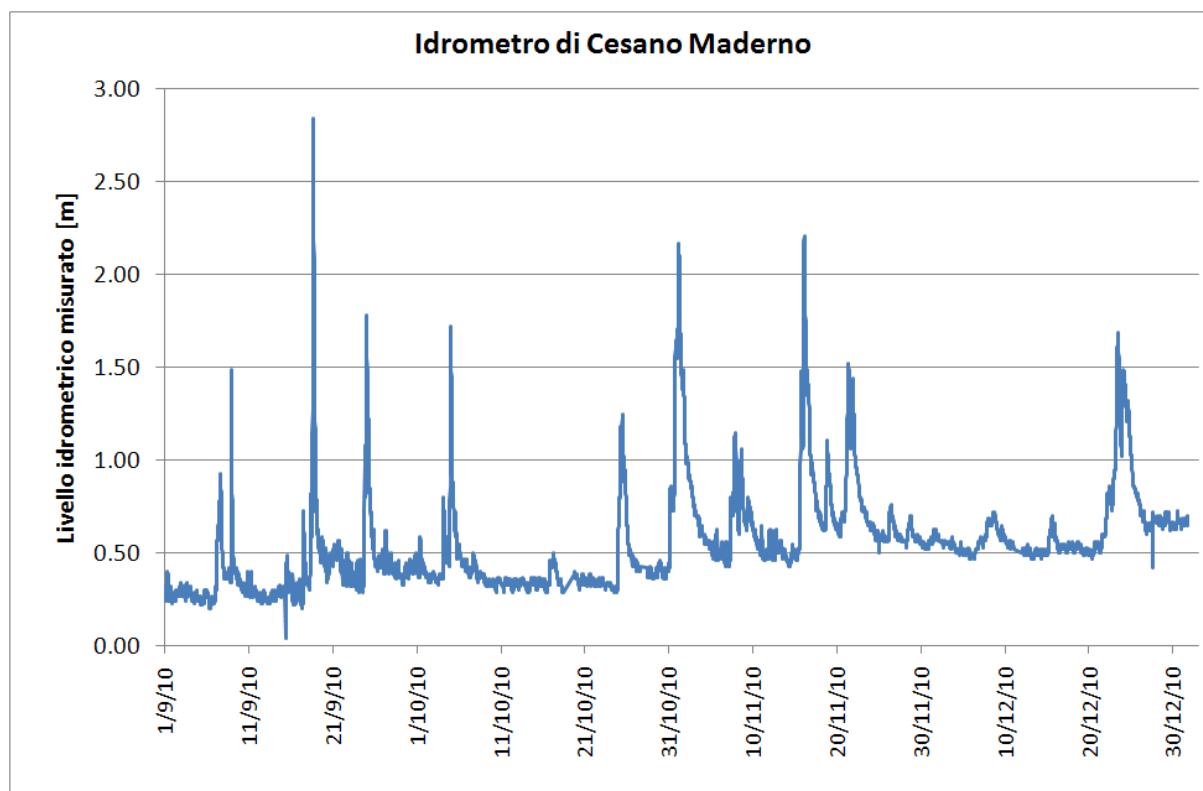


Figura 31 – Dati registrati dall'idrometro di Cesano Maderno

3.6.2.3 Idrometro di Palazzolo

L'idrometro di Palazzolo (SV 25) è posto a soli 400 m a monte della presa del C.S.N.O. , per cui il bacino idrografico sotteso da tale idrometro è pari all'intero bacino sotteso dalla presa del C.S.N.O.. Tale vicinanza con l'opera di presa del C.S.N.O. fa sì che i livelli registrati siano condizionati dal grado di apertura della paratoia a settore posta lungo il Seveso per la regolazione della derivazione delle portate verso il C.S.N.O.. Nella Figura 32 sono riportate le registrazioni dell'idrometro di Palazzolo nell'intero periodo compreso tra settembre e dicembre 2010.

Dall'andamento registrato si può osservare come il livello maggiore sia stato raggiunto durante l'evento del 18 settembre; ma anche gli eventi dell'1 e 16 novembre hanno indotto dei livelli considerevoli.

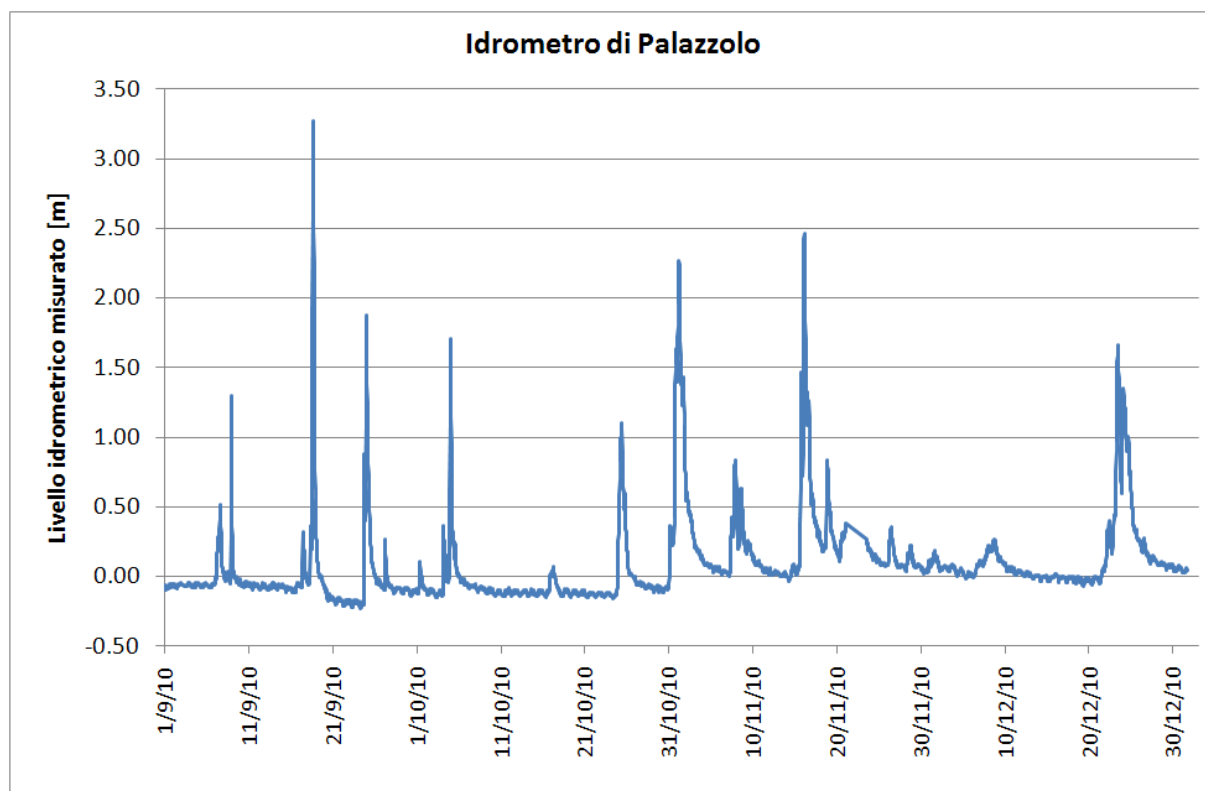


Figura 32 – Dati registrati dall'idrometro di Palazzolo

3.6.2.4 Idrometro del C.S.N.O. a Senago

L'idrometro del C.S.N.O. a Senago (CN151) è posto a circa 2500 m a valle della presa del C.S.N.O.. Nella Figura 33 sono riportate le registrazioni di tale idrometro nell'intero periodo compreso tra settembre e dicembre 2010.

Dall'andamento registrato si può osservare come il livello maggiore sia stato raggiunto durante l'evento del 18 settembre, ma anche altri numerosi eventi hanno indotto dei livelli considerevoli.

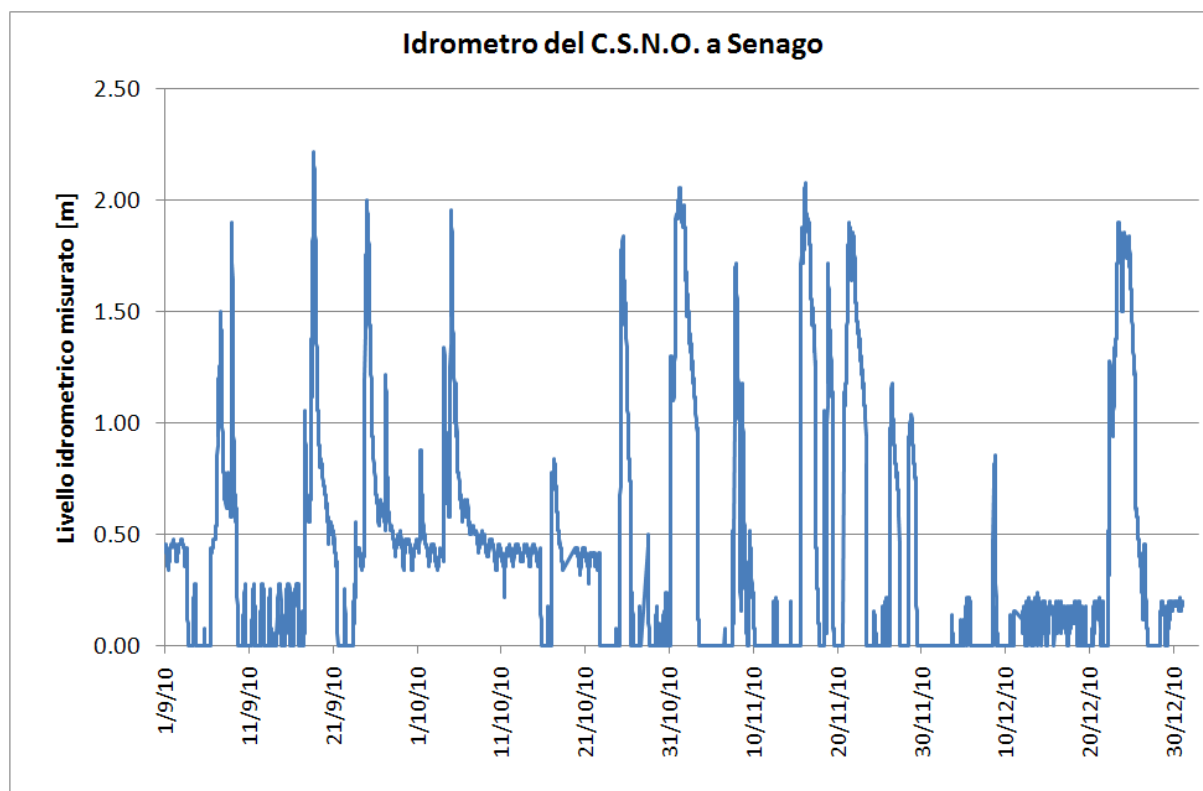


Figura 33 – Dati registrati dall'idrometro del C.S.N.O. a Senago

Confrontando i livelli nel C.S.N.O. con quelli nel T. Seveso a Palazzolo e con gli eventi pluviometrici registrati (Figura 34), si può osservare come il C.S.N.O. venga alimentato dal T. Seveso non solo in occasione di eventi pluviometrici rilevanti (18 settembre, 1 e 16 novembre) che hanno indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano, ma praticamente al verificarsi di ogni evento meteorico, anche non particolarmente intenso.

Questo fatto deriva dalla circostanza per cui il bacino idrografico afferente al T. Seveso nel tratto a valle della presa del C.S.N.O. è in grado da solo di saturare la capacità idraulica del tratto tombinato all'interno del Comune di Milano.

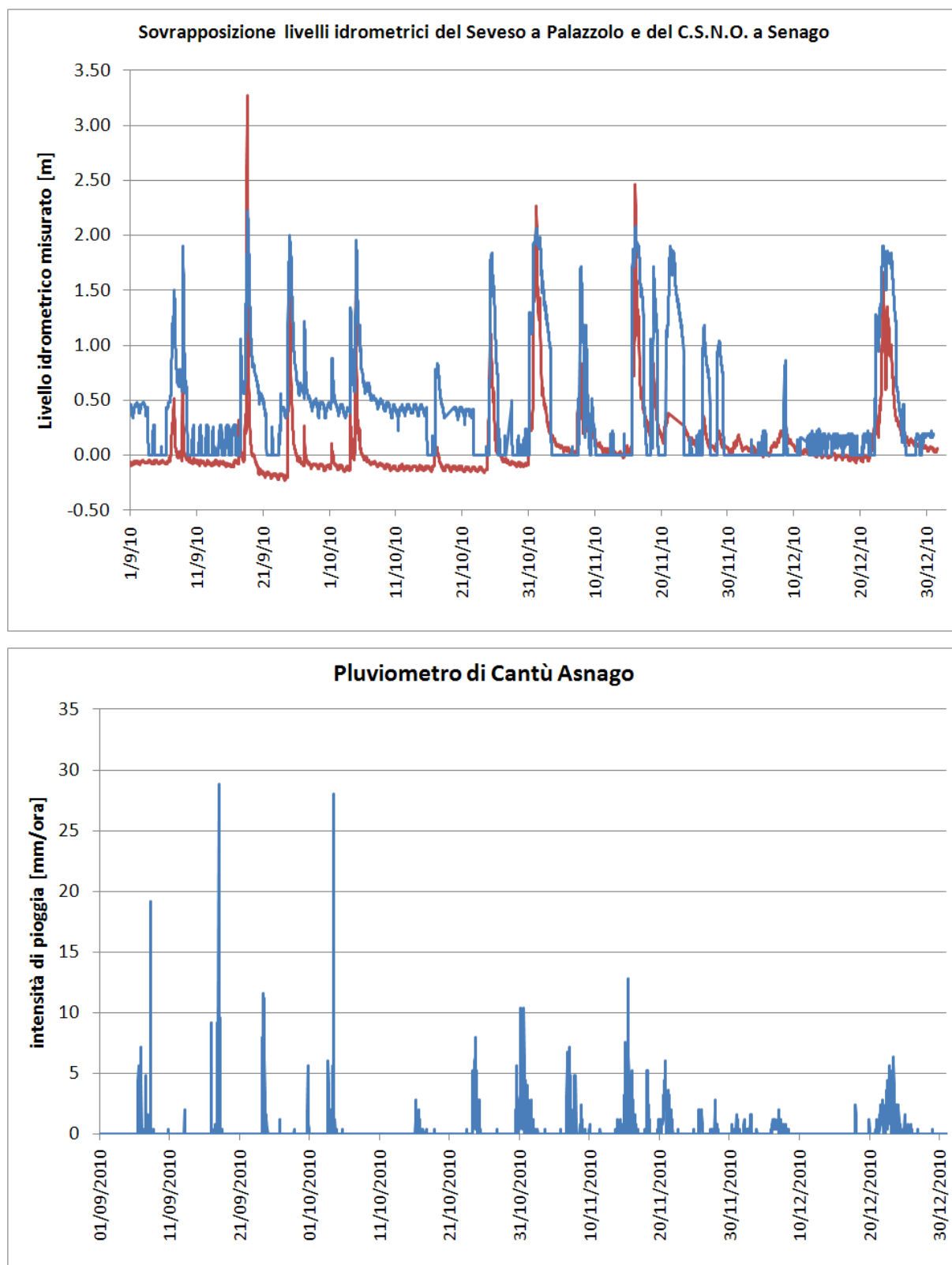


Figura 34 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro del C.S.N.O. a Senago e quelli del Seveso a Palazzolo e gli eventi meteorici registrati. I livelli sono riferiti allo zero idrometrico della stazione e non al fondo alveo.

3.6.3 Analisi della risposta del modello

Definito l'evento di taratura ed attribuiti ai singoli bacini gli ietogrammi dei cinque pluviografi disponibili, si è verificata la risposta del modello idrologico-idraulico confrontando i livelli idrometrici in corrispondenza delle sezioni poste lungo il T. Seveso dotate di idrometro (Cantù Asnago, Cesano Maderno e Palazzolo). Non è stato effettuato un confronto tra i livelli registrati e le simulazioni condotte con riferimento all'idrometro posto lungo il C.S.N.O. in quanto il modello idrologico-idraulico adottato non consente di regolare nel transitorio di calcolo il grado di apertura della paratoia a settore posta lungo il Seveso e quindi non effettua la regolazione delle portate che realmente vengono deviate nel C.S.N.O. durante gli eventi reali.

Prima di operare il confronto fra i livelli registrati e simulati si è operata una traslazione dei livelli registrati (non sempre lo zero idrometrico dell'idrometro corrisponde al fondo alveo) facendo in modo in modo da far coincidere i livelli di magra registrati con quelli simulati.

Nelle figure seguenti sono riportati, per i diversi idrometri, i confronti per l'intero periodo settembre/dicembre 2010.

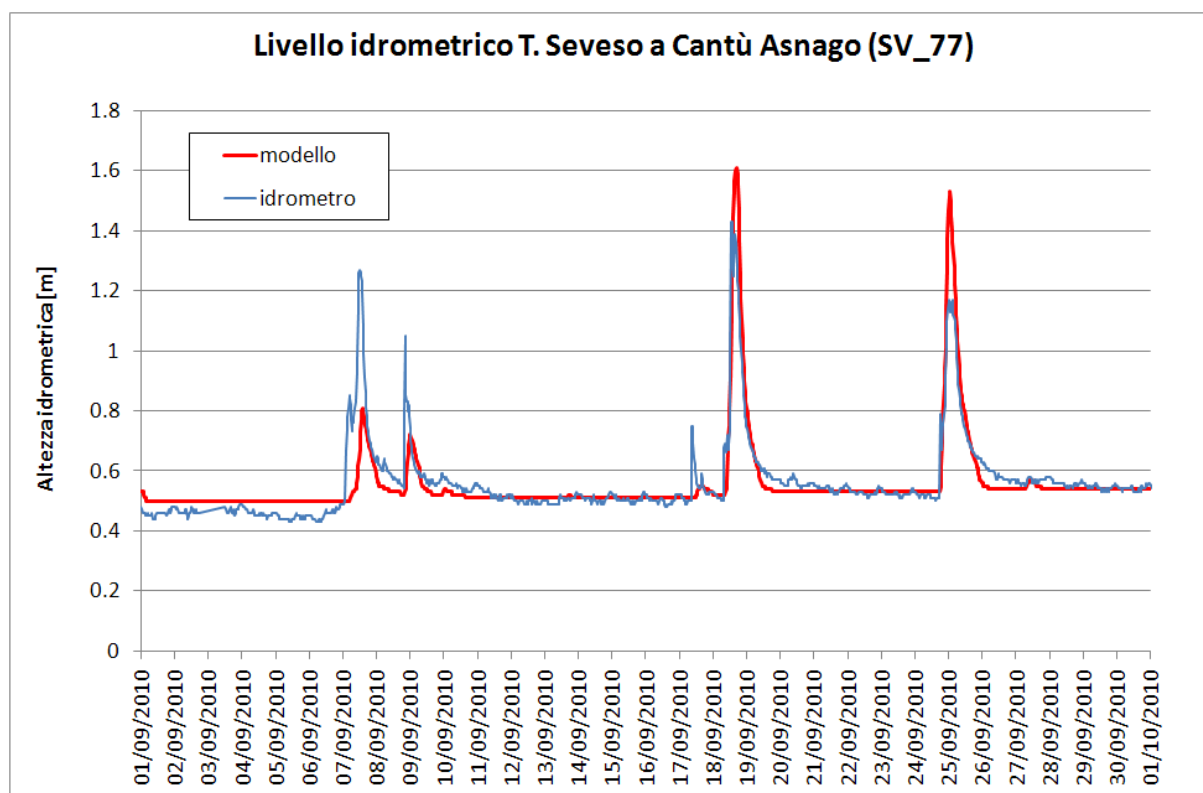


Figura 35 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

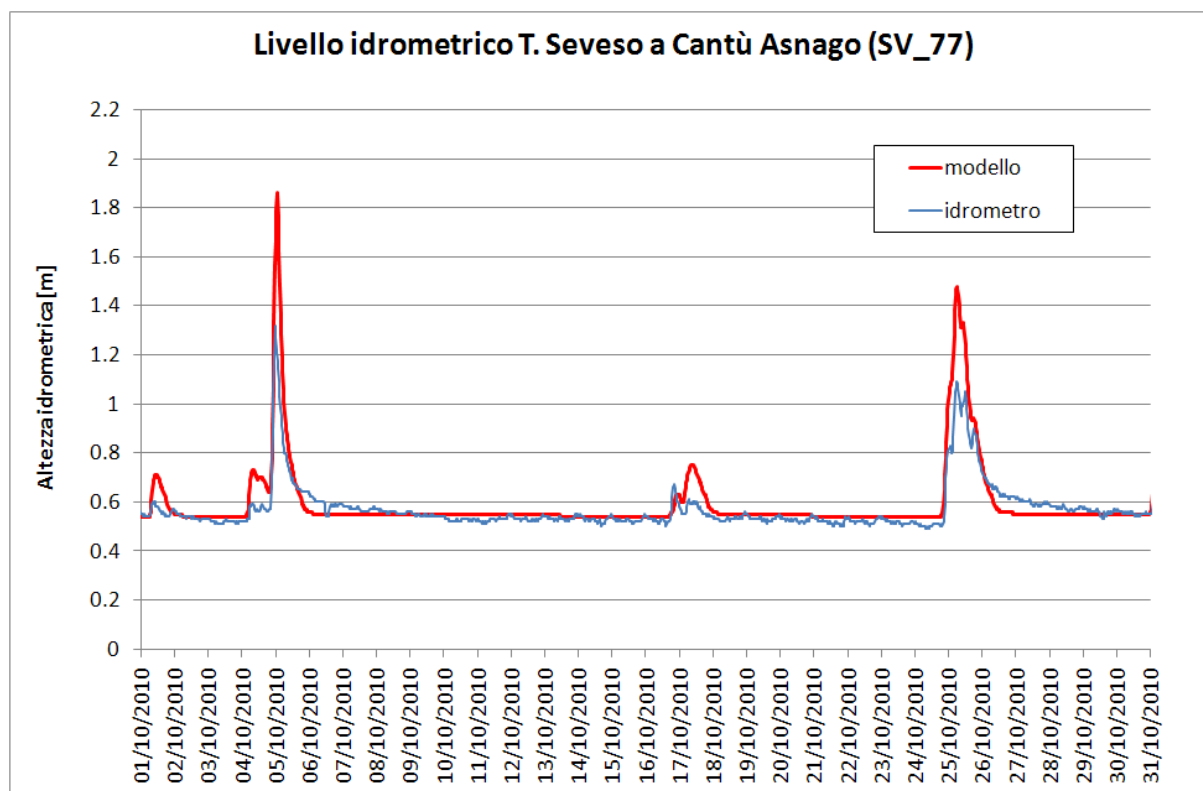


Figura 36 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

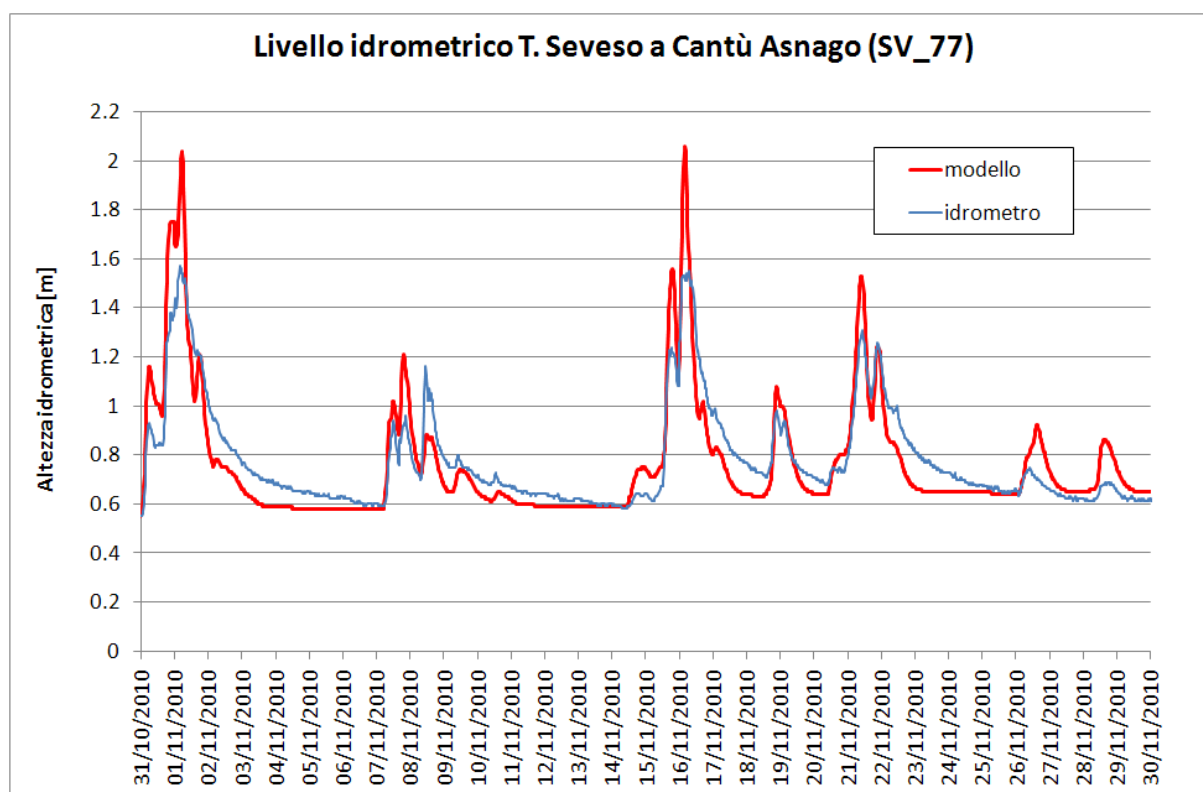


Figura 37 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

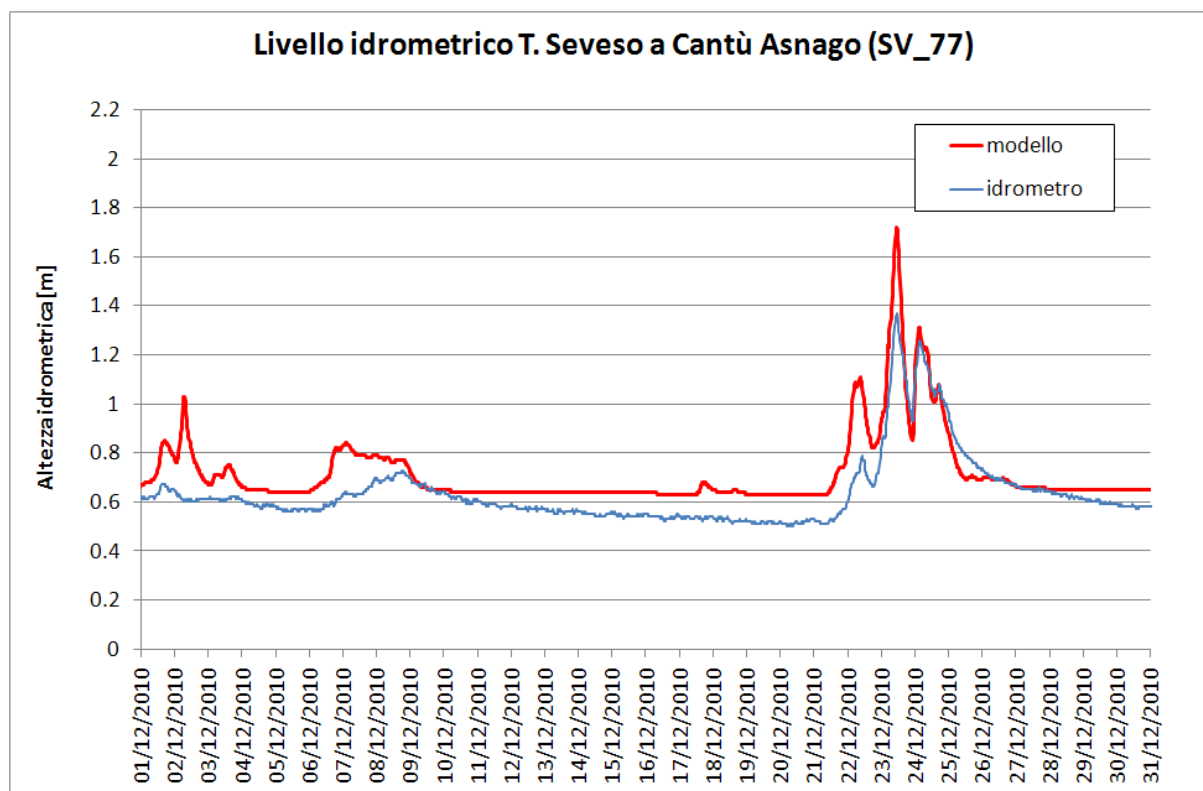


Figura 38 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

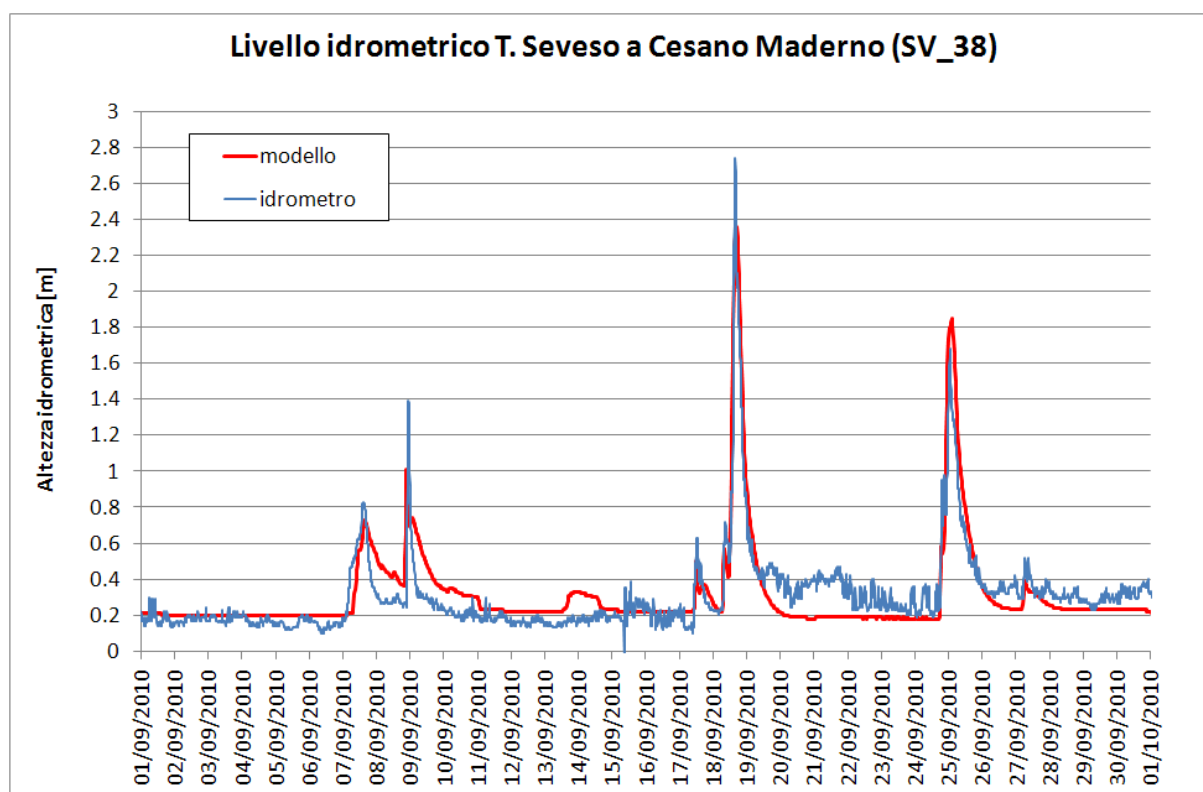


Figura 39 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

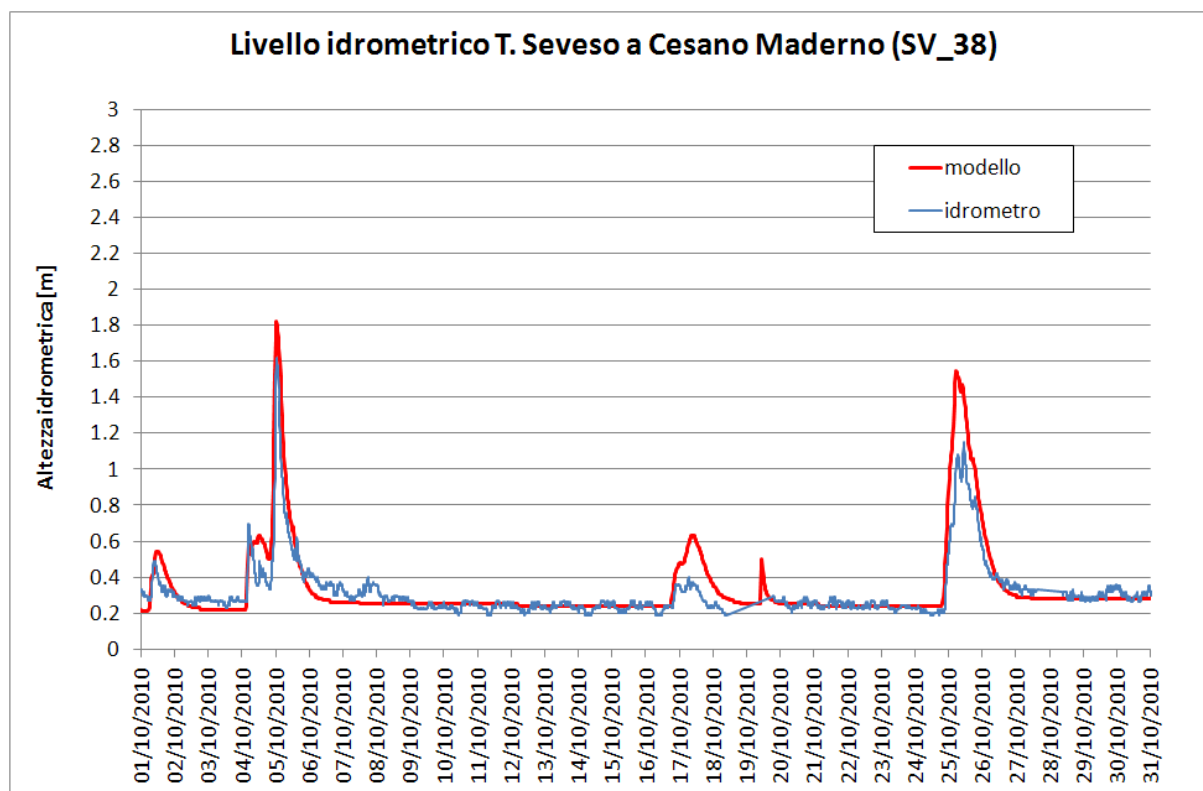


Figura 40 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

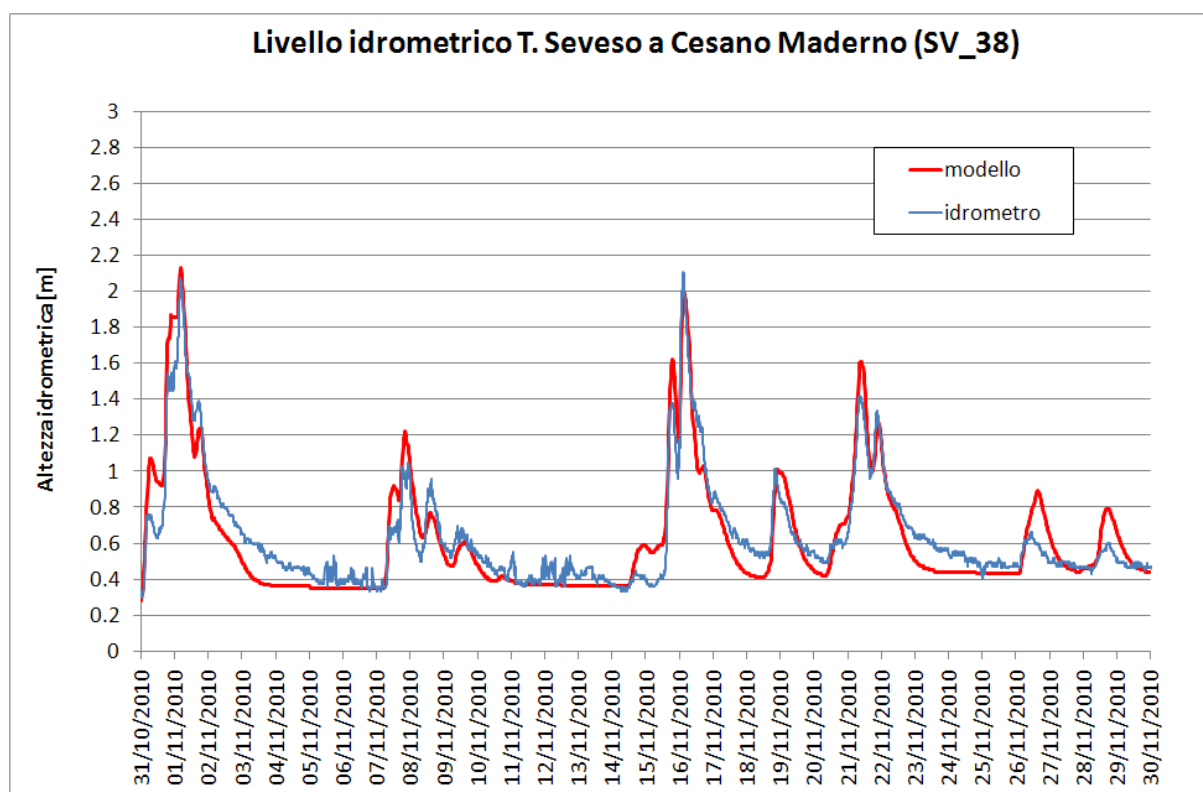


Figura 41 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

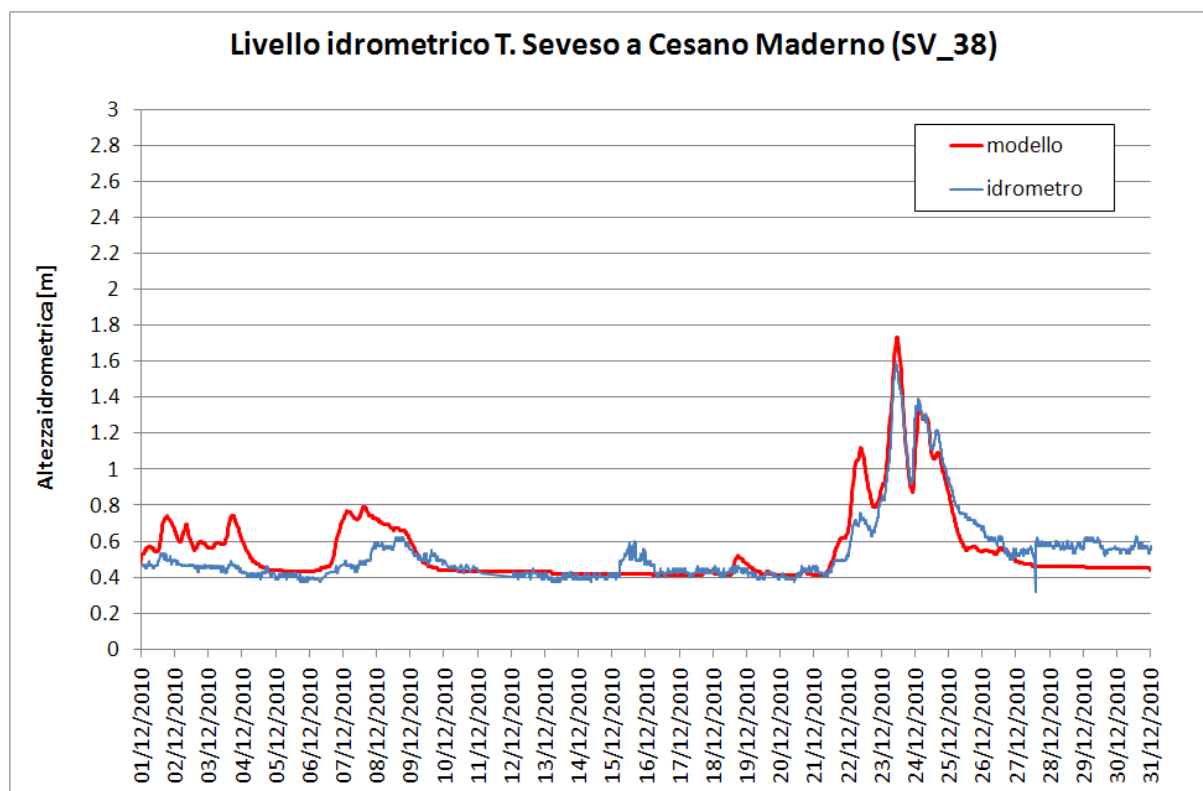


Figura 42 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

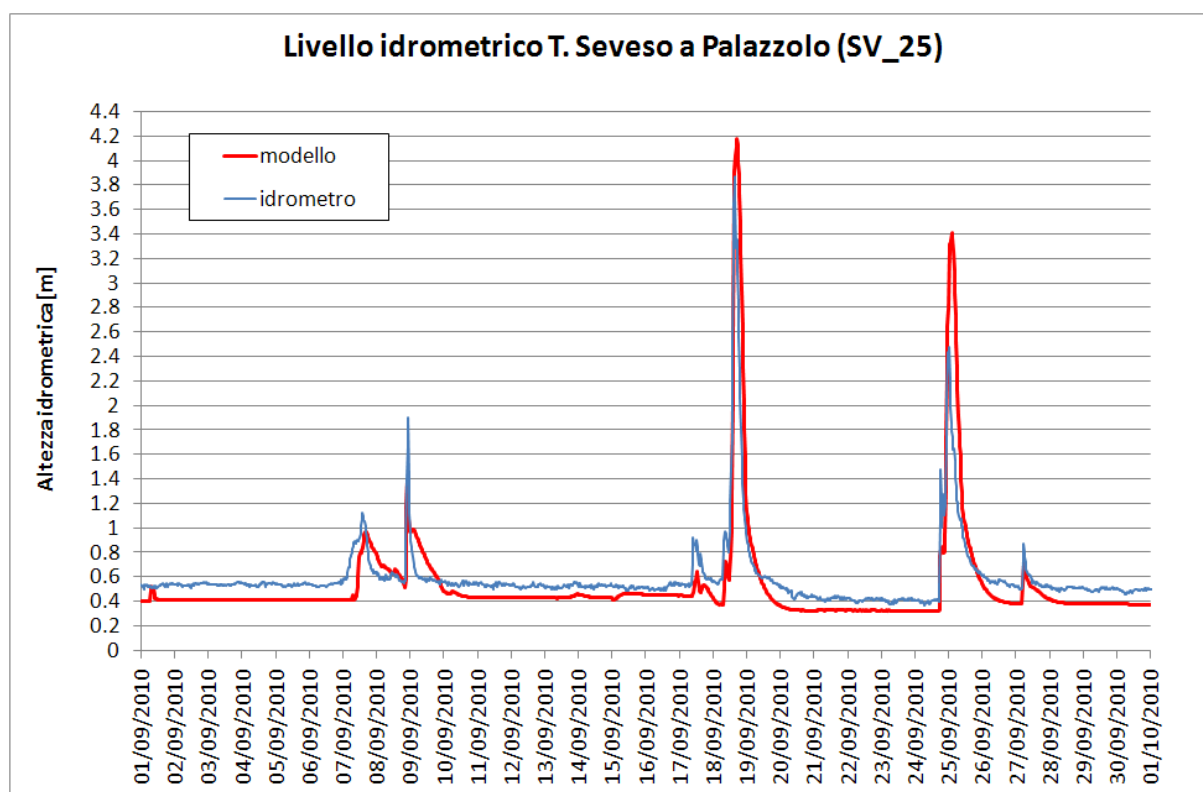


Figura 43 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

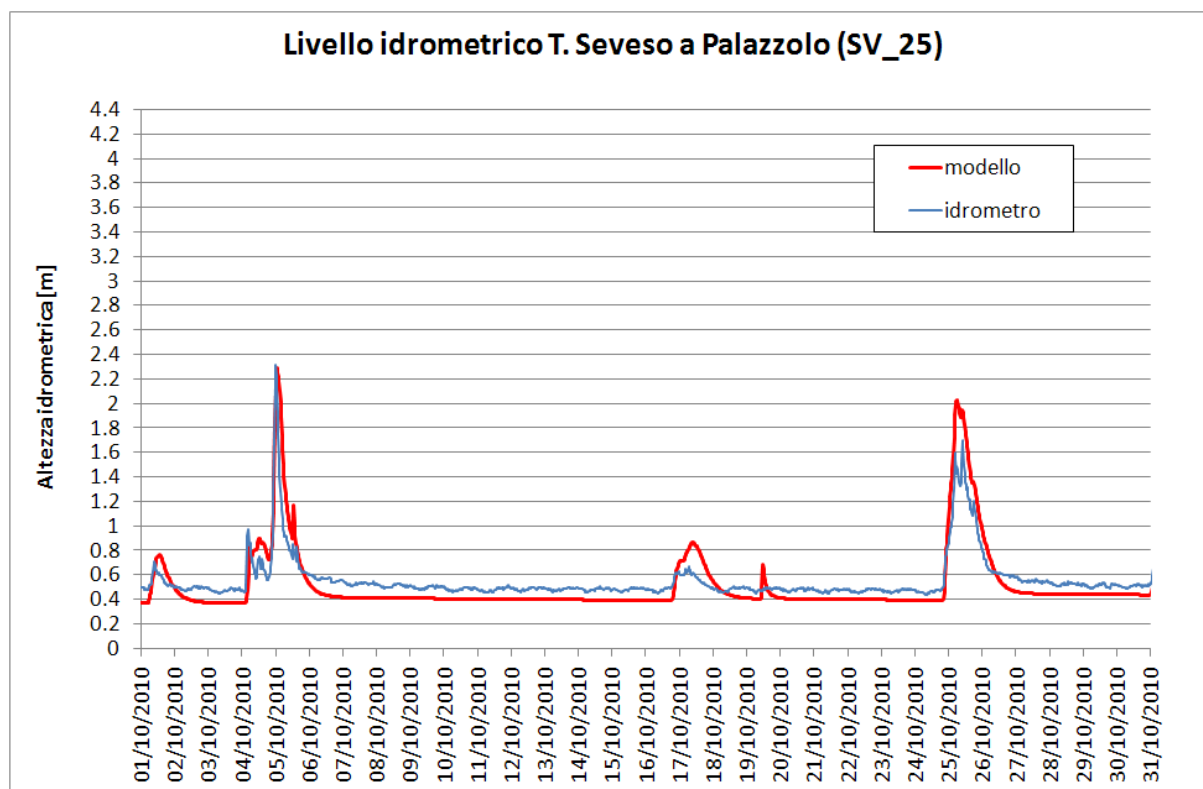


Figura 44 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

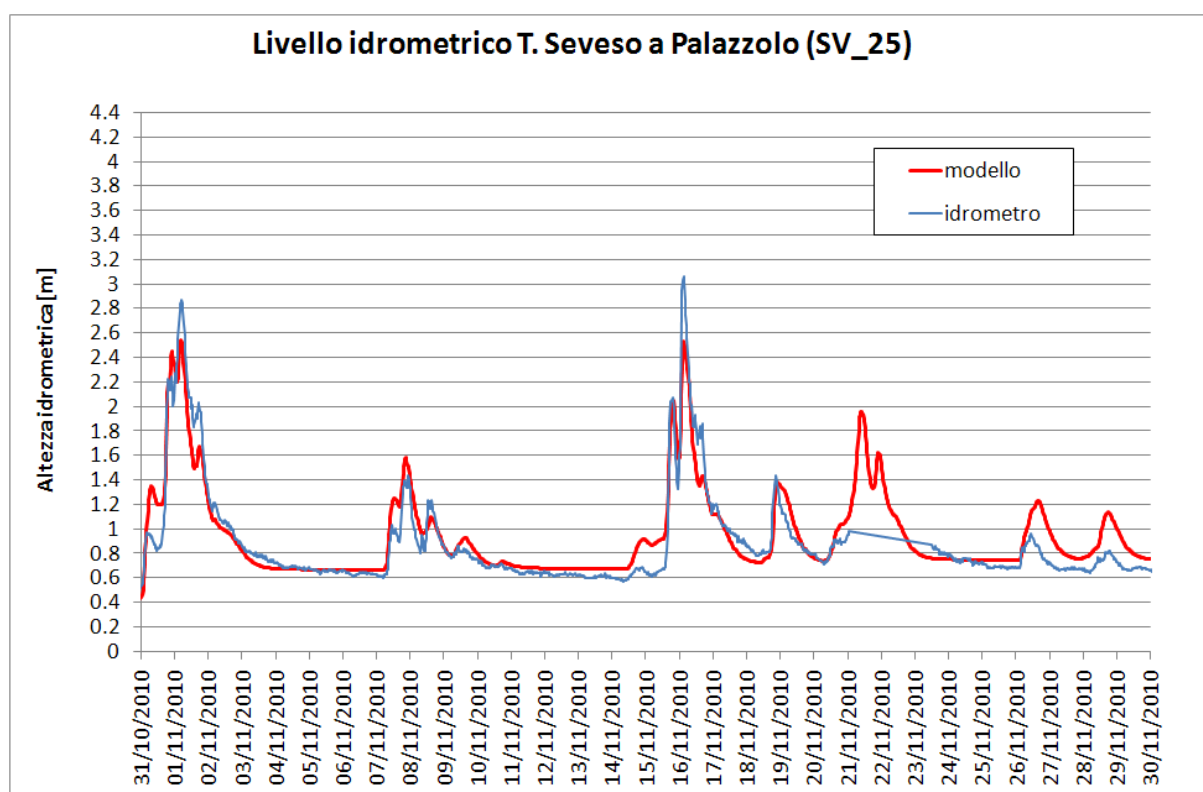


Figura 45 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

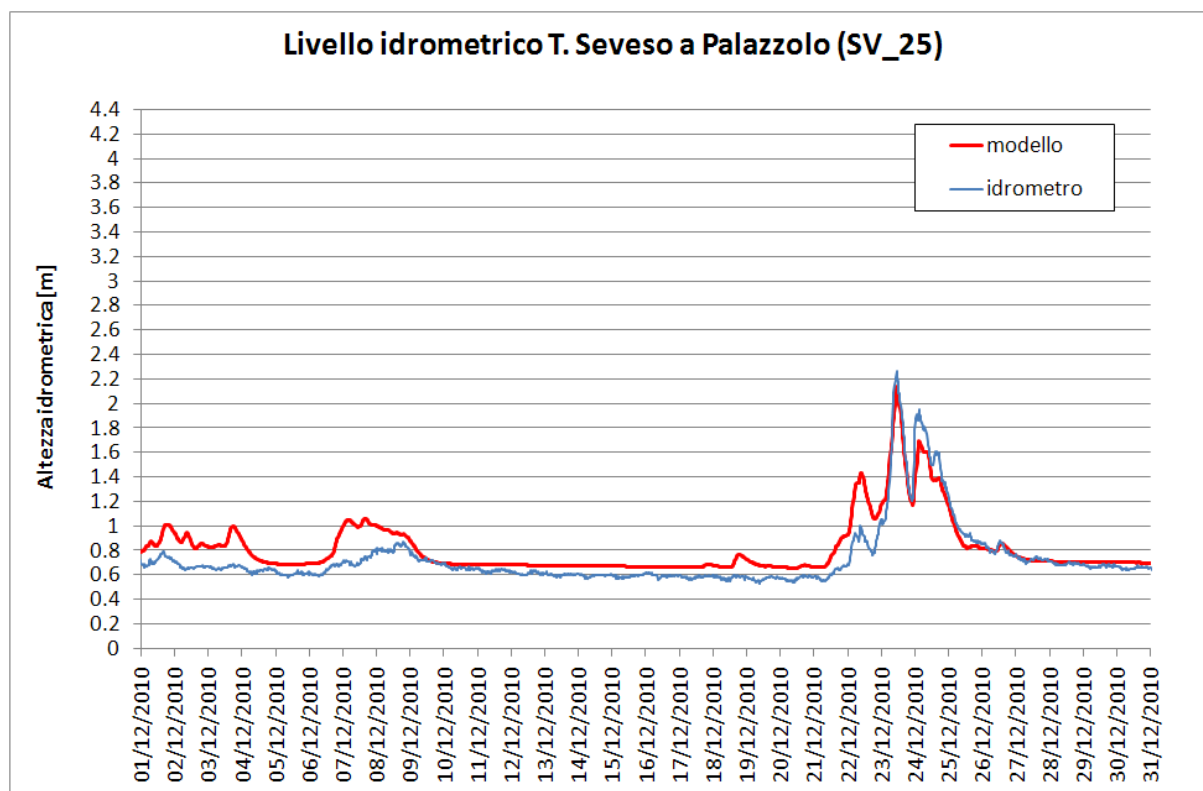


Figura 46 – Confronto tra i dati registrati dall'idrometro e i risultati del modello

Dal confronto fra i dati registrati ed i risultati del modello si può osservare come il modello, sulla base dei dati disponibili e della dinamica pluviometrica, risulti essere sufficientemente attendibile ed in grado di riprodurre abbastanza fedelmente il reale comportamento del sistema fluviale oggetto dello studio, confermando quindi le scelte effettuate in fase di costruzione del modello stesso sia in termini di struttura idraulica complessiva e puntuale, sia in termini di parametri modellistici. Questo fatto si verifica soprattutto in corrispondenza degli idrometri di Cesano Maderno e di Palazzolo, i quali sono posti nella parte terminale del bacino posto a monte della presa del C.S.N.O..

4. ASSETTO DI PROGETTO DEL T. SEVESO

Il presente capitolo riporta i criteri guida ed i risultati derivanti dalla ricerca dell'assetto di progetto del torrente Seveso, finalizzato a garantire la messa in sicurezza sia dei territori urbanizzati posti in fregio al corso d'acqua sia del tratto tombinato all'interno della città di Milano (zona Niguarda), nella quale si verificano con elevatissima frequenza (più volte all'anno) inaccettabili fenomeni di esondazione.

4.1 LINEE GUIDA DELL'ASSETTO DI PROGETTO

Sulla base delle analisi idrologica e idraulica relative allo stato di fatto sono state condotte le indagini volte ad individuare le migliori soluzioni progettuali idonee ad una completa sistemazione idraulica del corso d'acqua, supportando le scelte con analisi di fattibilità tecnica, economica ed ambientale delle opere.

Gli interventi devono tenere in conto delle caratteristiche prevalentemente naturali del corso d'acqua nel tratto fino a Lentate sul Seveso e delle pesanti modificazioni antropiche intervenute nel tratto tra il comune di Lentate sul Seveso fino a nord di Milano.

Come già esposto nell'analisi dello stato di fatto, nel primo tratto le criticità presenti durante gli eventi di piena sono legate essenzialmente alla presenza di alcuni manufatti insufficienti che creano allagamenti localizzati in aree urbanizzate e all'interessamento di aree golenali destinate a coltivazioni.

Il criterio di progetto in tale zona è associato prevalentemente al mantenimento delle aree di allagamento naturale che interessano le zone golenali, ma migliorando, ove possibile, le capacità di laminazione dell'onda di piena, e nella difesa dagli allagamenti delle aree in cui tali fenomeni risultano incompatibili (centri abitati).

Il tratto compreso tra Lentate sul Seveso e Milano presenta ben maggiori livelli di problematicità, soprattutto con riferimento al tratto prossimo al capoluogo lombardo: l'alveo del Seveso, a causa della pressione antropica, ha assunto una conformazione tale per cui si ha una diffusa insufficienza delle sezioni e dei manufatti nei riguardi delle portate di piena, anche di non elevata entità, soprattutto nel tratto terminale, cioè quando il corso d'acqua si avvicina e si immette in Milano: la portata al colmo con tempo di ritorno pari a 100 anni in ingresso a Milano è pari a circa $140 \text{ m}^3/\text{s}$ (dallo studio *AdBPo 2004*), mentre la portata compatibile con il tratto tombinato è pari a circa $30\div 40 \text{ m}^3/\text{s}$.

Secondo lo “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del torrente Seveso nella tratta*

compresa tra Palazzolo e Milano nell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona" (2011) condotto da Metropolitana Milanese S.p.A. per conto del Comune di Milano, con riferimento alla tombinatura del Seveso in Milano si ha che:

- la tombinatura è stata progettata e realizzata a partire dalla fine del '800 con condizioni idrologiche e idrauliche di progetto legate alle previsioni di inizio '900;
- è impossibile adeguare e potenziare la capacità idraulica del sistema Seveso – Redefossi;
- si è proceduto a condurre una serie di simulazioni mediante modello matematico attraverso le quali si sono potute valutare nel dettaglio le caratteristiche dei profili di corrente che si genererebbero all'interno del sistema idraulico in esame in corrispondenza del passaggio di predefinite portate di piena; il confronto tra i risultati delle differenti simulazioni ha consentito di confermare pari a $40 \text{ m}^3/\text{s}$ la portata massima transitante nel sistema Seveso – Redefossi;
- i risultati della simulazione allo stato attuale, sono confermati dalle periodiche misure di controllo effettuate dai tecnici dell'Area Acque Reflue in corrispondenza all'idrometro di piazza Tricolore sul cavo Redefossi ove si riscontrano costantemente, nel corso degli eventi di piena, i valori idrometrici corrispondenti all'entrata in pressione del corso d'acqua (i livelli raggiungono l'intradosso della volta del manufatto).

Poiché, come già messo in evidenza nel suddetto studio dell'Autorità di Bacino del 2004, l'apporto meteorico proveniente dal territorio dei comuni a valle del C.S.N.O. supera da solo tale capacità idraulica di portata del tratto tombinato del sistema Seveso-Redefossi, è necessario che gli interventi da prevedersi nell'assetto di progetto dell'intera asta del T. Seveso a monte della presa del C.S.N.O. consentano di annullare la portata nel Seveso a valle di tale opera di presa. Questo implica che la portata in arrivo da monte, convenientemente limitata per effetto di importanti laminazioni poste lungo l'asta del Seveso, deve poter essere totalmente deviata nel C.S.N.O..

Più precisamente, dato che la portata di piena a 100 anni di tempo di ritorno nel T. Seveso a monte della presa del C.S.N.O. è pari a circa $150 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre la capacità idraulica del primo tratto del C.S.N.O. è pari a $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (dalla presa fino a monte dell'intersezione con il T. Garbogera, in funzione degli interventi di raddoppio realizzati), occorre ridurre con laminazioni la portata di piena del Seveso a monte di tale opera di presa.

Inoltre, considerato che il progetto definitivo relativo ai *“Lavori di adeguamento funzionale*

del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – MI.E.781” di AIPO e della Provincia di Milano (attualmente in fase di gara di appalto integrato), ha come obbiettivo quello di garantire nel C.S.N.O. nella sezione immediatamente a monte dell’immissione del sfioro del T. Garbogera, una portata massima di $25 \text{ m}^3/\text{s}$, occorre prevedere che anche lungo il primo tratto del C.S.N.O. siano disposte opere di laminazione in grado di ridurre la portata di piena centennale derivata dal Seveso fino a tale valore.

Per quanto concerne l’insieme delle caratteristiche influenti sugli interventi di progetto, sicuramente la zona di alveo canalizzato ed urbanizzato nel tratto tra Lentate sul Seveso fino al limite dello studio (presa del C.S.N.O.) rappresenta l’ambito dove gli interventi risentono maggiormente dei vincoli esistenti e dove pertanto risulta più difficile l’indicazione di soluzioni idonee. In particolare si è riscontrata l’estrema difficoltà di reperire aree di notevole estensione da adibire a cassa di espansione, a causa soprattutto della profondità del fondo alveo rispetto al piano campagna e della notevole pressione antropica che si spinge frequentemente sino alle sponde. Si è inoltre verificato come sia l’alto bacino del torrente Seveso (sino a Carimate) sia il bacino del torrente Certesa (sino a Meda) non presentino caratteristiche morfologiche tali da poter impostare estesi sistemi di laminazione in grado di ridurre notevolmente le portate verso valle.

L’individuazione di laminazioni mediante volumi d’invaso esterni alla regione fluviale, in grado di fornire adeguati volumi di espansione per la riduzione delle portate in alveo, è stata impostata in base alla seguente valutazione.

Poiché l’onda di piena del T. Seveso ($T=100$ anni) a monte del C.S.N.O. è caratterizzata da un volume di circa $6,7 \text{ Mm}^3$ (Figura 40) e considerando di poter lasciar proseguire verso valle una portata massima di $25 \text{ m}^3/\text{s}$ (0 a valle della presa del C.S.N.O. e $25 \text{ m}^3/\text{s}$ nel C.S.N.O. a monte dell’immissione dello sfioro del T. Garbogera), il volume di laminazione necessario è pari, in prima approssimazione a circa $4,4 \text{ Mm}^3$.

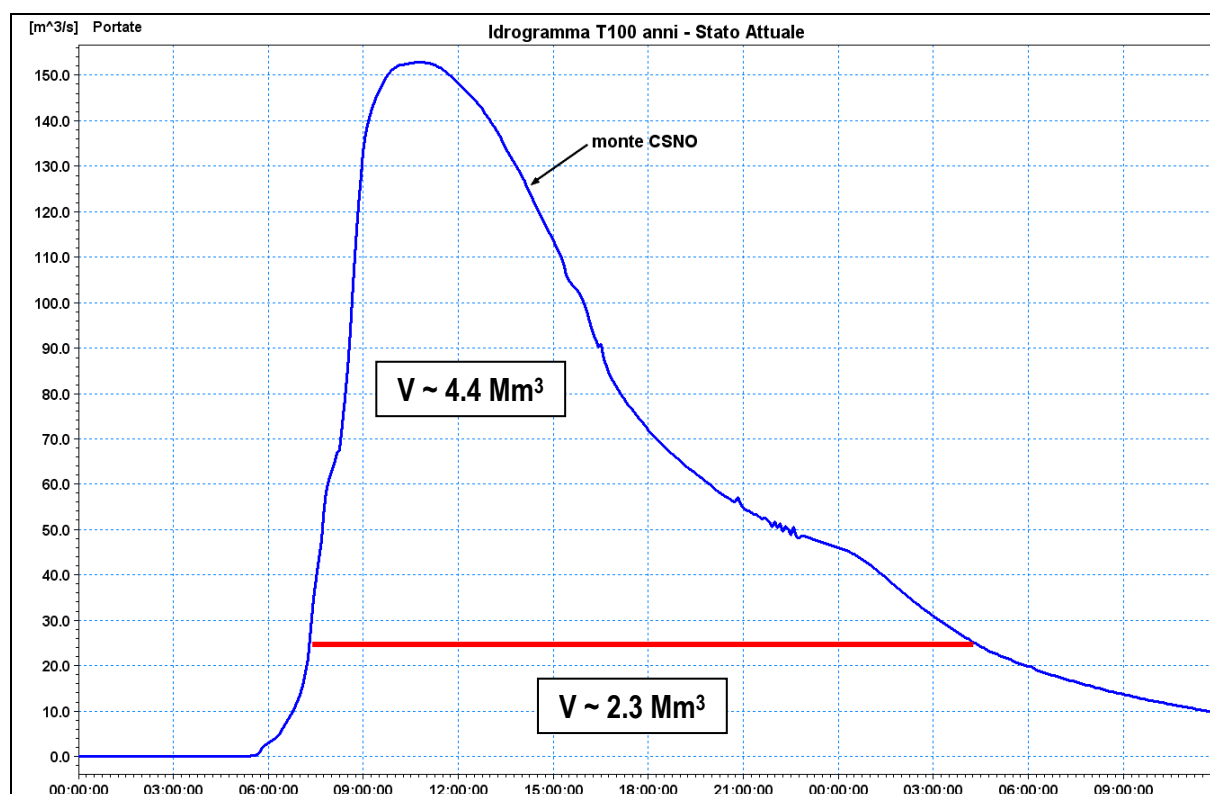


Figura 47 – Idrogramma di piena del T. Seveso a monte della presa del C.S.N.O.. La linea rossa rappresenta il limite della portata che può proseguire nel C.S.N.O. a valle di Senago (intersezione con il T. Garbogera)

In tale scenario, analizzando la situazione del medio bacino del torrente, si è riscontrato che l'unica consistente possibilità, data la limitazione degli spazi disponibili, è quella di realizzare i desiderati volumi di laminazione mediante scavi piuttosto profondi in aree da attrezzare e restituire alla fruizione pubblica come aree verdi (v. paragrafo successivo). Solo tramite tali opere è infatti possibile recuperare le volumetrie necessarie, dal momento che l'eventuale diversa soluzione di reperire tali volumetrie "in elevazione", cioè mediante classiche casse di espansione con arginature e manufatti di regolazione, imporrebbe "de-urbanizzazioni" del territorio di tale entità (vastità delle superfici da asservire) da risultare di impossibile attuazione.

4.2 LA LAMINAZIONE DELLE PIENE IN AREE MULTISCOPO

La laminazione delle piene, antica e spontanea misura di contenimento delle piene, merita una citazione particolare per le nuove impostazioni oggi perseguite.

Intanto è da rimarcare che la dinamica conseguente all'invaso temporaneo di un'onda di piena determina effetti sia nella riduzione della portata al colmo, obiettivo principale della

laminazione, sia nel rallentamento della piena convogliata a valle con conseguente allungamento del tempo di concentrazione, che, a scala di bacino, nella combinazione degli idrogrammi provenienti dai diversi sottobacini, può contribuire a realizzare il desiderato abbattimento complessivo della piena.

Inoltre la laminazione trova nella odierna pianificazione idraulica del territorio applicazioni multiscopo di grande impegno progettuale e gestionale. Occorre infatti osservare che la necessità di laminare le piene è tanto più distribuita nel bacino quanto più è intenso lo sviluppo urbanistico e le conseguenti crescenti penalizzazioni nel convogliamento delle piene. Alla distribuzione delle insufficienze idrauliche lungo il reticolo idrografico non si può che rispondere con una parallela distribuzione degli invasi di laminazione. Pertanto le pianificazioni idrauliche sovente individuano sistemi complessi di invasi di laminazione, con concatenazioni in serie o in parallelo, in linea o fuori linea, aventi lo scopo di ricondurre le onde di piena che si sviluppano e propagano nelle diverse aste del reticolo ai limiti imposti dai vincoli presenti lungo di esse.

La pianificazione idraulica moderna, quindi, “progetta” le onde di piena di assegnato tempo di ritorno, individuando mediante idonei modelli di simulazione idrodinamica le concatenazioni ottimali di interventi atti ad ottenere i desiderati abbattimenti e rallentamenti delle portate al colmo.

In molte situazioni la scelta delle soluzioni ottimali, necessariamente numerose e spesso non chiaramente classificabili mediante le usuali analisi costi-benefici, diviene una difficile sfida che richiede lo sforzo congiunto, oltre che dell’ingegnere idraulico, anche di ambientalisti, urbanisti, paesaggisti, economisti, sociologi, oltre che naturalmente delle determinanti decisioni del livello politico.

Inoltre, non solo è difficile la scelta sulla combinazione e concatenazione degli interventi di laminazione, ma è anche difficile la scelta sulla tipologia di ciascuno di essi a causa della concomitanza di interessi e ricadute presenti o prevedibili nelle aree prescelte per accogliere gli invasi. Ciò è ben rappresentato nel grafico sotto riportato (Walesh, 1989; USEPA, 1999) che mostra come con il passare del tempo le finalità degli invasi di laminazione si siano progressivamente ampliate, passando da invasi destinati al solo controllo delle piene (invasi monoscopo) a invasi a scopi multipli studiati anche per finalità urbanistiche, paesistiche o di fruizione, ovvero destinate all’affinamento della qualità delle acque di piena o anche al recupero e riutilizzo delle stesse acque invase.

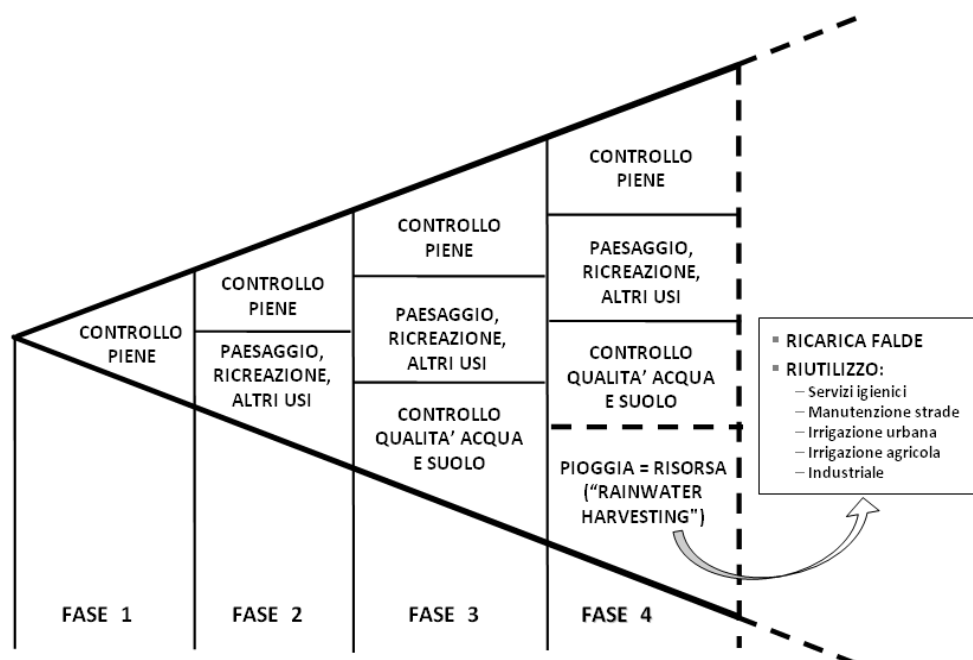


Figura 48 – Il progressivo ampliamento delle finalità degli invasi di laminazione [adattata da: Walesh, 1989; USEPA, 1999]

Una recente ricerca multidisciplinare, svolta nel 2005-2008 nell'ambito del bando Ambiente della Fondazione CARIPLO e che ha visto diversi partner sia istituzionali (Regione Lombardia e i Comuni interessati) sia universitari (Centro Studi Idraulica Urbana, Politecnico di Milano e Università degli Studi – Bicocca) collaborare con il Parco del Lura, ha avuto per oggetto la messa a punto di vari criteri progettuali integranti i molteplici aspetti che attengono alla valorizzazione e gestione delle aree destinate agli interventi di protezione idraulica lungo il torrente Lura. Tali criteri si articolano infatti non solo negli aspetti idraulici ma, con pari rilevanza, anche in quelli riguardanti la creazione di idropaesaggi atti a permettere il miglioramento della qualità delle acque e a valorizzare le aree di laminazione dal punto di vista ambientale, ricreativo, paesaggistico e agricolo a seconda della frequenza prevista per il loro allagamento.

Il caso pilota di studio è quello del complesso di vasche di laminazione da realizzarsi nell'area di Bregnano-Lomazzo (CO), primo in ordine cronologico fra i vari manufatti di laminazione previsti lungo il torrente Lura dagli studi dell'Autorità di Bacino del Po.

Dall'analisi multidisciplinare, che ha valorizzato le istanze presentate dai portatori di interesse locali, sono emersi diversi scenari di intervento, tutti equivalenti rispetto alla protezione idraulica, ma che si differenziano notevolmente in relazione alla destinazione di uso del territorio scelta come prioritaria.

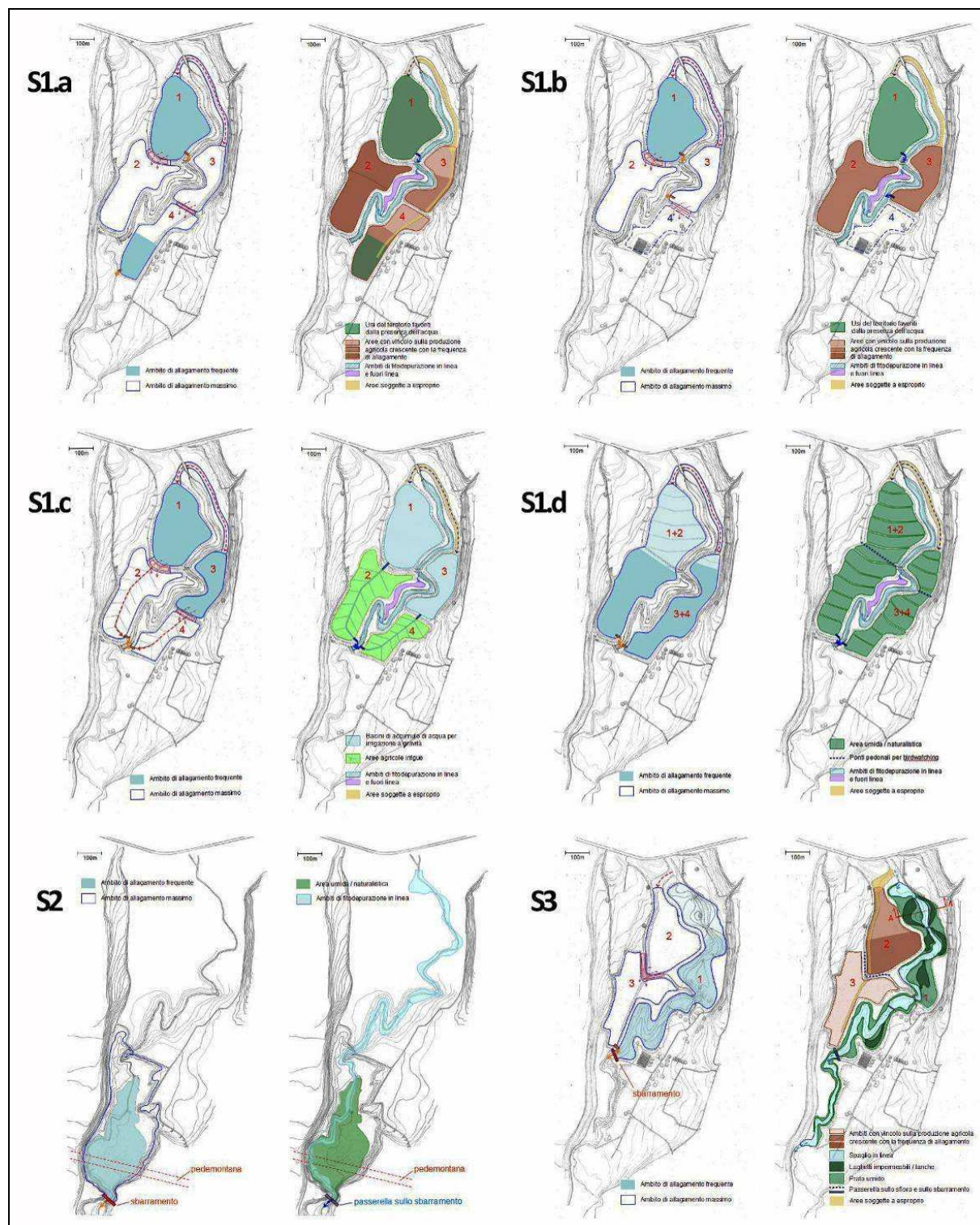


Figura 49 – Ricerca Fondazione Cariplo; CSDU, Politecnico di Milano, Università degli Studi Milano – Bicocca. Caso Pilota del T. Lura a Lomazzo – Bregnano. Confronto tra gli ambiti di allagamento frequente e gli usi del territorio ad essi associati nei diversi scenari proposti: S1.a: “Fuori linea - Minimi scavi/riporti”, S1.b: “Fuori linea - Risparmio suolo”, S1.c: “Fuori linea - Agricolo con irrigazione”, S1.d: “Fuori linea - Area umida/naturalistica”, S2: “In linea – Area umida e attuale produzione agricola”, S3: “Misto - Area umida e attuale produzione agricola”.

Ciascuno di essi si caratterizza quindi come un differente “idropaesaggio”, costruito sui manufatti di laminazione e prelievo e sul progetto di gestione quali-quantitativa dell’acqua. Specifica attenzione è stata dedicata alle procedure di concertazione con i soggetti portatori d’interesse sia istituzionali che non istituzionali. La complessità del processo da attivare dimostra come le decisioni attinenti agli interventi di difesa idraulica non possono prescindere da politiche di governo del territorio di ottica molto più ampia e generale.

Di seguito si riportano alcune fotografie relative al Parco Nord di Paderno Dugnano, il quale è stato ricavato all’interno di una cava d’inerti in cui è cessata l’attività estrattiva. La sistemazione che è stata fatta può essere riprodotta anche all’interno di aree di invaso in scavo, come quelle presentate nel presente studio. A tale proposito nella Figura 51 si riporta un rendering relativo all’invaso previsto a Senago lungo il C.S.N.O. (v. paragrafo 4.3.6).



Figura 50 – Foto del Parco Nord a Paderno Dugnano (MI)



Figura 51 – Rendering dell’invaso di laminazione proposto a Senago

4.3 INTERVENTI DI LAMINAZIONE PREVISTI

4.3.1 I possibili invasi di laminazione analizzati

In base a quanto affermato in precedenza, si sono ricercati lungo l'asta del T. Seveso i possibili siti ove poter realizzare le opere di laminazione necessarie al riassetto idraulico.

In primo luogo sono state prese in considerazione le attuali aree soggette a fenomeni di esondazione, che non necessitano di interventi di messa in sicurezza, in quanto già oggi caratterizzate da una destinazione d'uso del suolo compatibile con i fenomeni di esondazione (es. agricolo, parco, ecc.).

Successivamente si è verificata la disponibilità di aree, attualmente non interessate da fenomeni di esondazione e poste anche non direttamente in fregio al corso d'acqua, ove prevedere la realizzazione di invasi di laminazione. Dato l'attuale contesto di uso del suolo (le aree libere da urbanizzazioni sono solo residuali) e data la notevole entità dei volumi di laminazione necessari ($\sim 4,4 \text{ Mm}^3$), tali invasi di laminazione possono essere realizzati in scavo, con profondità massime rispetto al piano campagna di circa $20 \div 25 \text{ m}$.

Nella Figura 52 si riporta una planimetria del bacino del Seveso con le possibili ubicazioni degli invasi di laminazione (sia in corrispondenza di aree esondabili che in scavo); nella medesima figura sono riportati altri due elementi: uno rappresenta l'unico invaso di laminazione attualmente presente, posto lungo l'alveo della Roggia Vecchia in Comune di Carugo (volume di laminazione pari a $80'000 \text{ m}^3$), mentre l'altro è l'intervento di laminazione a Varedo delle reti di drenaggio urbano facenti parte del sistema di collettamento fognario afferente al depuratore di Pero, in fase di studio da parte della società IANOMI (volume vasca di prima pioggia pari a $13'500 \text{ m}^3$ e vasca volano da $34'750 \text{ m}^3$).

Dall'analisi condotta non si è ritenuto possibile prevedere invasi di laminazione in scavo sia nell'alto bacino del torrente Seveso (sino a Carimate) sia all'interno del bacino del torrente Certesa (sino a Meda), in quanto tali porzioni di bacino non presentano caratteristiche morfologiche adatte (aree pianeggianti con quota del piano campagna prossimo alla quota della sponda del Seveso e non troppo distanti dal corso d'acqua).

Per quanto riguarda, invece, la porzione di bacino del T. Certesa a valle di Meda, non esistono aree libere da poter destinare alla realizzazione di un invaso di laminazione. Infatti, l'unica area libera da urbanizzazioni (Figura 53) sarebbe quella dove nel 1976 si è verificato il gravissimo incidente nell'azienda ICMESA, che provocò la fuoriuscita di una nube di diossina; attualmente l'area è stata convertita a parco (Parco Naturale Bosco delle Querce).

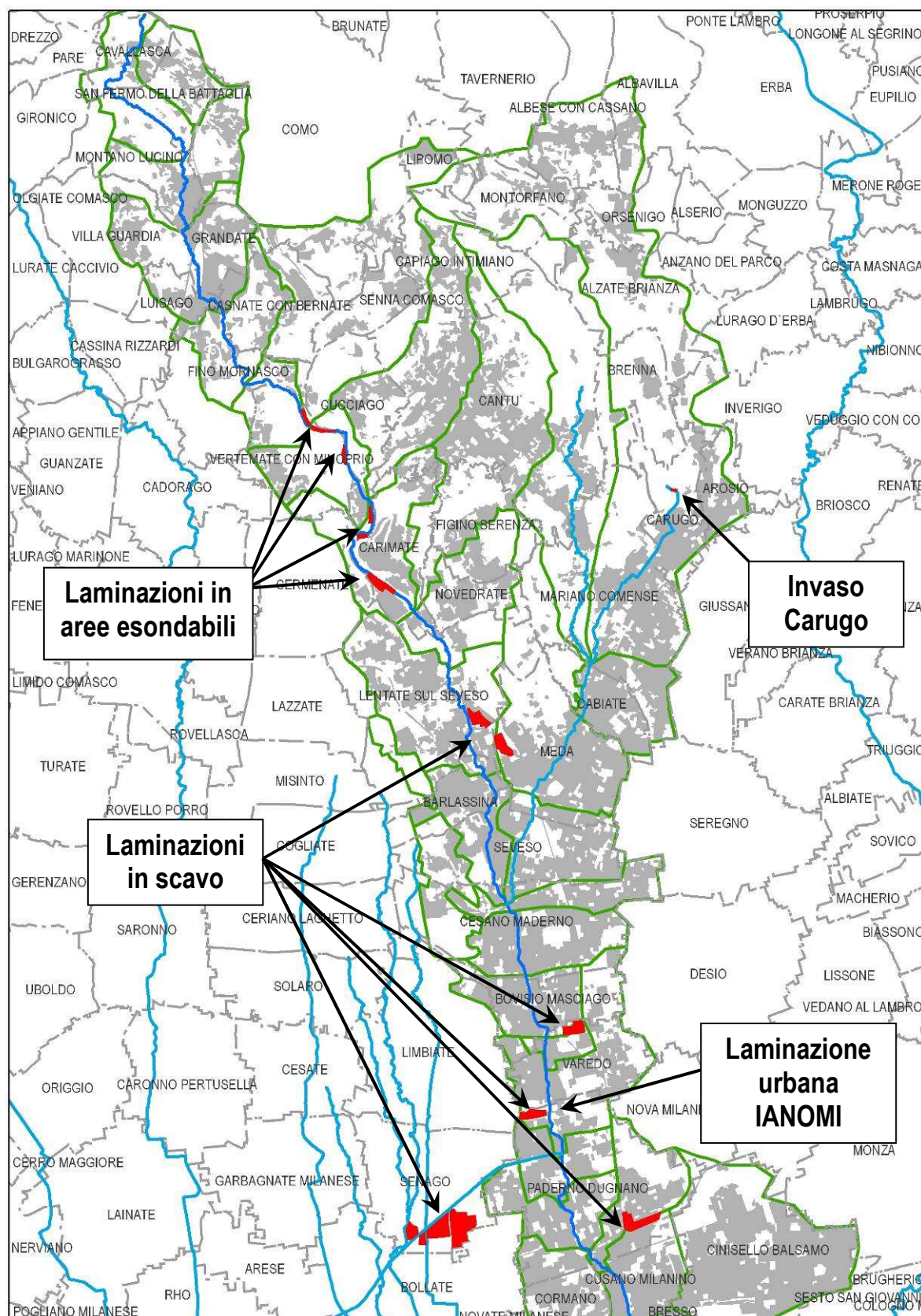


Figura 52 – Ubicazione dei possibili invasi di laminazione analizzati nel presente studio

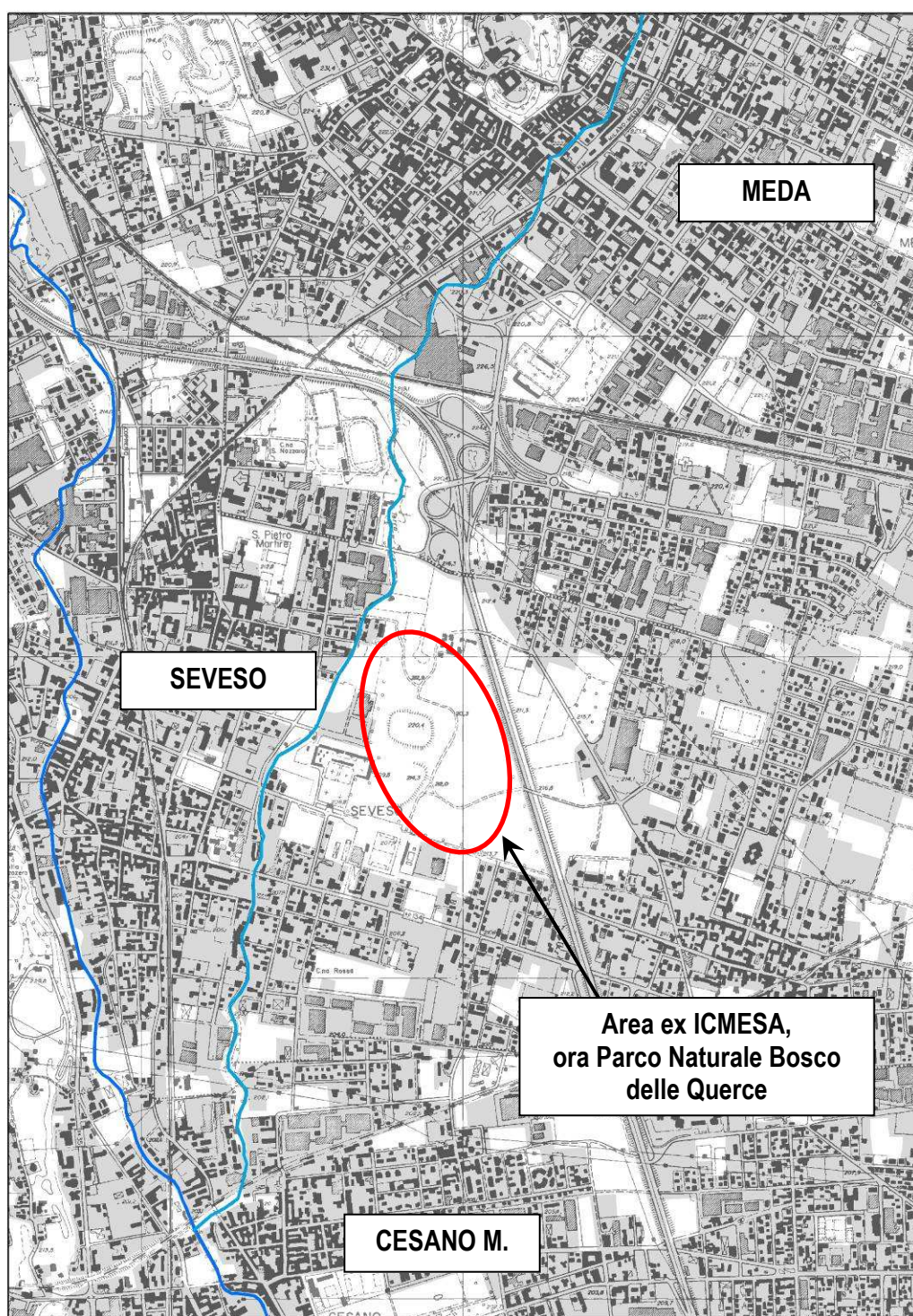


Figura 53 – T. Certesa tra Meda e la confluenza in Seveso con indicata l’area dell’ex-ICMESA, ora Parco Naturale Bosco delle Querce

Le aree di laminazione previste nelle aree esondabili sono ubicate in fregio al T. Seveso, nei comuni di Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate (Figura 54).

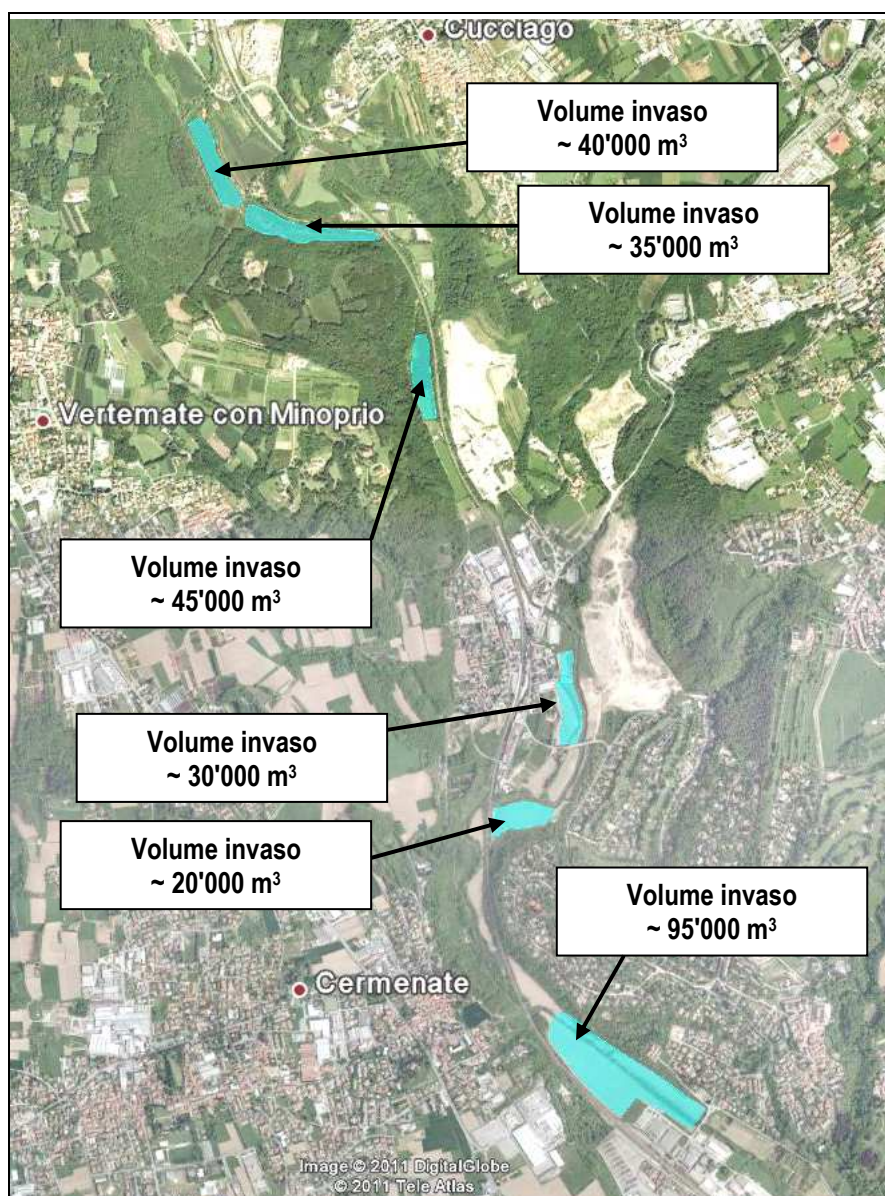


Figura 54 – Invasi di laminazione in aree esondabili nei comuni di Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate

I possibili invasi di laminazione in scavo, invece, sono posti nei comuni di Lentate sul Seveso, Meda (in corrispondenza della cava dove lo studio *AdBPo 2004* aveva previsto una delle opere laminazioni, caratterizzata da un volume di circa $1,7 \text{ Mm}^3$), Varedo, Paderno Dugnano e Senago). Nelle figure seguenti si riporta l'ubicazione di ciascuna delle suddette opere di laminazione, con l'indicazione del volume massimo invasabile, ottenuto come prodotto tra la superficie media dell'area per una profondità di invaso di circa 20 m.



Figura 55 – Invaso di laminazione in comune di Lentate sul Seveso



Figura 56 – Invaso di laminazione previsto nello studio AdBPo 2004, in comune di Meda

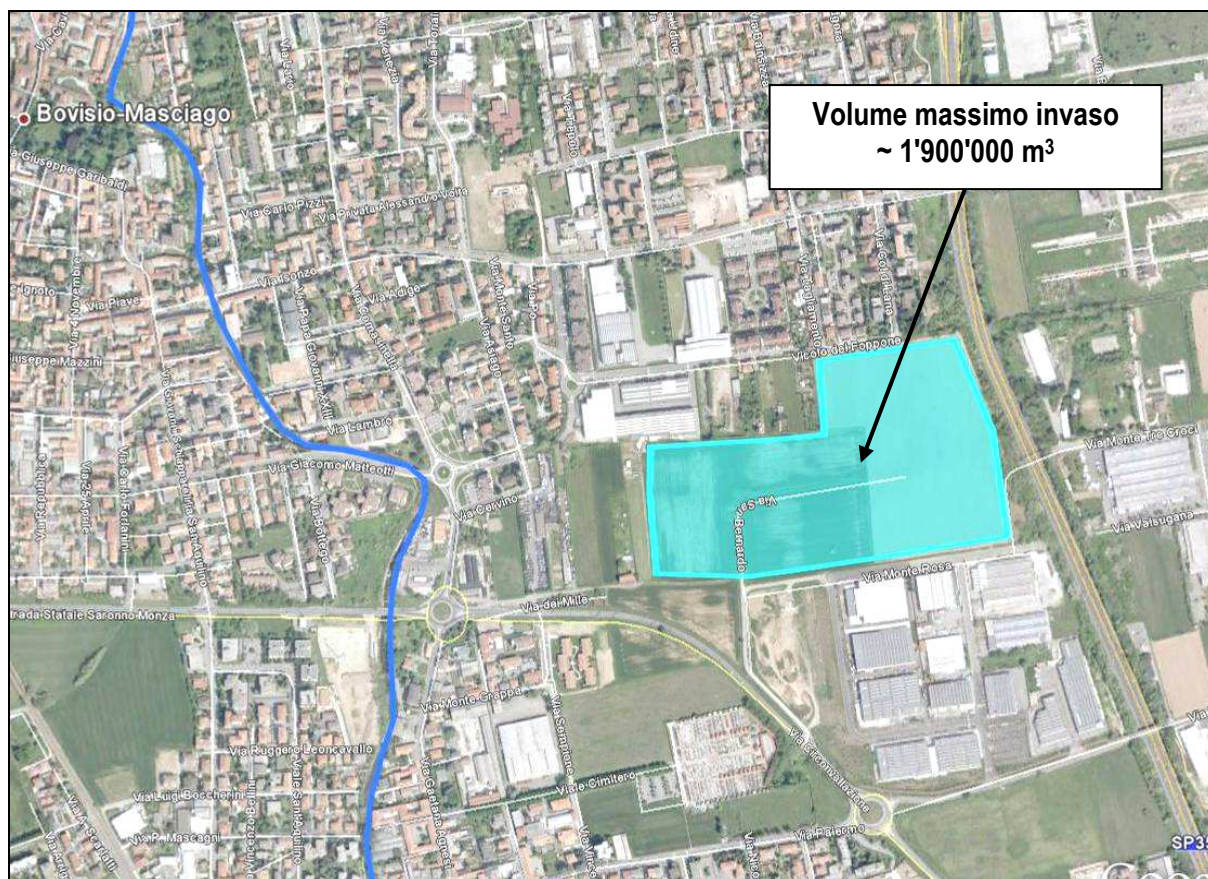


Figura 57 – Invaso di laminazione in comune di Varedo

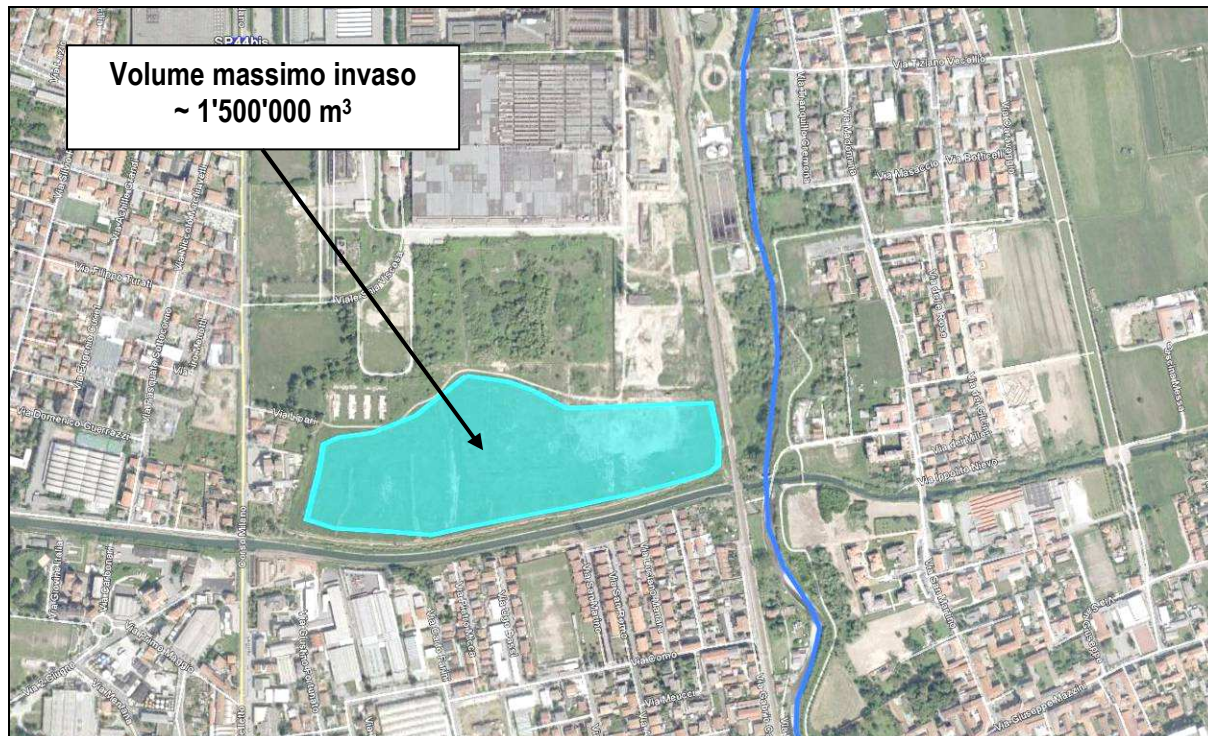


Figura 58 – Invaso di laminazione in comune di Paderno Dugnano, a monte Canale Villoresi

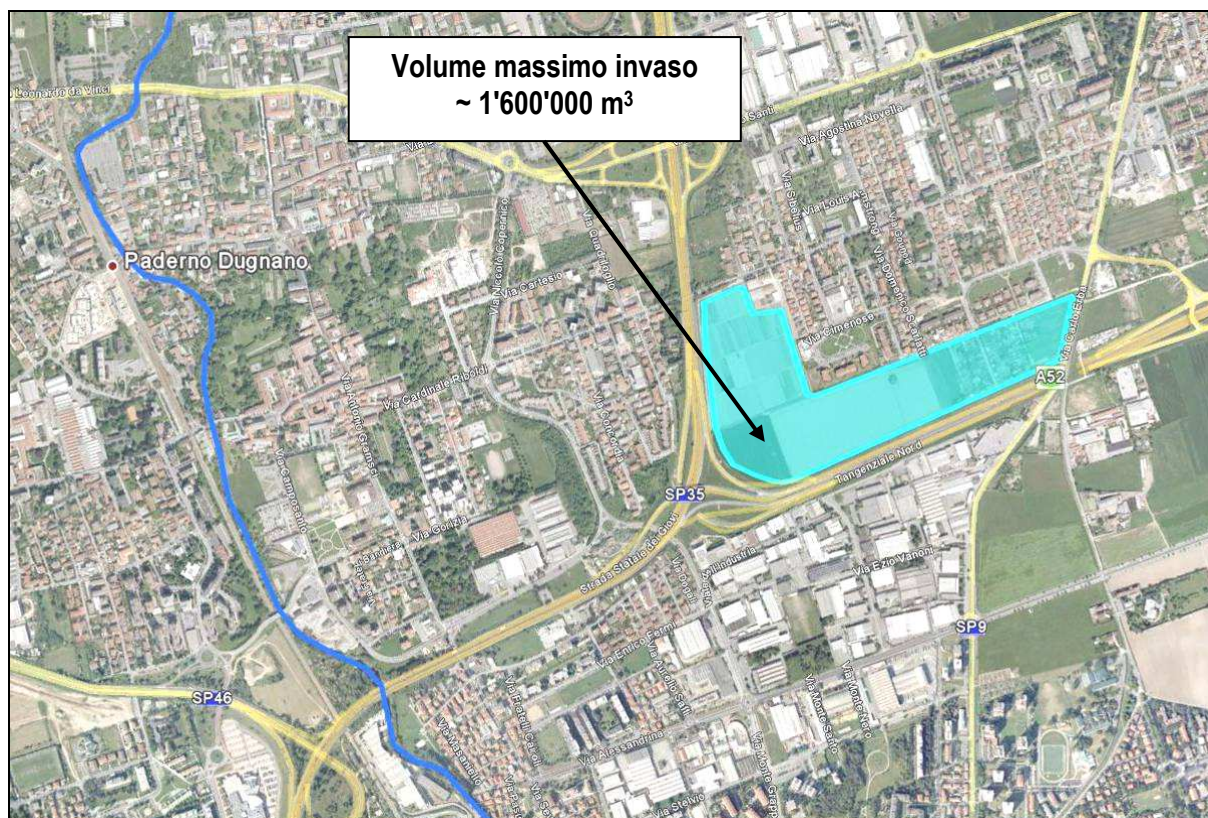


Figura 59 – Invaso di laminazione in comune di Paderno Dugnano nei pressi dello svincolo tra la tangenziale nord e la superstrada Milano-Meda

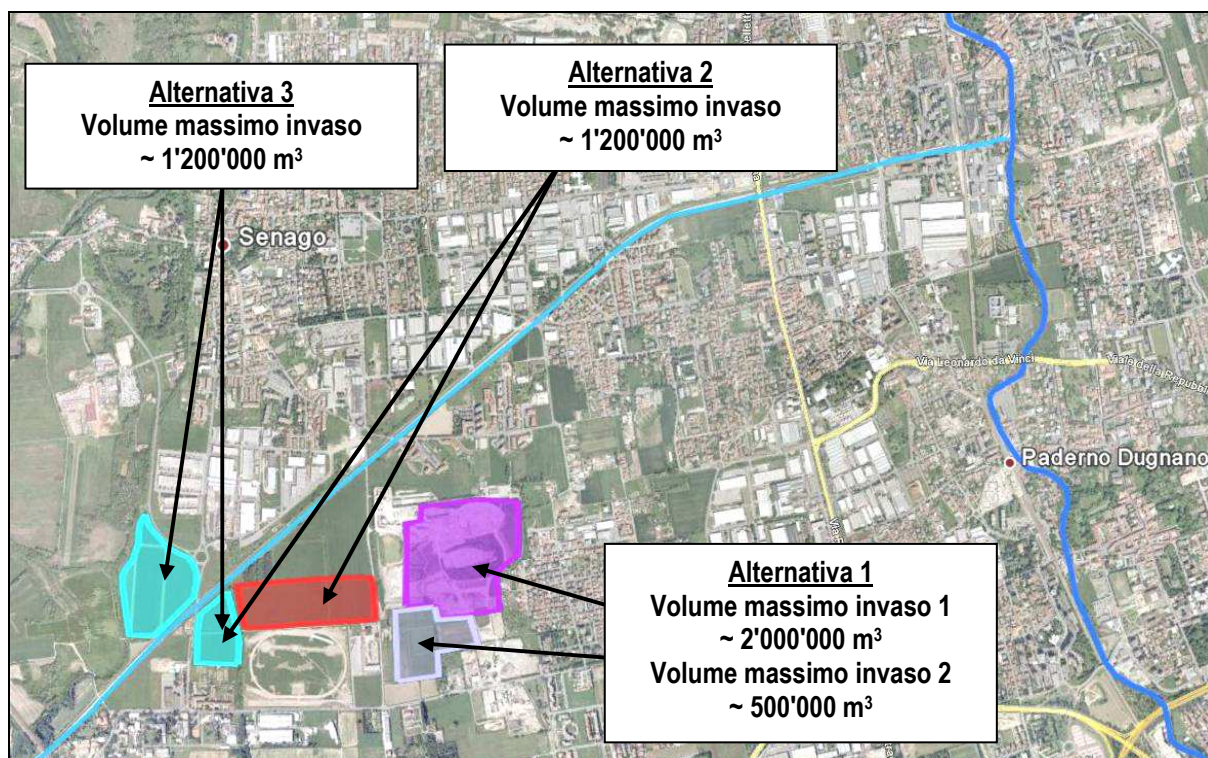


Figura 60 – Invasi di laminazione in comune di Senago, lungo il C.S.N.O.

Tra i diversi invasi in scavo così individuati, alcuni sono da considerare tra loro alternativi, data la reciproca vicinanza. I raggruppamenti all'interno dei quali è stata poi individuata la migliore alternativa sono:

- Lentate sul Seveso – Meda (Figura 61);
- Varedo – Paderno Dugnano (Figura 62);
- Senago (Figura 63).

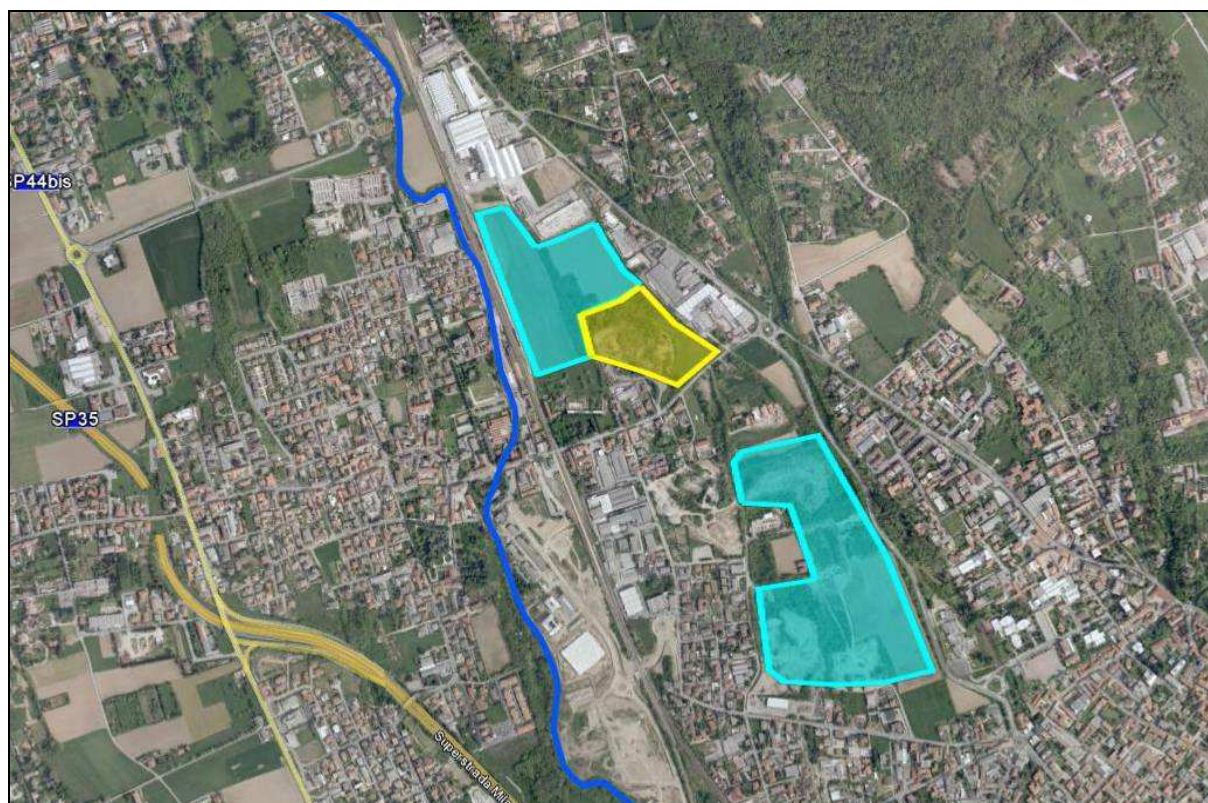


Figura 61 – Invasi di laminazione di Lentate sul Seveso e Meda.

In particolare, tra i due invasi possibili a Lentate sul Seveso e Meda, si ritiene che il primo possieda caratteristiche di migliore fattibilità, essendo posizionato più vicino al torrente Seveso con più agevole progetto delle opere di alimentazione e di scarico dell'invaso; inoltre l'invaso di Meda, che per essere all'interno di un'area di cava avrebbe il vantaggio di avere minori oneri di scavo, è ubicato in stretta prossimità di aree residenziali, mentre quello di Lentate è posto in un'area circondata da insediamenti industriale e commerciali.

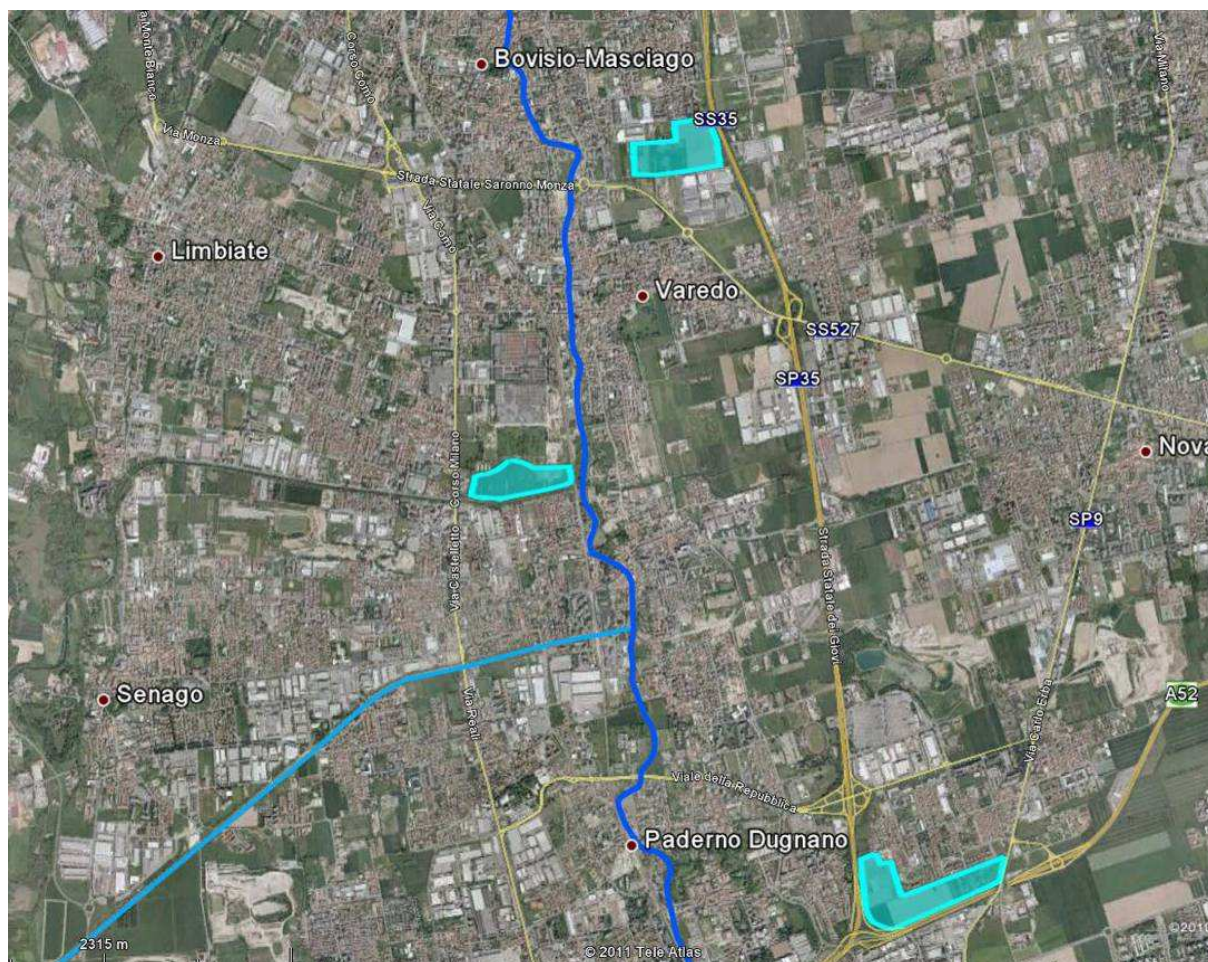


Figura 62 – Invasi di laminazione di Varedo e Paderno Dugnano.

Tra i tre invasi ipotizzati a Varedo e Paderno Dugnano, si sono ritenuti maggiormente fattibili quello di Varedo e quello di Paderno Dugnano posto a monte del Canale Villoresi. Si è ritenuto infatti molto meno fattibile quello più a sud, in quanto risulta essere posto molto lontano dal torrente Seveso, con conseguente necessità di ingenti e difficili opere di alimentazione e scarico dell'invaso, sia dal punto di vista economico, che dal punto di vista realizzativo, dovendo di fatto attraversare una zona densamente urbanizzata.

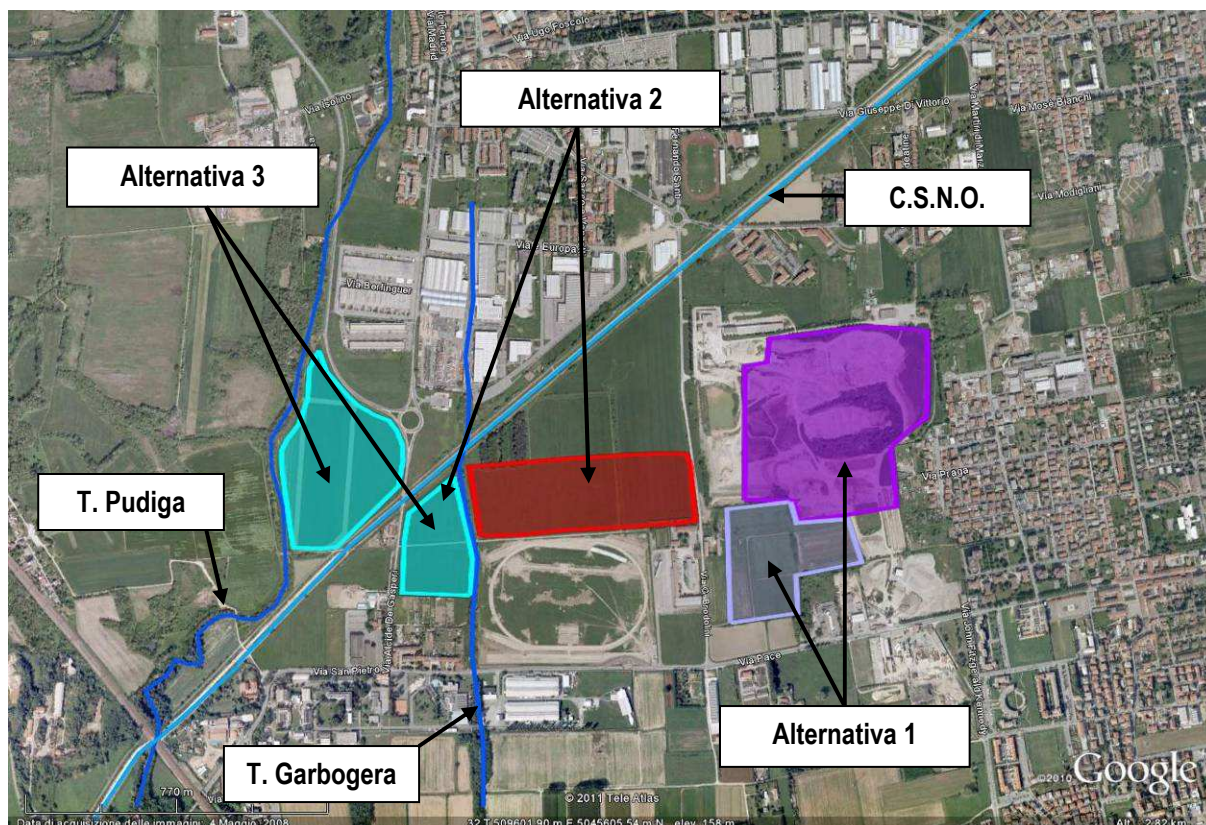


Figura 63 – Invasi di laminazione di Senago.

Per quanto riguarda le diverse alternative di invaso ipotizzate in prossimità del C.S.N.O., in Comune di Senago, di seguito vengono presentati i vantaggi e gli svantaggi di ciascuna di esse.

L'alternativa 1 presenta i seguenti vantaggi:

- essendo prevista all'interno di un'area di cava, gli oneri di scavo sono minori;
- è alimentabile dal tratto di C.S.N.O. già raddoppiato (capacità idraulica allo stato attuale pari a $60 \text{ m}^3/\text{s}$);

per contro presenta i seguenti svantaggi:

- la cava è ancora attiva;
- è vicina al centro abitato.

L'alternativa 2 presenta i seguenti vantaggi:

- è posta all'interno di un'area con destinazione d'uso agricolo;
- è lontana dal centro abitato;
- essendo posta in prossimità del T. Garbogera, la laminazione può rispondere anche alle necessità di sistemazione idraulica di tale corso d'acqua, che presenta nel tratto

di valle diverse situazioni di criticità;

per contro presenta il seguente svantaggio:

- non è direttamente adiacente al tratto di C.S.N.O. già raddoppiato; tuttavia tale svantaggio è superabile agevolmente e con costi ridotti, dal momento che, tenendo conto delle dimensioni della sezione trasversale (in base al progetto definitivo *“Lavori di adeguamento funzionale del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – M.I.E.781”* le sponde attuali sono in grado di contenere il livello idrico associato ad una portata di $60 \text{ m}^3/\text{s}$), basta intervenire sul rivestimento in calcestruzzo delle sponde prevedendone l'innalzamento fino al contenimento del livello idrico corrispondente alla portata di $60 \text{ m}^3/\text{s}$;

L'alternativa 3 presenta i seguenti vantaggi:

- essendo posta in prossimità del T. Pudiga e del T. Garbogera, la laminazione può rispondere anche alle necessità di sistemazione idraulica di tali corsi d'acqua, i quali presentano nel tratto di valle diverse situazioni di criticità (a valle, il T. Pudiga attraversa la futura Città della Salute e della Ricerca, sito ove lo studio di fattibilità del 2004 dell'Autorità di Bacino prevedrebbe un'area di laminazione);
- è posta all'interno del Parco delle Groane;
- è lontana dal centro abitato.

per contro presenta il seguente svantaggio:

- non è direttamente adiacente al tratto di C.S.N.O. già raddoppiato; tuttavia tale svantaggio è superabile agevolmente e con costi ridotti, dal momento che, tenendo conto delle dimensioni della sezione trasversale (in base al progetto definitivo *“Lavori di adeguamento funzionale del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – M.I.E.781”* le sponde attuali sono in grado di contenere il livello idrico associato ad una portata di $60 \text{ m}^3/\text{s}$), basta intervenire sul rivestimento in calcestruzzo delle sponde prevedendone l'innalzamento fino al contenimento del livello idrico corrispondente alla portata di $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dal confronto fra i suddetti vantaggi e svantaggi delle diverse soluzioni, si ritiene preferibile l'alternativa n. 3, in quanto la possibilità di poter utilizzare gli invasi non solo per la finalità di

controllo delle piene del T. Seveso, ma anche per contribuire alla realizzazione dell'assetto di progetto del T. Pudiga e del T. Garbogera, riveste una notevole importanza strategica, consentendo di fatto una maggior possibilità di gestione dell'intero sistema idraulico costituito da Seveso – C.S.N.O. – Garbogera – Pudiga.

Inoltre le aree dove si prevede di realizzare gli invasi in scavo dell'alternativa 3 erano già state indicate dall'Autorità di Bacino del fiume Po nello studio di fattibilità del 2004, come aree di laminazione per il T. Pudiga e per il T. Garbogera, come emerge dagli estratti della cartografia di tale studio (Figura 64 e Figura 65).

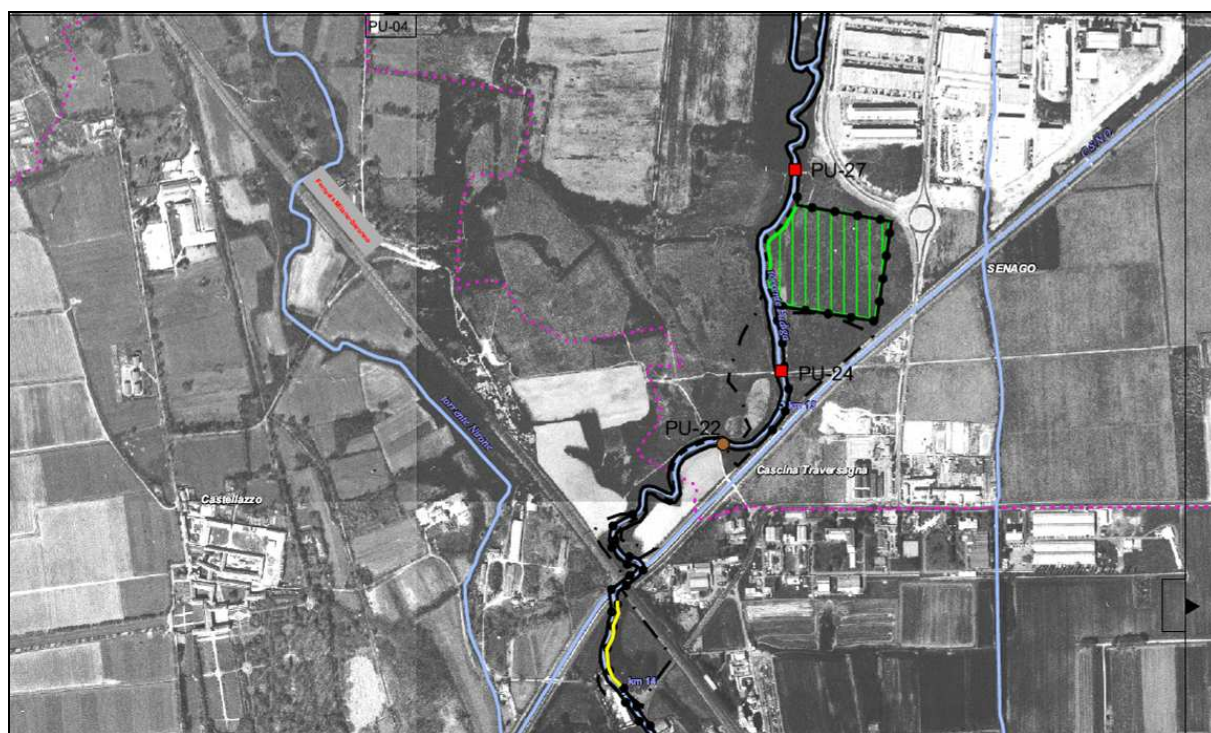


Figura 64 – Stralcio della cartografia degli interventi di sistemazione del T. Pudiga con riportata l'area di laminazione prevista, caratterizzata da una volumetria di $100'000 \text{ m}^3$ (AdBPo – 2004).

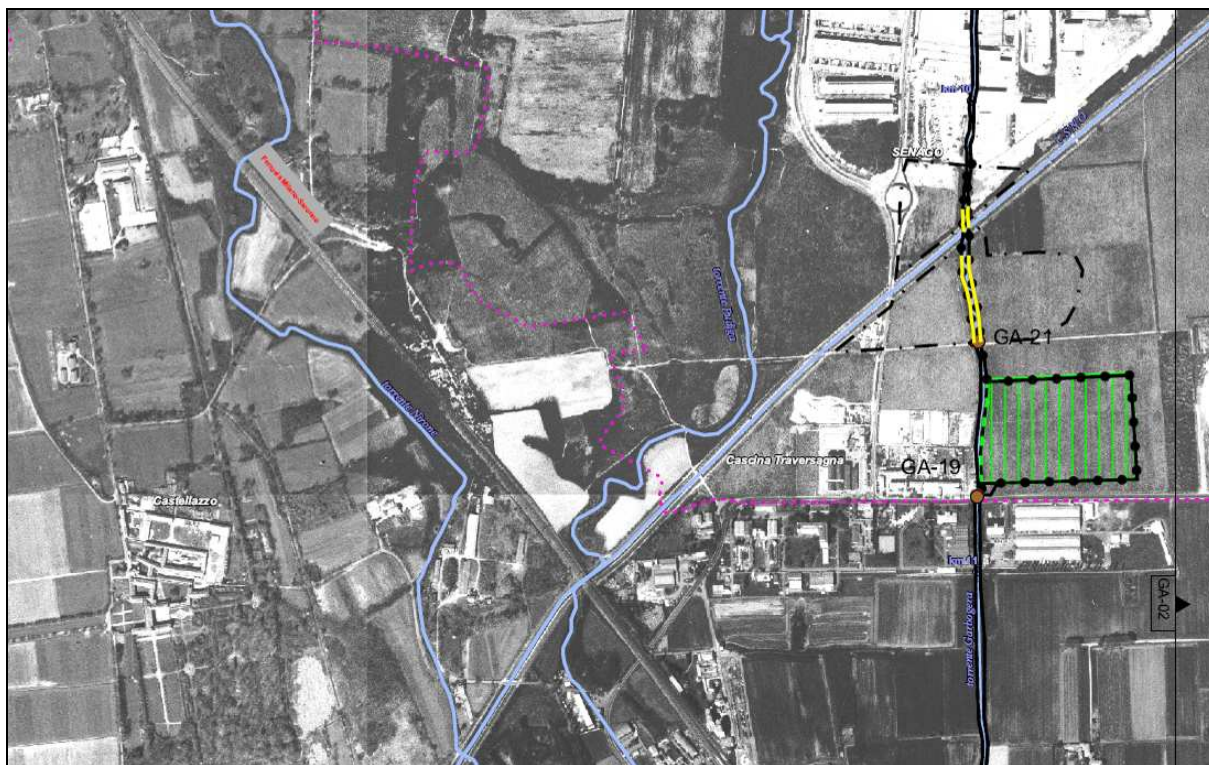


Figura 65 – Stralcio della cartografia degli interventi di sistemazione del T. Garbogera con riportata l'area di laminazione prevista, caratterizzata da una volumetria di 100'000 m³ (AdBPo – 2004).

In definitiva, fra i diversi invasi analizzati, quelli posti alla base dell'assetto di progetto del T. Seveso qui proposto sono i seguenti:

- aree esondabili di laminazione “in derivazione” a Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate;
- opere di laminazione in scavo lungo il T. Seveso a Lentate sul Seveso (Figura 66), Varedo (Figura 67), Paderno Dugnano (Figura 68);
- opere di laminazione in scavo lungo il C.S.N.O. a Senago (*alternativa n. 3* - Figura 69).

Nel paragrafo seguente vengono presentati in maggior dettaglio tali interventi.

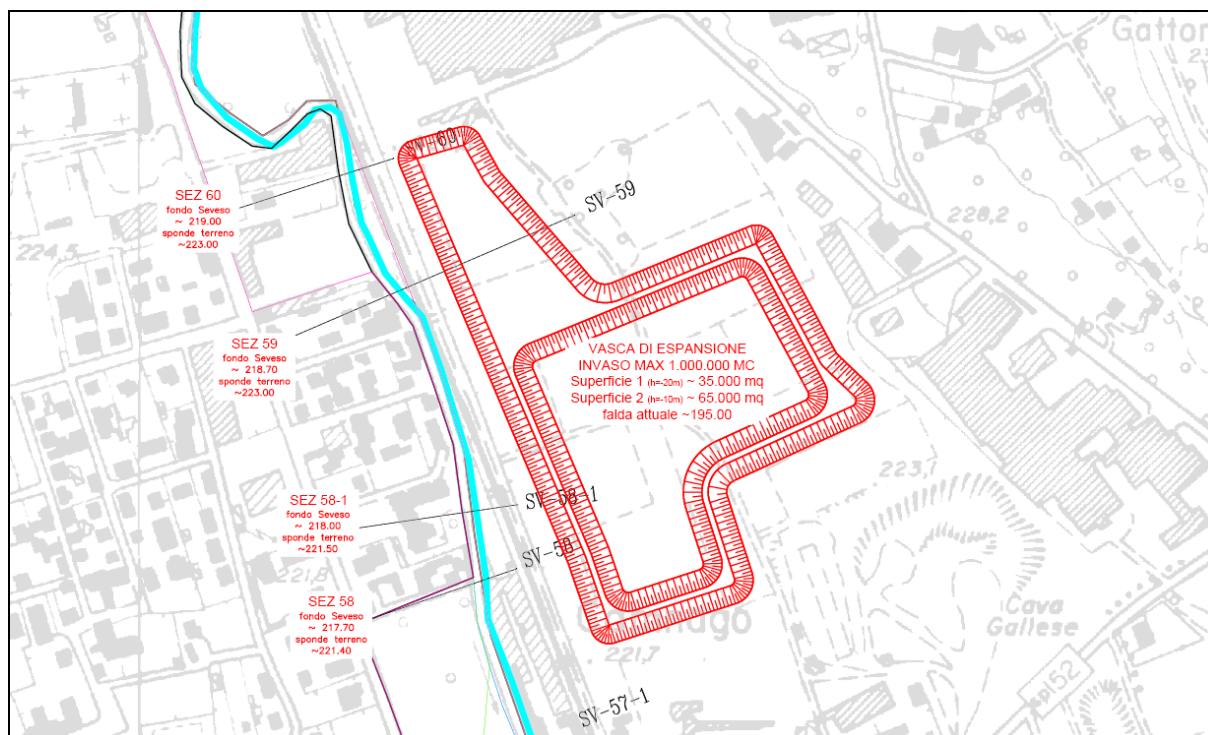


Figura 66 – Invaso di laminazione a Lentate su Seveso con una configurazione plano-altimetrica che consente di ottenere un volume d'invaso massimo di 1'000'000 m³

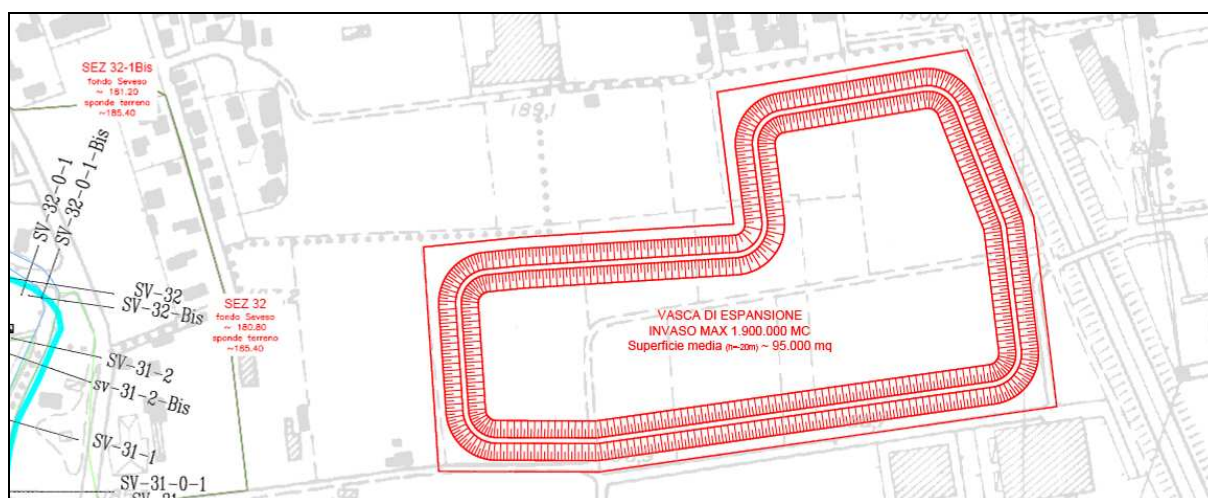


Figura 67 – Invaso di laminazione a Varedo con una configurazione plano-altimetrica che consente di ottenere un volume d'invaso massimo di 1'600'000 m³

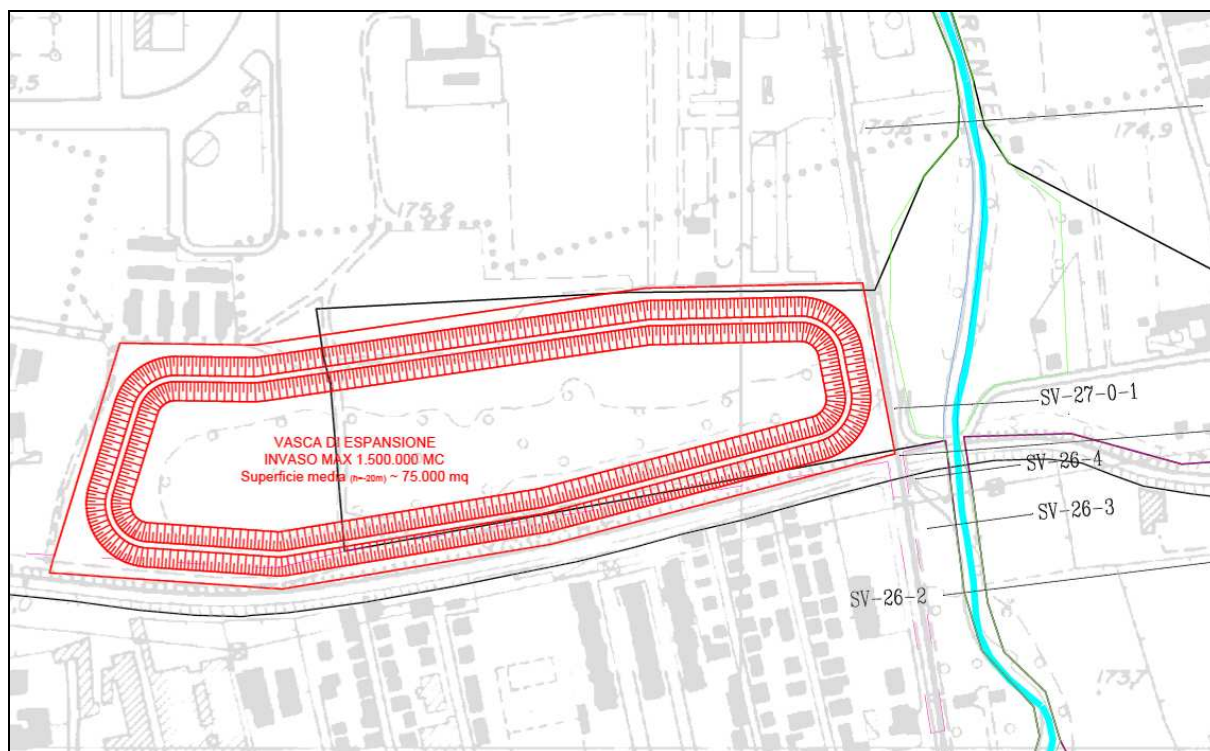


Figura 68 – Invaso di laminazione a Paderno Dugnano con una configurazione plano-altimetrica che consente di ottenere un volume d'invaso massimo di 1'500'000 m³

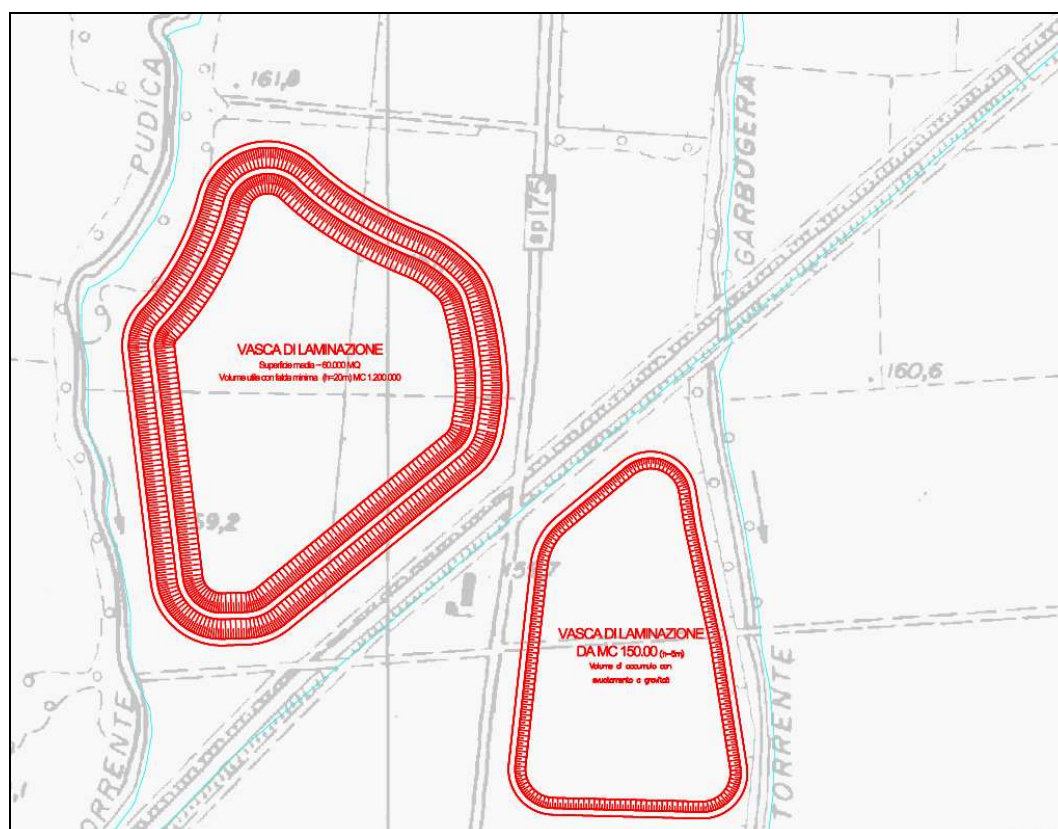


Figura 69 – Invaso di laminazione a Senago con una configurazione plano-altimetrica che consente di ottenere un volume d'invaso massimo di 1'200'000 m³

4.3.2 Gli invasi di laminazione in aree esondabili (Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate)

Nella precedente Figura 54 sono state messe in evidenza le aree golenali del T. Seveso, che nell'assetto attuale sono interessate da fenomeni di esondazione, che possono essere utilizzate per contribuire alla laminazione dell'onda di piena.

Per ottimizzare l'effetto di laminazione di tali aree dovranno essere realizzate delle modeste arginature trasversali e longitudinali lungo le sponde del T. Seveso, in parte tracimabili dall'onda di piena, in modo tale da garantire un funzionamento "in derivazione" onde massimizzare e riservare il volume presente nelle aree golenali solo alla fase di colmo dell'onda di piena. Le aree dovranno essere configurate in modo tale che i volumi in esse immessi vengano mantenuti all'interno delle aree durante l'evento di piena, così da ridurre il volume dell'onda che prosegue verso valle; solo una volta terminato l'evento di piena esse potranno essere svuotate.

Questo funzionamento può essere realizzato effettuando lo scarico delle aree di laminazione attraverso scarichi di fondo configurati e attrezzati.

Nella Figura 70 è rappresentato lo schema di funzionamento idraulico di un'area di esondazione non controllata e diretta (assetto attuale), mentre nella Figura 71 è riportato lo schema di funzionamento idraulico di un'area di esondazione "in derivazione" sistemata per consentire la laminazione del colmo dell'onda di piena, con trattenimento del volume esondato (assetto di progetto).

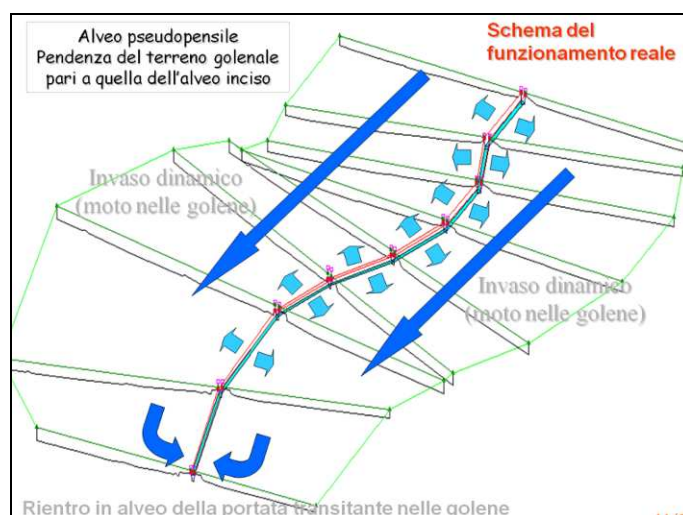


Figura 70 – Schema di funzionamento idraulico dell'assetto attuale delle aree di esondazione.

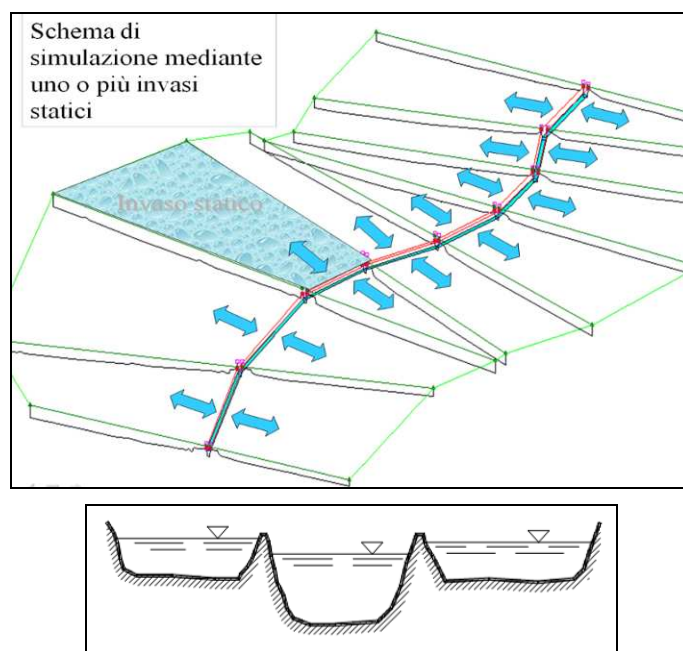


Figura 71 – Schema di funzionamento idraulico dell’assetto di progetto delle aree di esondazione.

Di seguito vengono presentati i risultati, in termini di riduzione dell’onda di piena del Seveso, per ciascuna delle singole aree di laminazione previste.

4.3.2.1 Area di laminazione di Vertemate con Minoprio

Le aree di laminazione previste nel Comune di Vertemate con Minoprio sono così caratterizzate:

- Area 1 (da SV-85 a SV-84)
 - superficie: $\sim 35'000 \text{ m}^2$;
 - volume laminazione: $\sim 45'000 \text{ m}^3$;
 - $Q (T=100)$ a monte: $57 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - $Q (T=100)$ a valle: $50 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Area 2 (da SV-84 a SV-82)
 - superficie: $\sim 50'000 \text{ m}^2$;
 - volume laminazione: $\sim 30'000 \text{ m}^3$;
 - $Q (T=100)$ a monte: $51 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - $Q (T=100)$ a valle: $46 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Area 3 (da SV-81.1 a SV-80.0.1)
 - superficie: $\sim 35'000 \text{ m}^2$;
 - volume laminazione: $\sim 25'000 \text{ m}^3$;

- Q (T=100) a monte: 48 m³/s;
- Q (T=100) a valle: 43 m³/s.

Secondo il P.G.T. tali aree, attualmente a destinazione agricola, sono poste all'interno dell'ambito del *T. Rì e della Valle del Seveso*, per le quali c'è una proposta di istituzione di un PLIS.

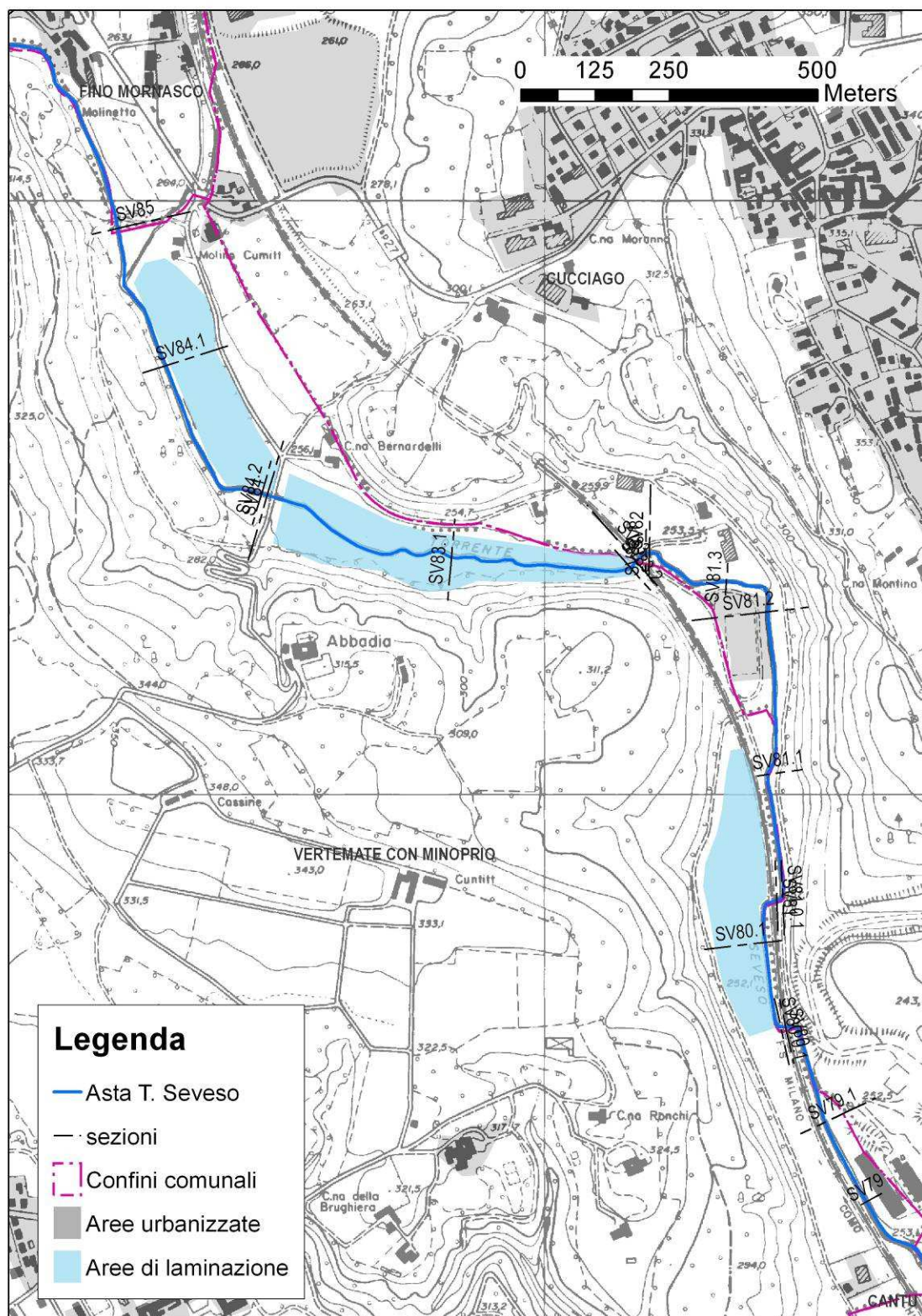


Figura 72 – Aree di laminazione a Vertemate con Minoprio.



Figura 73 – Foto aerea aree di laminazione a Vertemate con Minoprio.

4.3.2.2 Area di laminazione di Cantù

L'area di laminazione prevista nel Comune di Cantù è così caratterizzata:

- Area (da SV-75 a SV-74)
 - superficie: $\sim 35'000 \text{ m}^2$;
 - volume laminazione: $\sim 25'000 \text{ m}^3$;
 - $Q (T=100)$ a monte: $55 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - $Q (T=100)$ a valle: $52 \text{ m}^3/\text{s}$.

Secondo quanto indicato negli strumenti di pianificazione urbanistica, tale area, attualmente a destinazione agricola, risulta essere sottoposta a tutela (L. 431/85 – L.1089/39).

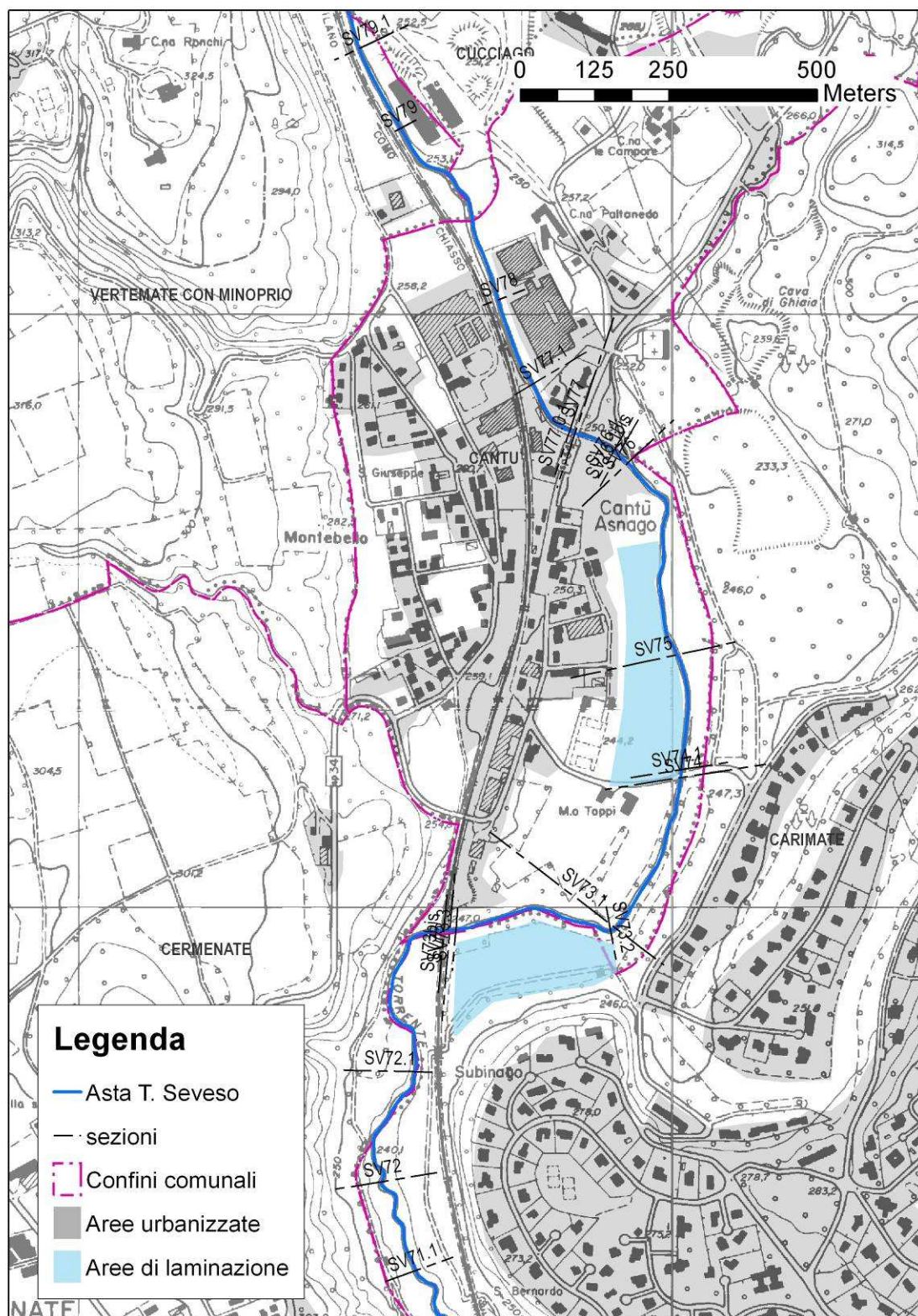


Figura 74 – Area di laminazione a Cantù Asnago.



Figura 75 – Foto aerea area di laminazione a Cantù Asnago.

4.3.2.3 Aree di laminazione di Carimate

Le aree di laminazione previste nel Comune di Carimate sono così caratterizzate:

- Area 1 (da SV-73.2 a SV-73.3)
 - superficie: $\sim 30'000 \text{ m}^2$;
 - volume laminazione: $\sim 15'000 \text{ m}^3$;
 - $Q (T=100)$ a monte: $53 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - $Q (T=100)$ a valle: $51 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Area 2 (da SV-70.1 a SV-69)
 - superficie: $\sim 130'000 \text{ m}^2$;
 - volume laminazione: $\sim 80'000 \text{ m}^3$;
 - $Q (T=100)$ a monte: $54 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - $Q (T=100)$ a valle: $47 \text{ m}^3/\text{s}$.

Secondo quanto indicato negli strumenti di pianificazione urbanistica, tali aree sono caratterizzate da una destinazione d'uso agricola.

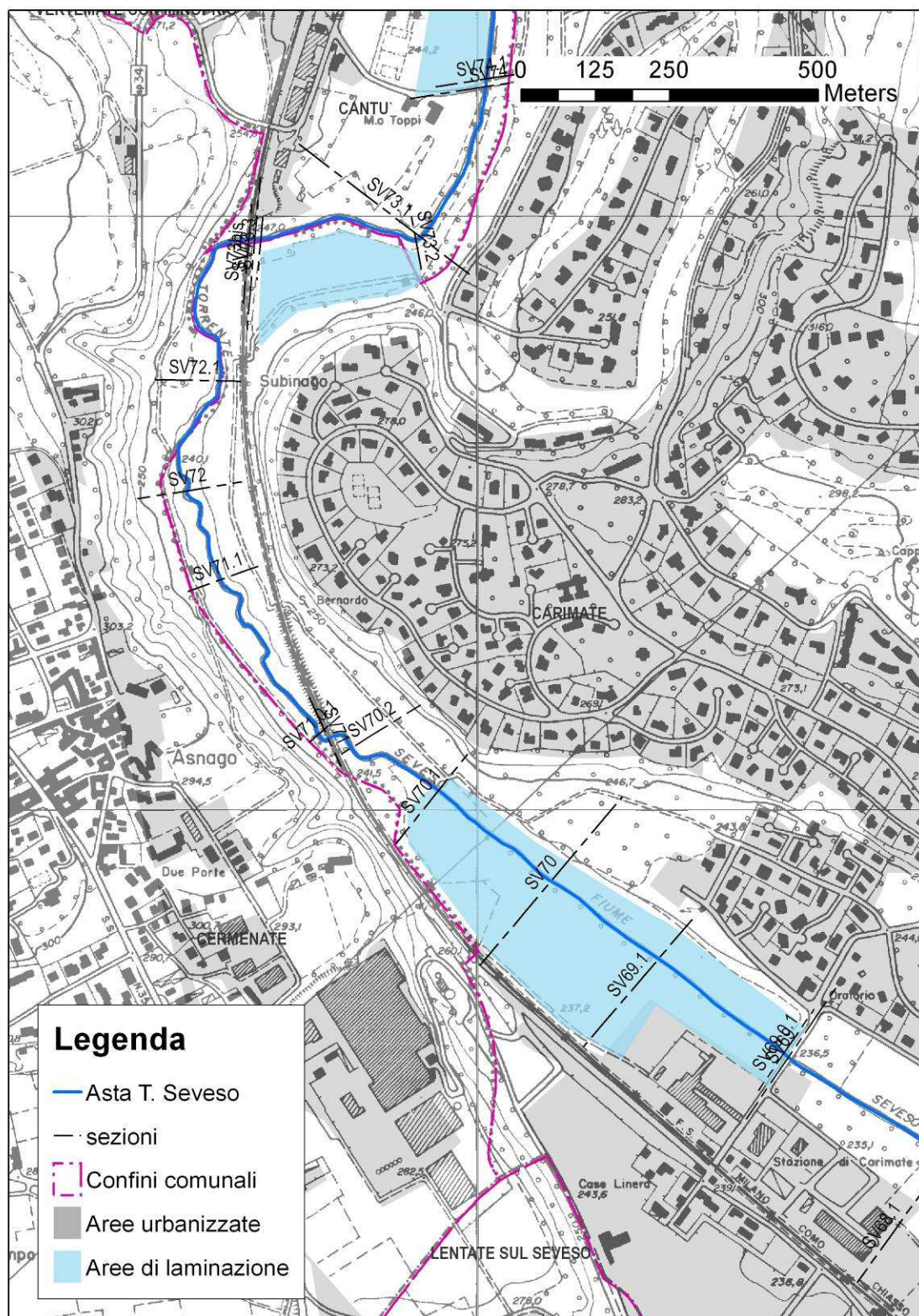


Figura 76 – Aree di laminazione a Carimate.

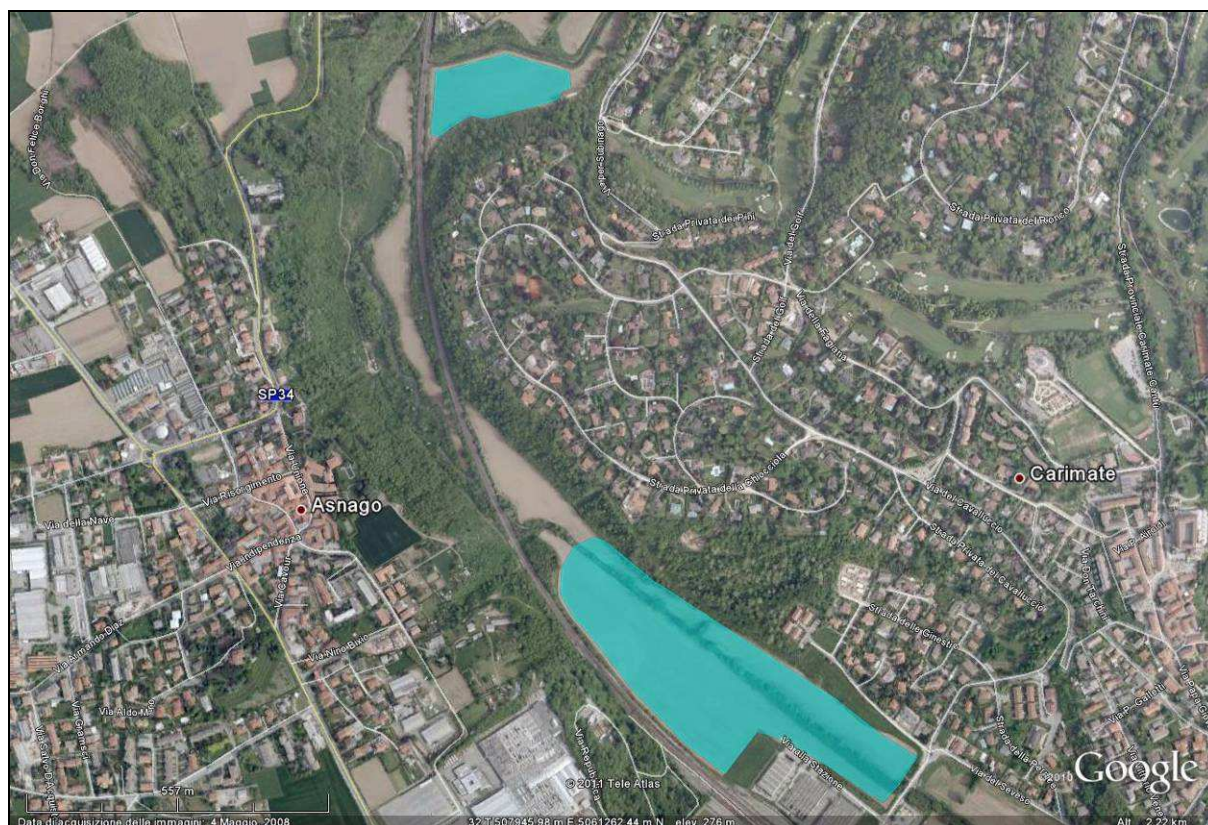


Figura 77 – Foto aerea aree di laminazione a Carimate.

4.3.2.4 Sintesi degli effetti di laminazione indotti dalle aree di laminazione previste nelle aree esondabili

Come messo in evidenza nei precedenti paragrafi, tali aree di laminazione permettono una ridotta, ma comunque importante, laminazione dell'onda di piena del Seveso, soprattutto con riferimento ai tratti di alveo posti immediatamente a valle delle stesse. A valle dell'ultima laminazione la portata di piena centennale al colmo nell'assetto di progetto è pari a circa 47 m³/s, mentre il valore calcolato nel modello nello stato di fatto è pari a 57 m³/s (v. paragrafo 4.4).

Il volume complessivamente sottratto all'onda di piena centennale del T. Seveso dalle suddette laminazioni è pari a circa 220'000 m³, che corrisponde al 5% dell'intero volume di laminazione necessario per raggiungere gli obiettivi prefissati nell'assetto di progetto del T. Seveso (4,4 Mm³).

4.3.3 Invaso di laminazione in scavo a Lentate sul Seveso

L'invaso di laminazione in scavo previsto in Comune di Lentate sul Seveso è così caratterizzato:

- superficie massima: $\sim 90'000 \text{ m}^2$;
- quota piano campagna: $\sim 223 \text{ m s.m.}$;
- quota massimo invaso: $\sim 221 \text{ m s.m.}$;
- quota fondo / minimo invaso: $\sim 198 \text{ m s.m.}$;
- volume invaso: $\sim 850'000 \text{ m}^3$;
- $Q_{\max} (T=100)$ a monte (SV-58.1): $73 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{\max} (T=100)$ a valle (SV-58): $40 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{\max} (T=100)$ in ingresso all'invaso: $33 \text{ m}^3/\text{s}$.

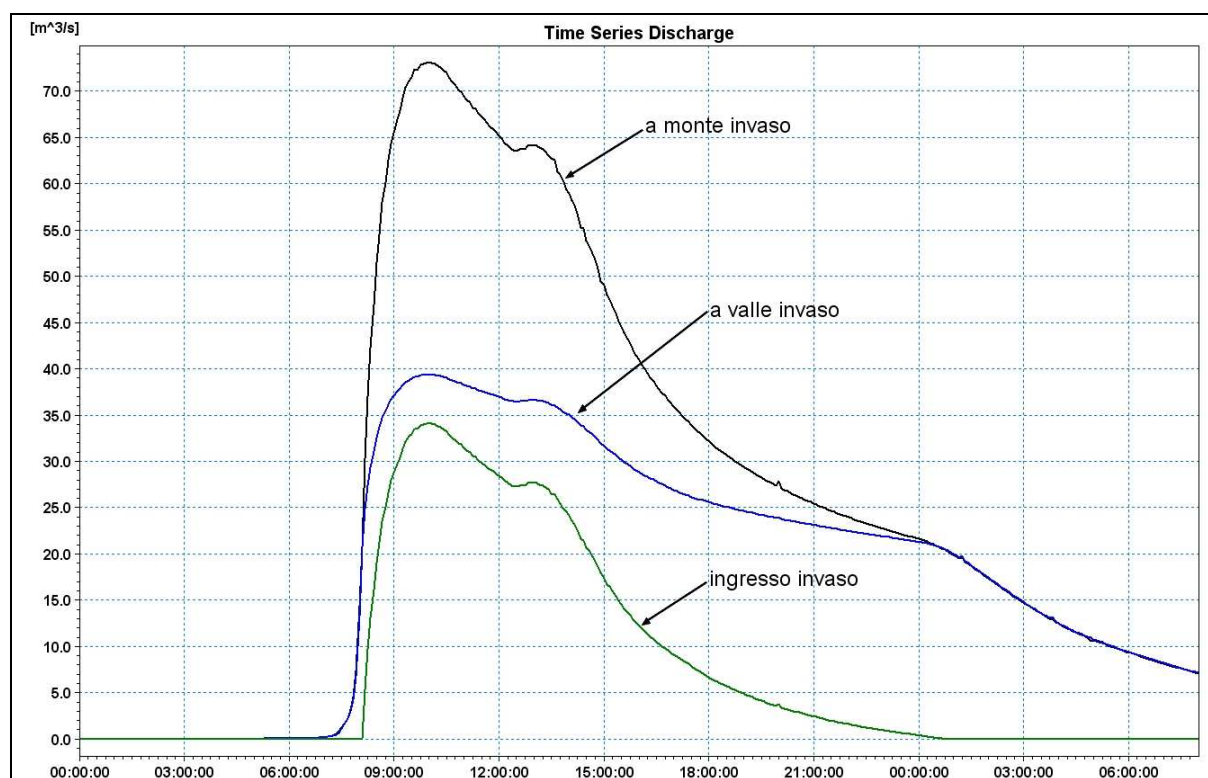


Figura 78 – Invaso di Lentate sul Seveso: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.

Il volume invasato, pari a $850'000 \text{ m}^3$, è inferiore rispetto al valore massimo indicato in precedenza, pari a $1'000'000 \text{ m}^3$, in ragione del fatto che si è cercato di dare all'invaso una configurazione plano-altimetrica che renda migliore l'inserimento ambientale, secondo la tipologia precedentemente indicata (v. rendering Figura 51).



Figura 79 - Configurazione planimetrica dell'invaso di Lentate sul Seveso

Secondo quanto indicato negli strumenti di pianificazione urbanistica, l'area dove si prevede di realizzare l'invaso di Lentate sul Seveso è caratterizzata da una destinazione d'uso agricola.



Figura 80 – Foto aerea dell’area ove si prevede di realizzare l’invaso di Lentate S. – stato di fatto



Figura 81 – Foto aerea dell’area ove si prevede di realizzare l’invaso di Lentate S. con indicato l’assetto di progetto proposto

L’alimentazione dell’invaso in oggetto avviene attraverso un’opera di presa posta in sponda sinistra del T. Seveso. A valle dell’opera di presa è prevista la realizzazione di un canale in c.a. che, dopo aver sottopassato la linea ferroviaria, si immette nell’invaso attraverso uno scivolo in c.a. con elementi di dissipazione.

L’invaso è previsto suddiviso in due settori: il volume del primo settore è pari a circa 750’000 m³, mentre il volume del secondo è pari a 100’000 m³. Il canale proveniente dall’opera di

presa del Seveso giunge nel primo settore; quando esso risulta pieno, attraverso una soglia di sfioro viene alimentato il secondo settore, fino al completo riempimento dell'invaso disponibile.

Lo svuotamento dell'invaso viene effettuato in parte a gravità, relativamente alla porzione d'invaso compresa tra la quota 218 m s.m. (fondo del T. Seveso nei pressi dello scarico dell'invaso) e la quota di massimo invaso, pari a 221 m s.m.. Invece, per la porzione d'invaso compreso tra la quota 218 m s.m. e 198 m s.m. (fondo invaso) lo svuotamento avverrà attraverso una stazione di sollevamento.

Considerando una portata di svuotamento pari a $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (sia per la porzione a gravità che per la porzione mediante sollevamento), al fine di non sovraccaricare il tratto di valle del Seveso e di limitare il costo delle opere necessarie, si ha che il tempo per effettuare il completo svuotamento dell'invaso è pari a circa 5 giorni.

Per maggiori dettagli relativamente alle opere che consentono il funzionamento dell'invaso (sistema di alimentazione e scarico) si rimanda agli elaborati grafici allegati alla presente relazione (di cui di seguito si riportano alcuni stralci), in particolare:

- B.03: planimetrie e sezioni dell'invaso di Lentate sul Seveso;
- B.08: tipologico di opera di presa del T. Seveso;
- B.09: tipologico di scivolo di alimentazione;
- B.10: tipologico di stazione di sollevamento per lo svuotamento dell'invaso.

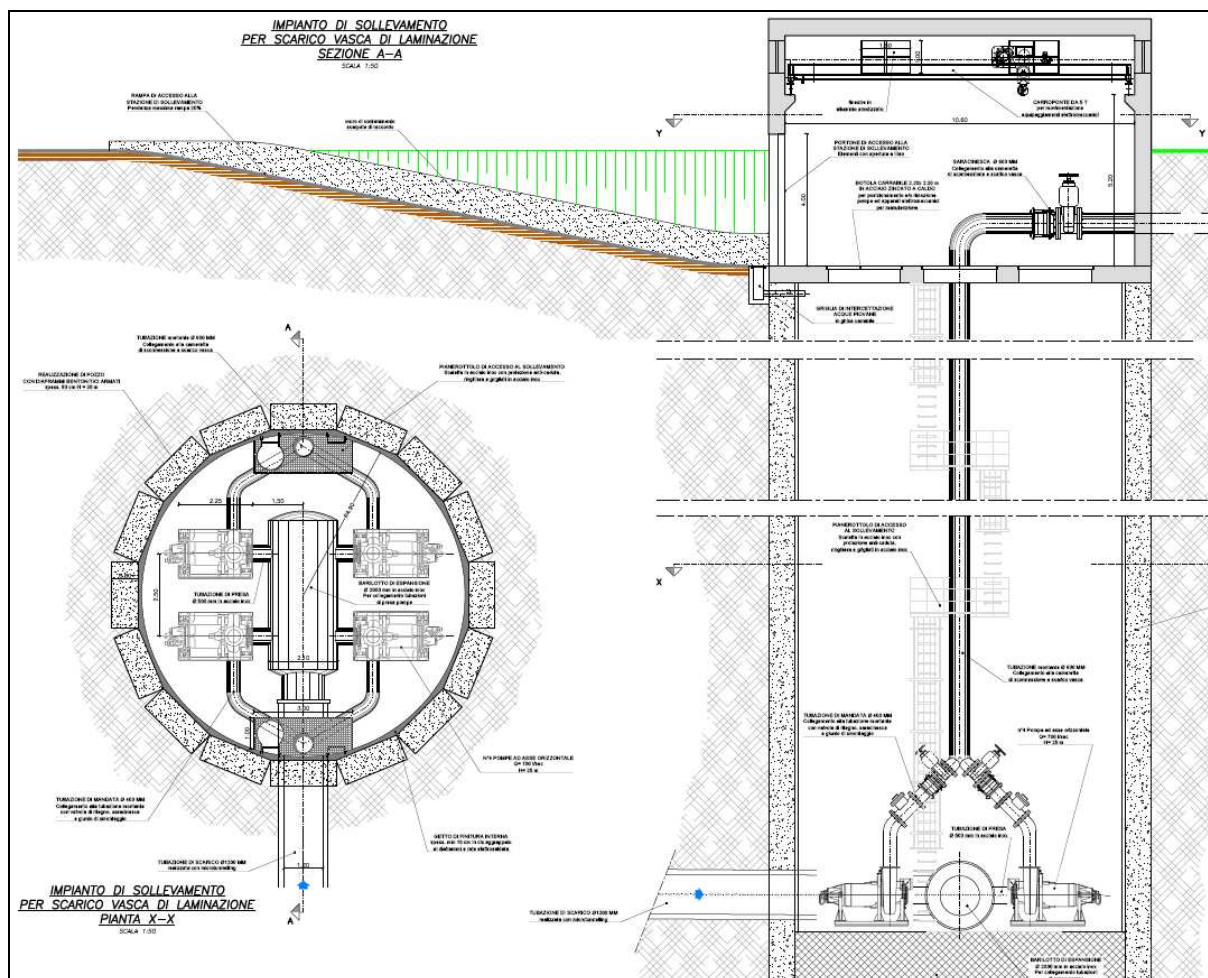


Figura 82 – Impianto di sollevamento per lo svuotamento dell'invaso

Poiché la profondità dello scavo è prevista fino a circa 25 m dal piano campagna, è importante valutare quale sia la distanza fra il fondo dell'invaso ed il livello della prima falda, per valutare l'eventualità di interazioni tra i due elementi.

In base ai dati disponibili presso la Provincia di Milano, riportati nella Figura 84, il livello della falda freatica registrato a marzo 2010 in corrispondenza dell'invaso è pari a circa 195 m s.m., per cui la soggiacenza della stessa rispetto al fondo dell'invaso è pari a soli 3 m. Tenendo conto della variabilità del livello della falda, non è da escludere che esso possa raggiungere il fondo dell'invaso. Tale circostanza impone di adottare i seguenti provvedimenti tecnici:

- impermeabilizzazione del fondo e delle sponde dell'invaso, in modo da evitare che le acque del Seveso in piena che vengono immesse nell'invaso possano percolare e raggiungere la falda freatica, con rischio di inquinamento della stessa in relazione alla scarsa qualità delle acque del Seveso;

- realizzazione di un dispositivo che, quando il livello della falda dovesse risultare maggiore del livello idrico nell'invaso, consenta di eliminare o attenuare l'azione delle sottospinte idrauliche che potrebbero alterare la stabilità e la funzionalità dell'invaso ed in particolare delle suddette opere di impermeabilizzazione. In tali casi, nelle successive fasi di progettazione degli invasi, dovranno essere analizzate soluzioni tecniche adeguate a tale fine; ad esempio si potrebbe prevedere un collegamento idraulico (piezometro) tra la falda e gli invasi che quando il livello della falda è maggiore del livello negli invasi, convogli l'acqua all'interno del bacino di accumulo in modo da eguagliare i livelli idrici ed annullare quindi le sottospinte idrauliche. Tali dispositivi dovranno essere muniti di valvola a clapet, che si chiuda quando il livello nell'invaso è maggiore del livello della falda, in modo tale da evitare che le acque laminate del Seveso possano raggiungere la falda.

Per maggiori dettagli relativamente al sistema di interconnessione tra l'invaso e la falda, si rimanda all'elaborato grafici B.11, allegato alla presente relazione (di cui si riporta un estratto nella Figura 83).

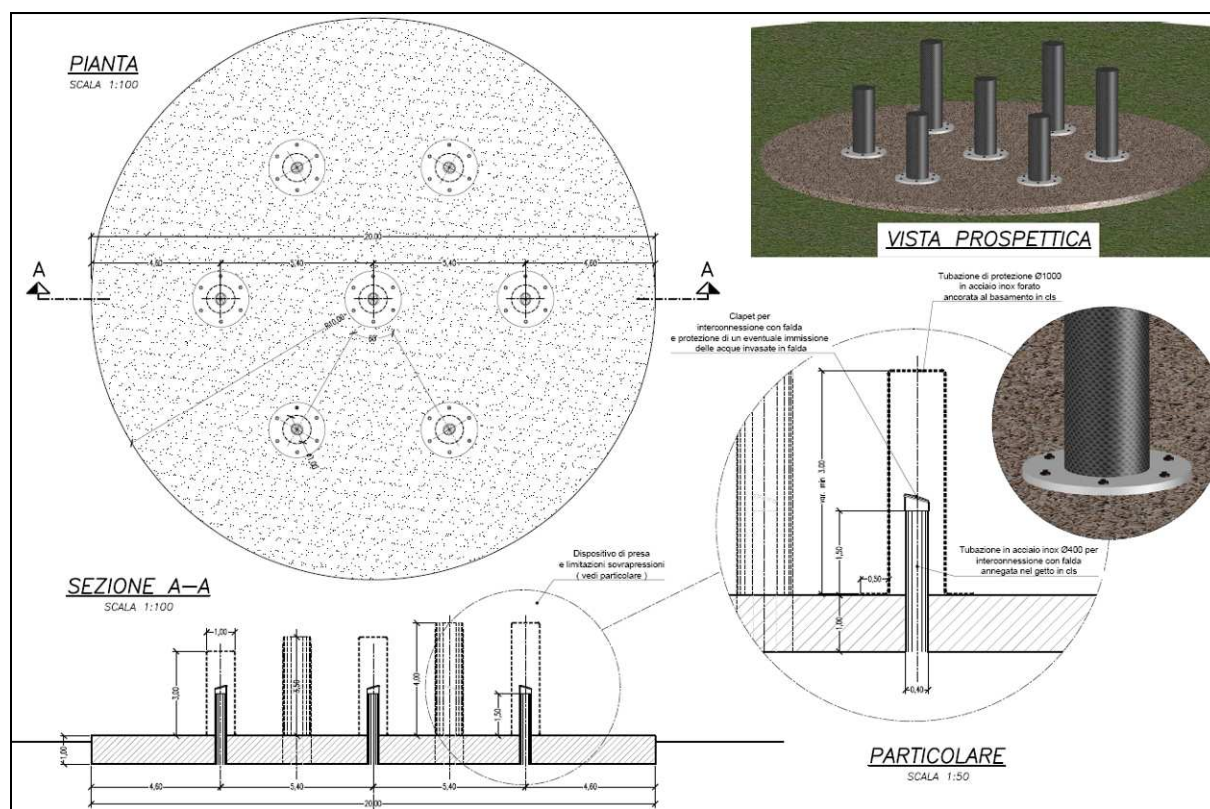


Figura 83 – Manufatto di interconnessione tra l'invaso e la falda

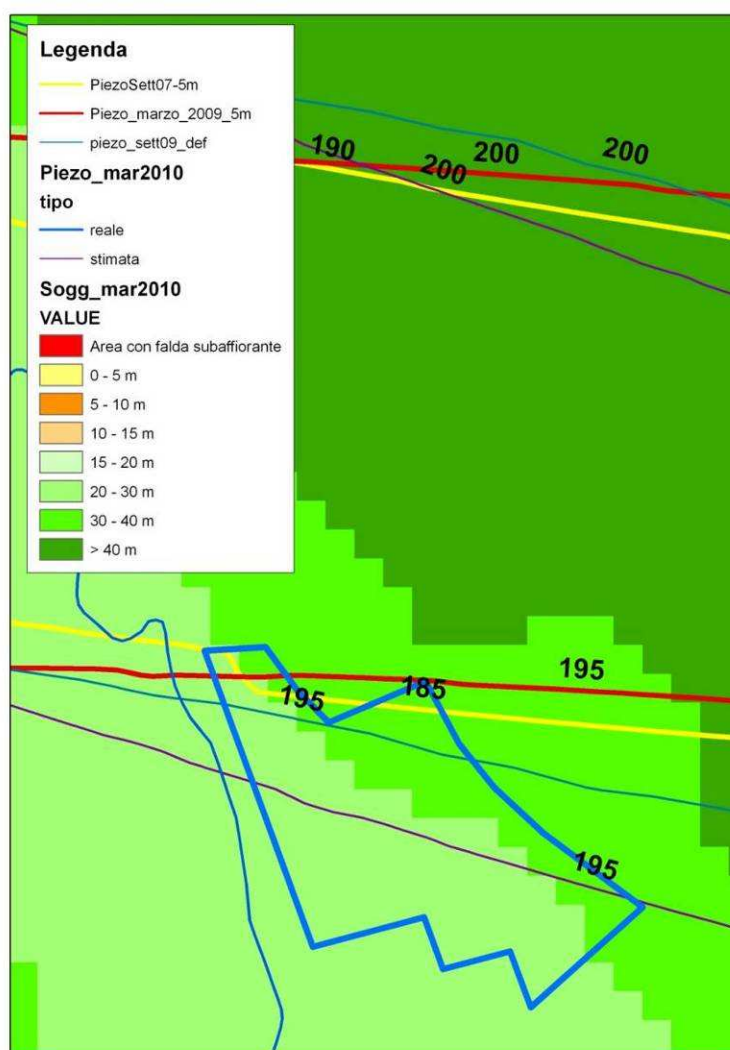


Figura 84 – Caratterizzazione del livello di falda nei pressi dell’invaso di Lentate sul Seveso

La realizzazione della laminazione in oggetto permette di eliminare gli allagamenti di tipo localizzato nelle aree dei comuni di Barlassina, Bovisio Masciago e Varedo, garantendo la sicurezza di tali territori. Inoltre, grazie agli effetti della laminazione sull’onda di piena centennale, si raggiunge la messa in sicurezza di tutti gli attraversamenti presenti nel tratto di asta fluviale compreso tra i comuni di Barlassina e Varedo. Infine si sottolinea come tale intervento permetta la riduzione del volume e della portata al colmo di piena, con conseguente beneficio per le aree soggette a esondazione nel comune di Milano e migliore efficienza delle opere di laminazione poste a valle.

4.3.4 Invaso di laminazione in scavo a Varedo

L'invaso di laminazione in scavo previsto in Comune di Varedo è così caratterizzato:

- superficie massima: $\sim 140'000 \text{ m}^2$;
- quota piano campagna: $\sim 187 \text{ m s.m.}$;
- quota massimo invaso: $\sim 182 \text{ m s.m.}$;
- quota fondo / minimo invaso: $\sim 162 \text{ m s.m.}$;
- volume invaso: $\sim 1'500'000 \text{ m}^3$;
- $Q_{\max} (T=100)$ a monte (SV-32.0.1): $132 \text{ m}^3/\text{s}$ (tale valore è condizionato anche dalla presenza degli invasi previsti a monte);
- $Q_{\max} (T=100)$ a valle (SV-32): $71 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{\max} (T=100)$ in ingresso all'invaso: $61 \text{ m}^3/\text{s}$.

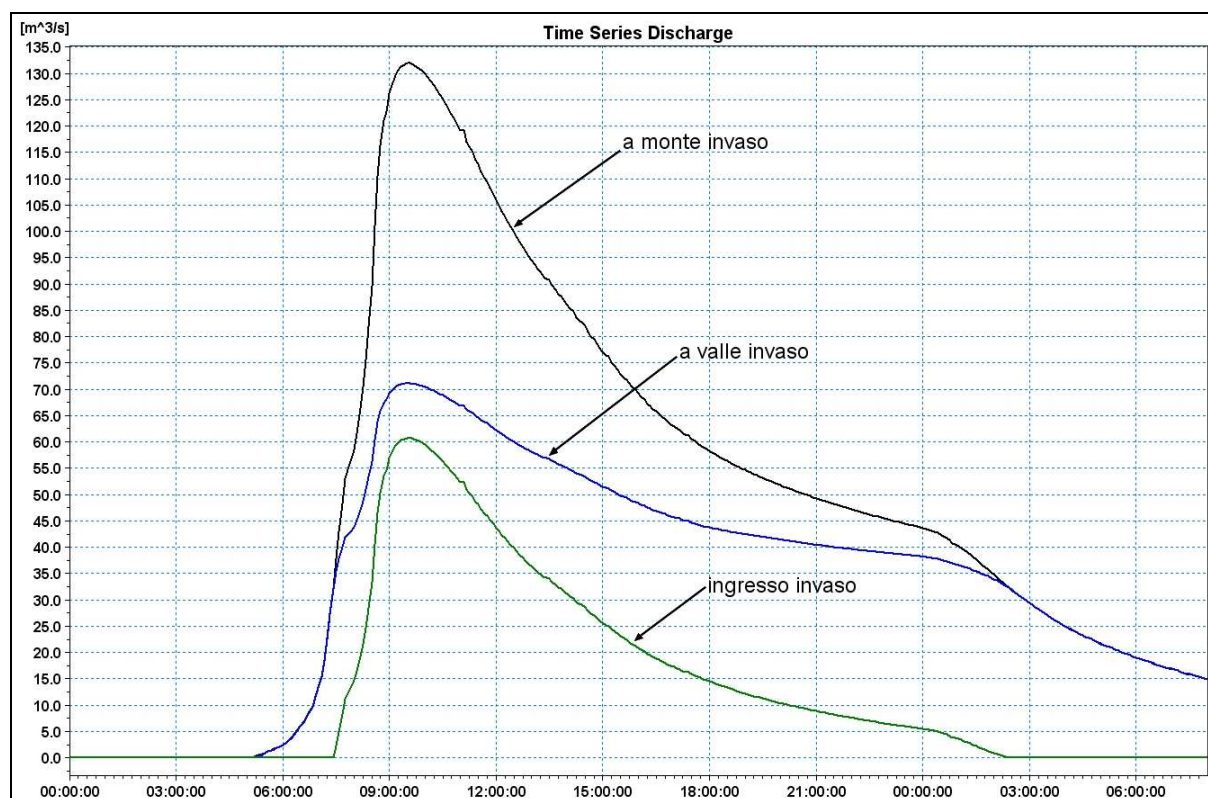


Figura 85 – Invaso di Varedo: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.

Il volume invasato, pari a circa $1'500'000 \text{ m}^3$, è inferiore rispetto al valore massimo indicato in precedenza, pari a $1'900'000 \text{ m}^3$, in ragione del fatto che si è cercato di dare all'invaso una configurazione plano-altimetrica che renda migliore l'inserimento ambientale, secondo la tipologia precedentemente indicata (v. rendering Figura 51).



Figura 86 - Configurazione planimetrica dell'invaso di Lentate sul Seveso

Secondo quanto indicato negli strumenti di pianificazione urbanistica, l'area dove si prevede di realizzare l'invaso di Varedo attualmente è caratterizzata da una destinazione d'uso agricola ed è prevista una destinazione futura di area a verde.



Figura 87 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Varedo – stato di fatto



Figura 88 – Foto aerea dell’area ove si prevede di realizzare l’invaso di Varedo con indicato l’assetto di progetto proposto

L’alimentazione dell’invaso in oggetto avviene attraverso un’opera di presa posta in sponda sinistra del T. Seveso. A valle dell’opera di presa è prevista la realizzazione di un canale in c.a. che, dopo aver sottopassato la viabilità esistente, si immette nell’invaso attraverso uno scivolo in c.a. con elementi di dissipazione.

L’invaso è suddiviso in due settori: il volume del primo settore è pari a circa $800'000 \text{ m}^3$, mentre il volume del secondo è pari a $700'000 \text{ m}^3$. Il canale proveniente dall’opera di presa del Seveso giunge nel primo settore, quando esso risulta pieno, attraverso una soglia di sfioro viene alimentato il secondo settore, fino al completo riempimento dell’invaso disponibile.

Lo svuotamento dell’invaso viene effettuato in parte a gravità, relativamente alla porzione d’invaso compresa tra la quota 179 m s.m. (fondo del T. Seveso nei pressi dello scarico dell’invaso) e la quota di massimo invaso, pari a 182 m s.m.. Invece, per la porzione d’invaso compreso tra la quota 179 m s.m. e 162 m s.m. (fondo invaso) lo svuotamento avverrà attraverso una stazione di sollevamento.

Considerando una portata di svuotamento pari a $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (sia per la porzione a gravità che per la porzione mediante sollevamento), al fine di non sovraccaricare il tratto di valle del Seveso e di limitare il costo delle opere necessarie, si ha che il tempo per effettuare il completo svuotamento dell’invaso è pari a circa 9 giorni.

Per maggiori dettagli relativamente alle opere che consentono il funzionamento dell’invaso (sistema di alimentazione e scarico) si rimanda agli elaborati grafici allegati alla presente

relazione, in particolare:

- B.04: planimetrie e sezioni dell'invaso di Varedo;
- B.08: tipologico di opera di presa del T. Seveso;
- B.09: tipologico di scivolo di alimentazione;
- B.10: tipologico di stazione di sollevamento per lo svuotamento dell'invaso.

Siccome la profondità dello scavo è prevista fino a circa 25 m dal piano campagna, è importante valutare quale sia la distanza fra il fondo dell'invaso ed il livello della prima falda, per valutare l'eventualità di interazioni tra i due elementi.

In base ai dati disponibili presso la Provincia di Milano, riportati nella Figura 89, il livello della falda freatica registrato a marzo 2010 in corrispondenza dell'invaso è pari a circa 153 m s.m., per cui la soggiacenza della stessa rispetto al fondo dell'invaso è pari a circa 9 m. Tenendo conto della variabilità del livello della falda (da settembre 2007 a marzo 2010 il livello della falda si è alzato di circa 8 m), non è da escludere che esso possa raggiungere il fondo dell'invaso. Tale circostanza impone di adottare i seguenti provvedimenti tecnici:

- impermeabilizzazione del fondo e delle sponde dell'invaso, in modo da evitare che le acque del Seveso in piena che vengono immesse nell'invaso possano percolare e raggiungere la falda freatica, con rischio di inquinamento della stessa in relazione alla scarsa qualità delle acque del Seveso;
- realizzazione di un dispositivo che, quando il livello della falda dovesse risultare maggiore del livello idrico nell'invaso, consenta di eliminare o attenuare l'azione delle sottospinte idrauliche che potrebbero alterare la stabilità e la funzionalità dell'invaso ed in particolare delle suddette opere di impermeabilizzazione. In tali casi, nelle successive fasi di progettazione degli invasi, dovranno essere analizzate soluzioni tecniche adeguate a tale fine; ad esempio si potrebbe prevedere un collegamento idraulico (piezometro) tra la falda e gli invasi che quando il livello della falda è maggiore del livello negli invasi, convogli l'acqua all'interno del bacino di accumulo in modo da eguagliare i livelli idrici ed annullare quindi le sottospinte idrauliche. Tali dispositivi dovranno essere muniti di valvola a clapet, che si chiuda quando il livello nell'invaso è maggiore del livello della falda, in modo tale da evitare che le acque laminate del Seveso possano raggiungere la falda.

Per maggiori dettagli relativamente al sistema di interconnessione tra l'invaso e la falda, si rimanda all'elaborato grafici B.11, allegato alla presente relazione (di cui è riportato un

estratto nella precedente Figura 83).

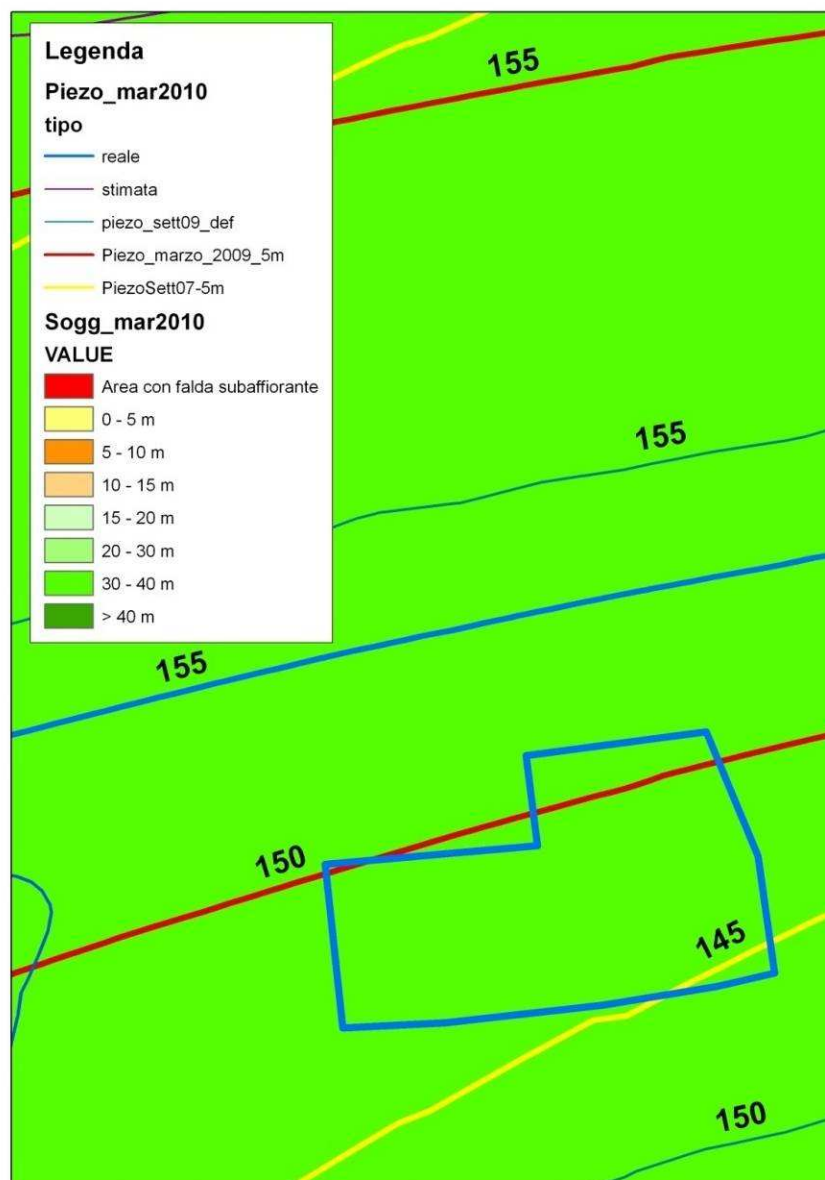


Figura 89 – Caratterizzazione del livello di falda nei pressi dell’invaso di Varedo

La realizzazione della laminazione in oggetto, posta circa 3 km a monte dell’opera di presa del C.S.N.O., permette di eliminare le situazioni di criticità presente in tale tratto, ma soprattutto consente una notevole riduzione del volume e della portata al colmo di piena, con conseguente beneficio per le aree soggette a esondazione nel comune di Milano.

4.3.5 Invaso di laminazione in scavo a Paderno Dugnano

L'invaso di laminazione in scavo previsto in Comune di Paderno Dugnano è così caratterizzato:

- superficie massima: $\sim 105'000 \text{ m}^2$;
- quota piano campagna: $\sim 174 \text{ m s.m.}$;
- quota massimo invaso: $\sim 170 \text{ m s.m.}$;
- quota fondo / minimo invaso: $\sim 150 \text{ m s.m.}$;
- volume invaso: $\sim 950'000 \text{ m}^3$;
- $Q_{\max} (T=100)$ a monte (SV-27.1): $75 \text{ m}^3/\text{s}$ (tale valore è condizionato anche dalla presenza degli invasi previsti a monte);
- $Q_{\max} (T=100)$ a valle (SV-32): $48 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{\max} (T=100)$ in ingresso all'invaso: $27 \text{ m}^3/\text{s}$.

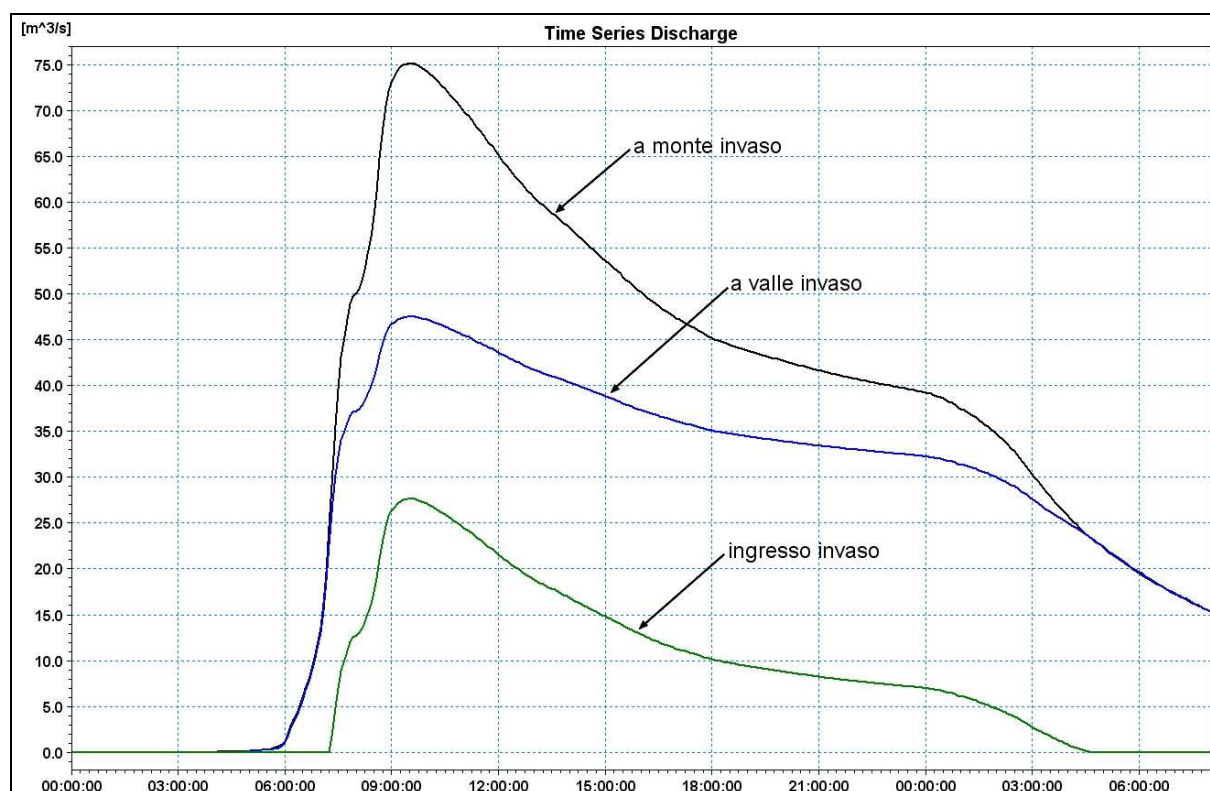


Figura 90 – Invaso di Paderno Dugnano: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.

Il volume invasato, pari a circa $950'000 \text{ m}^3$, è inferiore rispetto al valore massimo indicato in precedenza, pari a $1'500'000 \text{ m}^3$, in ragione del fatto che si è cercato di dare all'invaso una configurazione plano-altimetrica che renda migliore l'inserimento ambientale, secondo la tipologia precedentemente (v. rendering Figura 51).



Figura 91 - Configurazione planimetrica dell'invaso di Paderno Dugnano

Secondo quanto indicato negli strumenti di pianificazione urbanistica, l'area dove si prevede di realizzare l'invaso di Paderno Dugnano è caratterizzata da una destinazione d'uso di "verde a livello sovracomunale".



Figura 92 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Paderno Dugnano – stato di fatto



Figura 93 – Foto aerea dell’area ove si prevede di realizzare l’invaso di Paderno Dugnano con indicato l’assetto di progetto proposto

L’alimentazione dell’invaso in oggetto avviene attraverso un’opera di presa posta in sponda destra del T. Seveso. A valle dell’opera di presa è prevista la realizzazione di un canale in c.a. che, dopo aver sottopassato la linea ferroviaria, si immette nell’invaso attraverso uno scivolo in c.a. con elementi di dissipazione.

L’invaso è suddiviso in due settori: il volume del primo settore è pari a circa 520’000 m³, mentre il volume del secondo è pari a circa 430’000 m³. Il canale proveniente dall’opera di presa del Seveso giunge nel primo settore, quando esso risulta pieno, attraverso una soglia di sfioro viene alimentato il secondo settore, fino al completo riempimento dell’invaso disponibile.

Lo svuotamento dell’invaso verrà effettuato quasi esclusivamente attraverso una stazione di sollevamento, in quanto la quota di massimo invasore è pari a circa 170 m s.m. e la quota di fondo del T. Seveso nei pressi dello scarico dell’invaso, posto a monte dell’attraversamento del Canale Villoresi (sezione SV-27) è pari a circa 169.5 m s.m..

Considerando una portata di svuotamento pari a 2 m³/s, al fine di non sovraccaricare il tratto di valle del Seveso e di limitare il costo delle opere necessarie, si ha che il tempo per effettuare il completo svuotamento dell’invaso è pari a circa 5,5 giorni.

Per maggiori dettagli relativamente alle opere che consentono il funzionamento dell’invaso (sistema di alimentazione e scarico) si rimanda agli elaborati grafici allegati alla presente relazione, in particolare:

- B.05: planimetrie e sezioni dell'invaso di Paderno Dugnano;
- B.08: tipologico di opera di presa del T. Seveso;
- B.09: tipologico di scivolo di alimentazione;
- B.10: tipologico di stazione di sollevamento per lo svuotamento dell'invaso.

Siccome la profondità dello scavo è prevista fino a circa 24 m dal piano campagna, è importante valutare quale sia la distanza fra il fondo dell'invaso ed il livello della prima falda, per valutare l'eventualità di interazioni tra i due elementi.

In base ai dati disponibili presso la Provincia di Milano, riportati nella Figura 94, il livello della falda freatica registrato a marzo 2010 in corrispondenza dell'invaso è pari a circa 145 m s.m., per cui la soggiacenza della stessa rispetto al fondo dell'invaso è pari a circa 5 m. Tenendo conto della variabilità del livello della falda, non è da escludere che esso possa raggiungere il fondo dell'invaso. Tale circostanza impone di adottare i seguenti provvedimenti tecnici:

- impermeabilizzazione del fondo e delle sponde dell'invaso, in modo da evitare che le acque del Seveso in piena che vengono immesse nell'invaso possano percolare e raggiungere la falda freatica, con rischio di inquinamento della stessa in relazione alla scarsa qualità delle acque del Seveso;
- realizzazione di un dispositivo che, quando il livello della falda dovesse risultare maggiore del livello idrico nell'invaso, consenta di eliminare o attenuare l'azione delle sottospinte idrauliche che potrebbero alterare la stabilità e la funzionalità dell'invaso ed in particolare delle suddette opere di impermeabilizzazione. In tali casi, nelle successive fasi di progettazione degli invasi, dovranno essere analizzate soluzioni tecniche adeguate a tale fine; ad esempio si potrebbe prevedere un collegamento idraulico (piezometro) tra la falda e gli invasi che quando il livello della falda è maggiore del livello negli invasi, convogli l'acqua all'interno del bacino di accumulo in modo da eguagliare i livelli idrici ed annullare quindi le sottospinte idrauliche. Tali dispositivi dovranno essere muniti di valvola a clapet, che si chiuda quando il livello nell'invaso è maggiore del livello della falda, in modo tale da evitare che le acque laminate del Seveso possano raggiungere la falda.

Per maggiori dettagli relativamente al sistema di interconnessione tra l'invaso e la falda, si rimanda all'elaborato grafici B.11, allegato alla presente relazione (di cui è riportato un estratto nella precedente Figura 83).

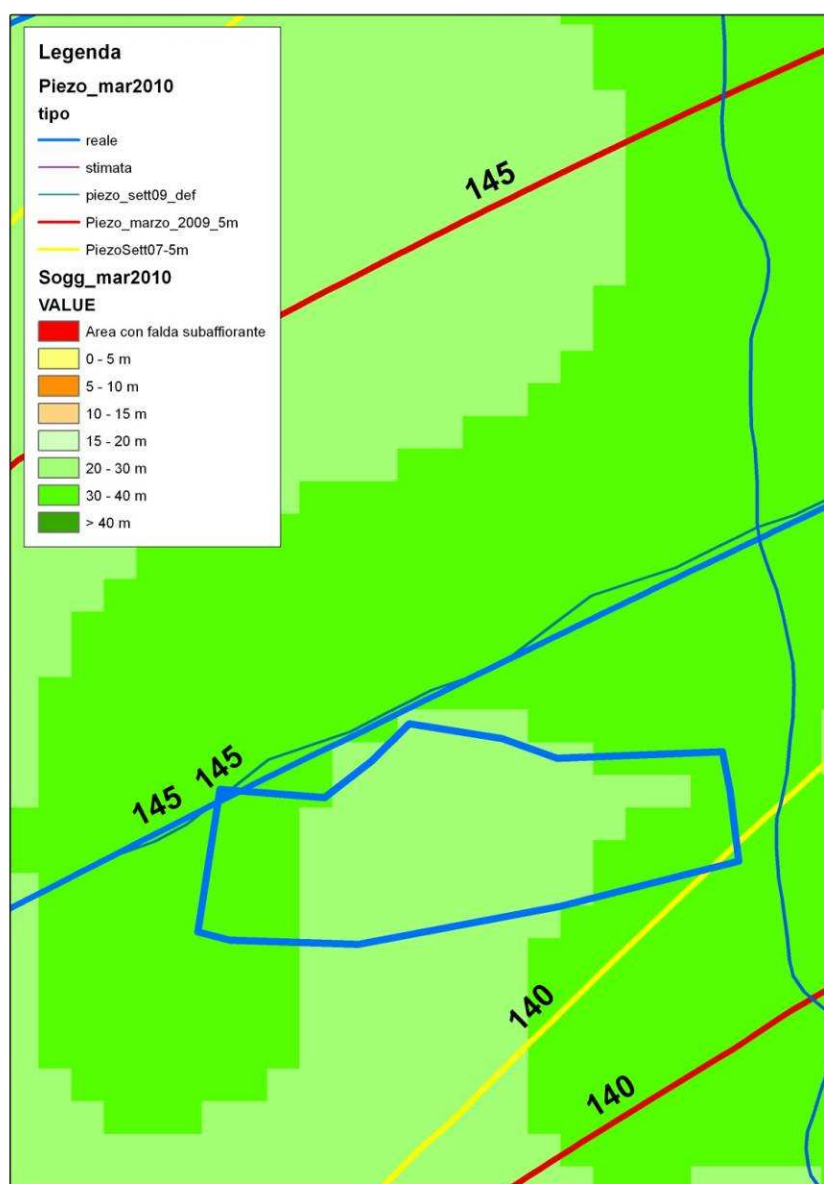


Figura 94 – Caratterizzazione del livello di falda nei pressi dell’invaso di Paderno Dugnano

La realizzazione della laminazione in oggetto, posta circa 1 km a monte dell’opera di presa del C.S.N.O., permette di eliminare le situazioni di criticità presente in tale tratto, ma soprattutto consente una notevole riduzione del volume e della portata al colmo di piena, con conseguente beneficio per le aree soggette a esondazione nel comune di Milano.

4.3.6 Invaso di laminazione in scavo a Senago (alternativa n. 3)

L’invaso di laminazione in scavo (alternativa n. 3) previsto in Comune di Senago (lungo il C.S.N.O.), costituito da due distinti invasi, è così caratterizzato:

➤ invaso a nord C.S.N.O.:

- superficie massima invaso: $\sim 92'000 \text{ m}^2$;
- quota piano campagna: $\sim 161 \text{ m s.m.}$;
- quota massimo invaso: $\sim 159 \text{ m s.m.}$;
- quota minimo invaso: $\sim 144 \text{ m s.m.}$;
- quota fondo invaso: $\sim 133 \text{ m s.m.}$;
- volume invaso: $\sim 900'000 \text{ m}^3$;

➤ invaso a sud C.S.N.O.:

- superficie massima invaso: $\sim 44'000 \text{ m}^2$;
- quota piano campagna: $\sim 160,5 \text{ m s.m.}$;
- quota massimo invaso: $\sim 155,5 \text{ m s.m.}$;
- quota minimo invaso / fondo invaso: $\sim 133 \text{ m s.m.}$;
- volume invaso: $\sim 100'000 \text{ m}^3$.

- $Q_{\max} (T=100)$ a monte (CN-142): $47 \text{ m}^3/\text{s}$ (tale valore è condizionato anche dalla presenza degli invasi previsti a monte);
- $Q_{\max} (T=100)$ a valle (CN-141): $25 \text{ m}^3/\text{s}$;
- $Q_{\max} (T=100)$ in ingresso all'invaso: $22 \text{ m}^3/\text{s}$.

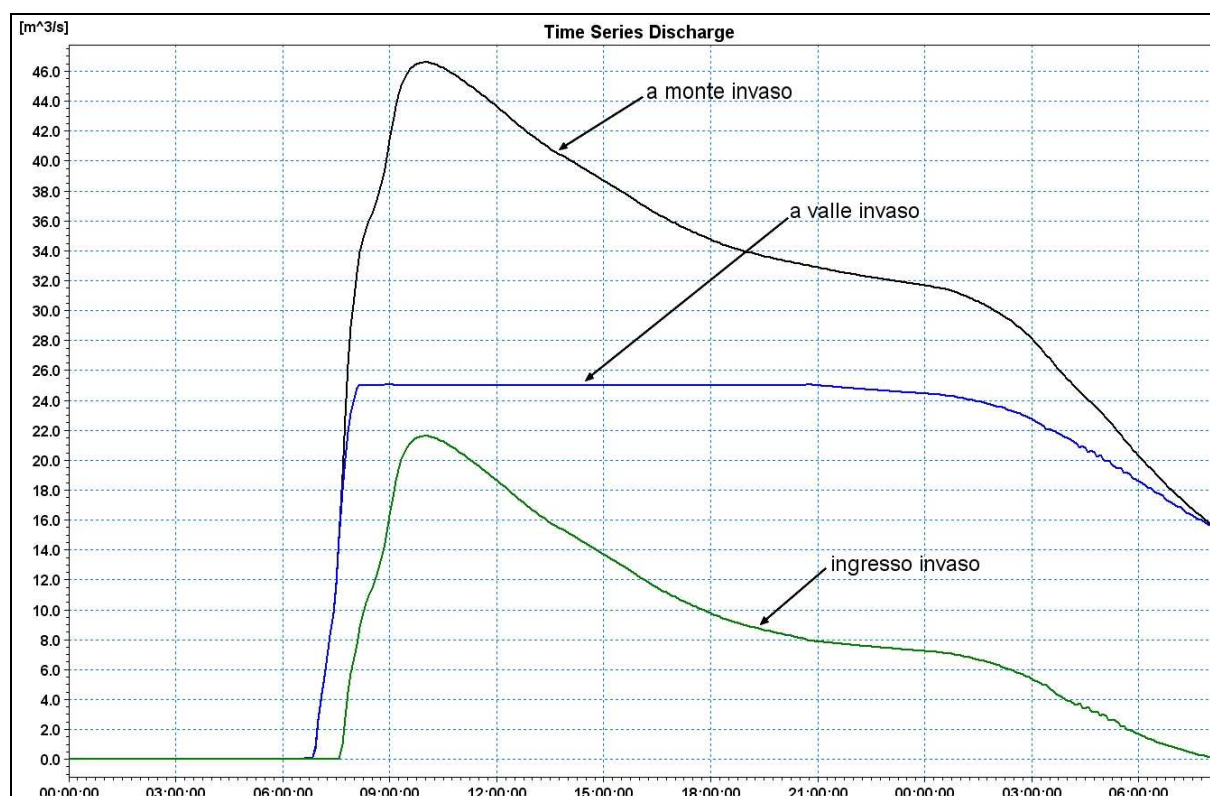


Figura 95 – Invaso di Senago: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.

Il volume invasato, pari a circa 1'000'000 m^3 , è inferiore rispetto al valore massimo indicato in precedenza, pari a 1'200'000 m^3 , in ragione del fatto che si è cercato di dare all'invaso una configurazione plano-altimetrica che renda migliore l'inserimento ambientale, secondo la tipologia precedentemente (v. rendering Figura 97 e Figura 98).

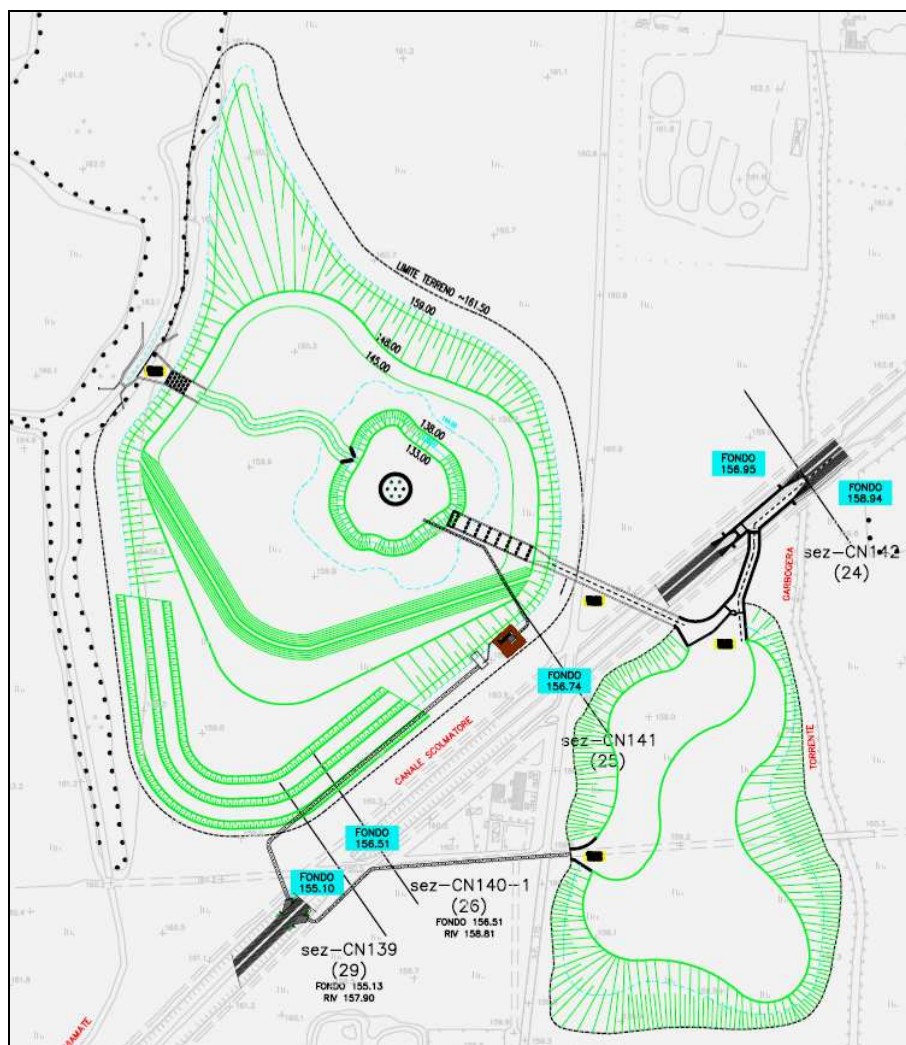


Figura 96 - Configurazione planimetrica dell'invaso di Senago



Figura 97 - Rendering dell'invaso di Senago – vista aerea



Figura 98 - Rendering dell'invaso di Senago – vista particolareggiata

Secondo quanto indicato negli strumenti di pianificazione urbanistica, l'intera area ove si prevede la realizzazione dell'invaso a nord del C.S.N.O è posta all'interno del Parco delle Groane; per quanto riguarda, invece, l'area ove si prevede la realizzazione dell'invaso a sud del C.S.N.O., la metà più a sud è anch'essa posta all'interno del Parco delle Groane, mentre la porzione a nord ha una destinazione d'uso agricola.



Figura 99 – Foto aerea dell'area ove si prevede di realizzare l'invaso di Senago – stato di fatto



Figura 100 – Foto aerea dell’area ove si prevede di realizzare l’invaso di Paderno Dugnano con indicato l’assetto di progetto proposto (rendering)

Il sistema costituito dai due invasi suddetti sarà caratterizzato dal seguente funzionamento:

1. attraverso l’opera di presa sul C.S.N.O. viene alimentato l’invaso posto a sud;
2. quando tale invaso è pieno si attiva una soglia di sfioro che alimenta l’invaso a nord attraverso un canale che sottopassa il C.S.N.O.;
3. l’immissione della portata derivata nell’invaso a nord avviene attraverso uno scivolo in c.a. munito di elementi di dissipazione;
4. lo svuotamento dei due invasi avverrà attraverso due sistemi tra loro indipendenti.

L’invaso di Senago non è direttamente adiacente al tratto di C.S.N.O. già raddoppiato;

tuttavia, in base ai calcoli effettuati nell'ambito del progetto definitivo *“Lavori di adeguamento funzionale del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – M.I.E.781”*, si ha che le sponde attuali del tratto compreso tra la fine dell'intervento di raddoppio (via Marzabotto) e l'opera di presa dell'invaso proposto sono in grado di contenere il livello idrico associato ad una portata di $60 \text{ m}^3/\text{s}$, seppur al di sopra del tratto rivestito in c.a.. Pertanto, per poter alimentare adeguatamente l'invaso di Senago è sufficiente intervenire sul rivestimento in calcestruzzo delle sponde prevedendone l'innalzamento fino al contenimento del livello idrico corrispondente alla portata di $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Lo svuotamento dell'invaso a sud del C.S.N.O. verrà effettuato esclusivamente a gravità, in quanto la sua quota di fondo è pari a circa 155.5 m s.m. e la quota di fondo del C.S.N.O. nei pressi dello scarico dell'invaso, previsto a valle del salto di fondo posto in corrispondenza della sezione CN-139, è pari a circa 155,15 m s.m..

Lo svuotamento dell'invaso a nord del C.S.N.O. viene effettuato in parte a gravità, relativamente alla porzione d'invaso compresa tra la quota 155,5 m s.m. e la quota di massimo invaso, pari a 159 m s.m.. Invece, per la porzione d'invaso compreso tra la quota 155,5 m s.m. e 144 m s.m. (minimo invaso) lo svuotamento avverrà attraverso una stazione di sollevamento.

Considerando una portata di svuotamento pari a $2 \text{ m}^3/\text{s}$, al fine di non sovraccaricare il tratto di valle del C.S.N.O. e di limitare il costo delle opere necessarie, si ha che il tempo per effettuare il completo svuotamento dei 2 invasi è pari a circa 6 giorni.

Per maggiori dettagli relativamente alle opere che consentono il funzionamento dell'invaso (sistema di alimentazione e scarico) si rimanda agli elaborati grafici allegati alla presente relazione, in particolare:

- B.06: planimetrie e sezioni dell'invaso di Senago;
- B.07: opera di presa dal C.S.N.O. dell'invaso di laminazione di Senago;
- B.09: tipologico dello scivolo di alimentazione;
- B.10: tipologico della stazione di sollevamento per lo svuotamento dell'invaso.

La quota di minimo invaso dell'opera di laminazione a nord del C.S.N.O. è stata scelta in funzione del livello della falda freatica. In base ai dati disponibili presso la Provincia di Milano, riportati nella Figura 101, si ha che il livello della falda registrato a marzo 2010 in corrispondenza dell'invaso è pari a circa 140 m s.m.. Dai dati riportati nella Figura 102 si può

osservare come il livello della falda sia molto variabile: negli ultimi 12 anni (1998-2010) la quota minima raggiunta dalla falda è stato di circa 135 m s.m., mentre la quota massima è stata di 144 m s.m..

In relazione a tali valori, non essendo possibile definire una quota di fondo dell'invaso che consentisse di escludere l'interazione con la falda, si è scelto di considerare come quota del fondo dell'invaso un valore di 133 m s.m. (2 m al di sotto del minimo livello della falda raggiunto nell'ultimo decennio) in modo tale da poter utilizzare la falda come alimentazione del laghetto permanente da prevedersi sul fondo dell'invaso, finalizzato a migliorare l'aspetto estetico e paesaggistico dell'invaso.

Il volume disponibile per l'invaso delle piene è vincolato dal livello del laghetto permanente, pari al livello della falda. Nei calcoli sopra riportati si è assunto come quota di minimo invasivo il valore della massima quota raggiunta dalla falda nell'ultimo periodo, pari a 144 m s.m..

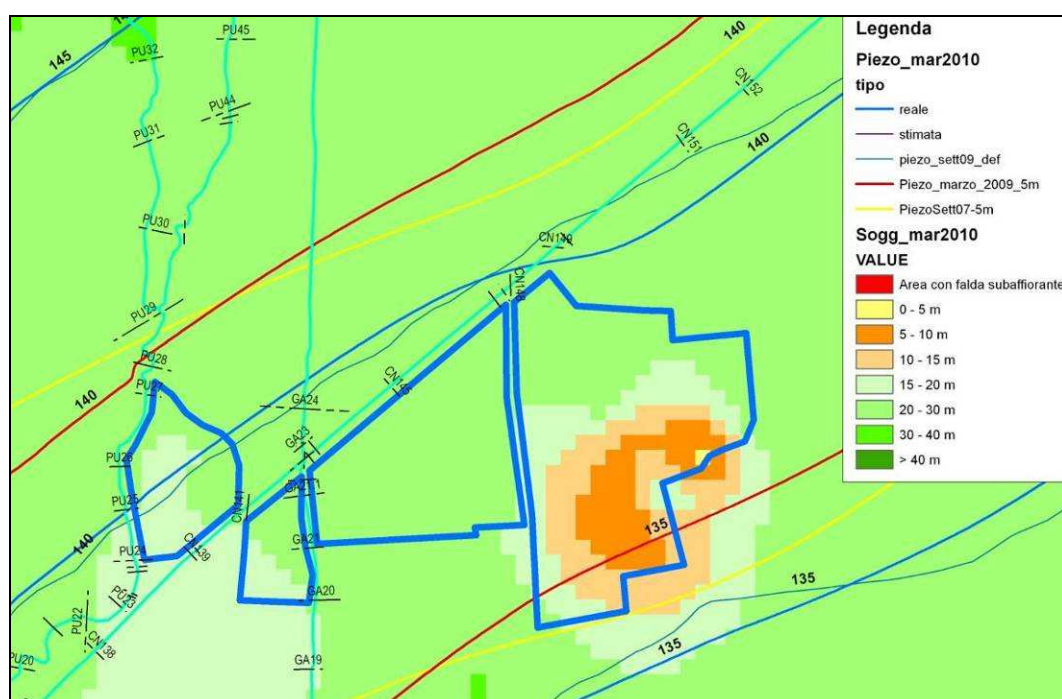


Figura 101 – Caratterizzazione del livello di falda nei pressi dell'invaso di Senago

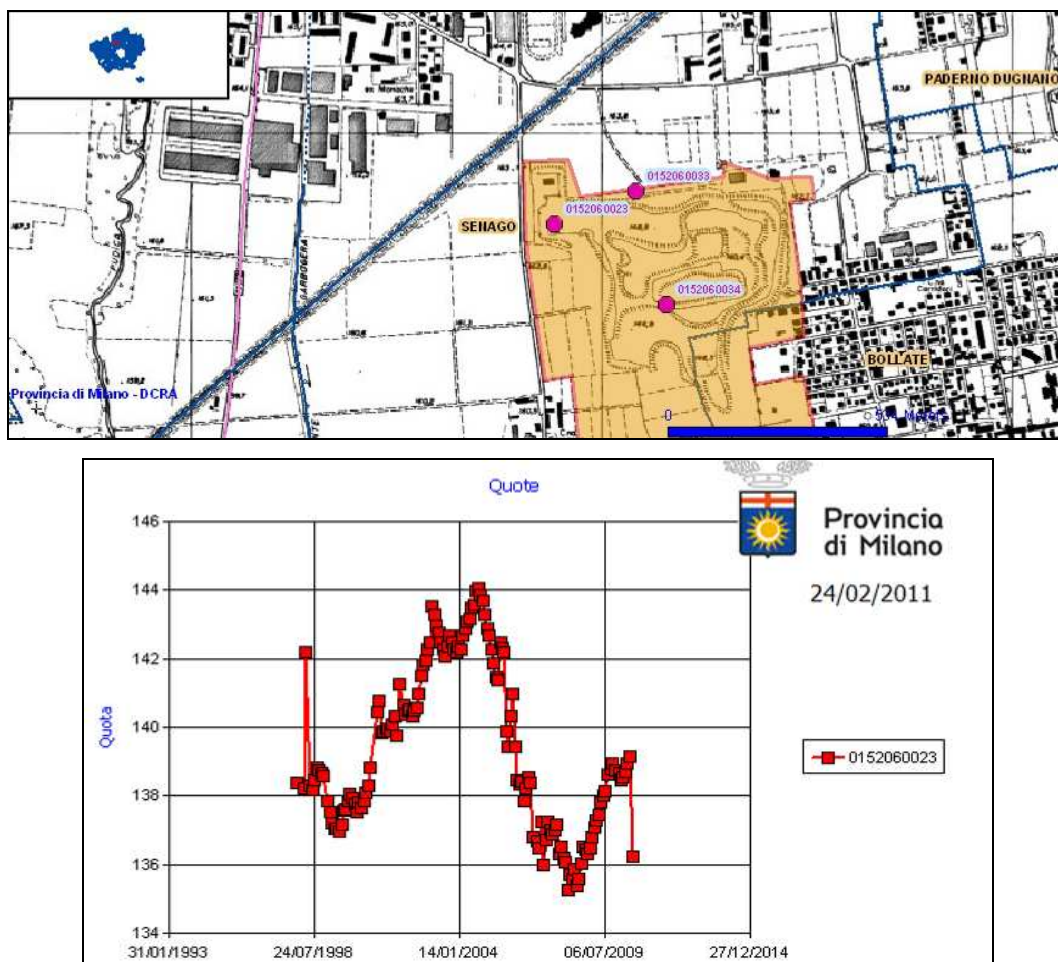


Figura 102 – Andamento temporale del livello di falda nei pressi dell’invaso di Senago.

L’assetto sopra descritto, che prevede l’interazione tra l’invaso e la falda, impone di adottare i seguenti provvedimenti tecnici, analogamente a quanto descritto per i precedenti invasi:

- impermeabilizzazione del fondo e delle sponde dell’invaso, in modo da evitare che le acque del Seveso in piena che vengono immesse nell’invaso possano percolare e raggiungere la falda freatica, con rischio di inquinamento della stessa in relazione alla scarsa qualità delle acque del Seveso;
- realizzazione di un dispositivo che, quando il livello della falda dovesse risultare maggiore del livello idrico nell’invaso, consenta di eliminare o attenuare l’azione delle sottospinte idrauliche che potrebbero alterare la stabilità e la funzionalità dell’invaso ed in particolare delle suddette opere di impermeabilizzazione. In tali casi, nelle successive fasi di progettazione degli invasi, dovranno essere analizzate soluzioni tecniche adeguate a tale fine; ad esempio si potrebbe prevedere un collegamento idraulico (piezometro) tra la falda e gli invasi che quando il livello

della falda è maggiore del livello negli invasi, convogli l'acqua all'interno del bacino di accumulo in modo da eguagliare i livelli idrici ed annullare quindi le sottospinte idrauliche. Tali dispositivi dovranno essere muniti di valvola a clapet, che si chiuda quando il livello nell'invaso è maggiore del livello della falda, in modo tale da evitare che le acque laminate del Seveso possano raggiungere la falda.

Per maggiori dettagli relativamente al sistema di interconnessione tra l'invaso e la falda, si rimanda all'elaborato grafici B.11, allegato alla presente relazione (di cui è riportato un estratto nella precedente Figura 83).

La realizzazione dell'invaso in oggetto consente, unitamente agli altri interventi di laminazione sopra descritti, di raggiungere l'assetto di progetto prefissato, cioè di garantire, in occasione di un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno centennale, l'annullamento della portata di piena del Seveso a valle dell'opera di presa del C.S.N.O. e di limitare il valore della portata nel C.S.N.O., a valle dell'opera di laminazione di Senago, a circa 25 m³/s.

4.3.7 Riepilogo degli interventi di laminazione previsti

In base a quanto specificato nei paragrafi precedenti, si che il volume complessivo di invaso che si prevede di realizzare lungo l'asta del Seveso e del CSNO è pari a circa 4,5 Mm³, così ripartiti:

➤ laminazioni in aree esondabili (Vertemate con M., Cantù, Carimate):	0,22 Mm ³ ;
➤ laminazione in scavo a Lentate sul Seveso:	0,85 Mm ³ ;
➤ laminazione in scavo a Varedo:	1,50 Mm ³ ;
➤ laminazione in scavo a Paderno Dugnano:	0,95 Mm ³ ;
➤ laminazione in scavo a Senago (lungo il C.S.N.O.):	1,00 Mm ³ .

4.4 RISULTATI DI SINTESI DELL'ASSETTO DI PROGETTO DEL T. SEVESO

Sulla base delle considerazioni espresse nei paragrafi precedenti, tramite la modellazione dell'assetto di progetto, si sono individuati gli idrogrammi di piena che si formano in tutte le sezioni dell'asta principale del T. Seveso e, contemporaneamente, i profili idrici di moto vario lungo tutti i tratti dell'asta medesima, per un tempo di ritorno di 100 anni.

I tabulati descriventi tali risultati (portate al colmo e livelli idrici nelle diverse sezioni) sono dettagliatamente presentati nell'elaborato A.03 allegato alla presente relazione.

A titolo esemplificativo, nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi di piena in alcune

sezioni significative del tratto di torrente modellato.

Nella successiva Tabella 8 sono riassunti i risultati dei calcoli idraulici in termini di quota idrica massima e portata al colmo in corrispondenza delle sezioni più significative.

Tabella 8 – Livelli idrici e portate in alcune sezioni del Seveso nell’assetto di progetto

Sezione	Descrizione	T 100 PROGETTO	
		Livello (m)	Portata (mc/s)
SV97	Ponte autostrada A9	304	23
SV93	Ponte S.S.35 a Portichetto di Luisago	299.5	30
SV91	Ponte strada comunale Portichetto – Casnate	298	32
SV87	Ponte S.P.27 (Como)	282.5	40
SV84	Ponte Abbazia Vertemate – Valle confluenza Acquanegra	256.4	50
SV77	Ponte S.P.34 (Como) - Idrometro di Cantù Asnago	247.9	45
SV73	Ponte FFSS Milano Chiasso a Carimate – Valle confluenza Valle Antonio	243.1	51
SV68	Ponte S.P.32 (Como)	235.7	48
SV64	Ponte linea FFSS Milano-Chiasso	226.8	68
SV57	Ponte di Camnago di Lentate sul Seveso	219.1	41
SV54	Ponte di Via Marconi - Barlassina	214.5	45
SV53	Ponte Superstrada Milano-Meda	212.6	45
SV42	Ponte FNM Seregno-Saronno	198.4	48
SV40	Ponte comunale Cesano Maderno – Valle confluenza T.Certesa	197.4	123
SV34	Ponte comunale Bovisio Masciago	187.5	129
SV32	Ponte comunale Bovisio Masciago	183.2	71
SV27	Ponte attraversamento Canale Villoresi – a monte presa CSNO	171.8	47

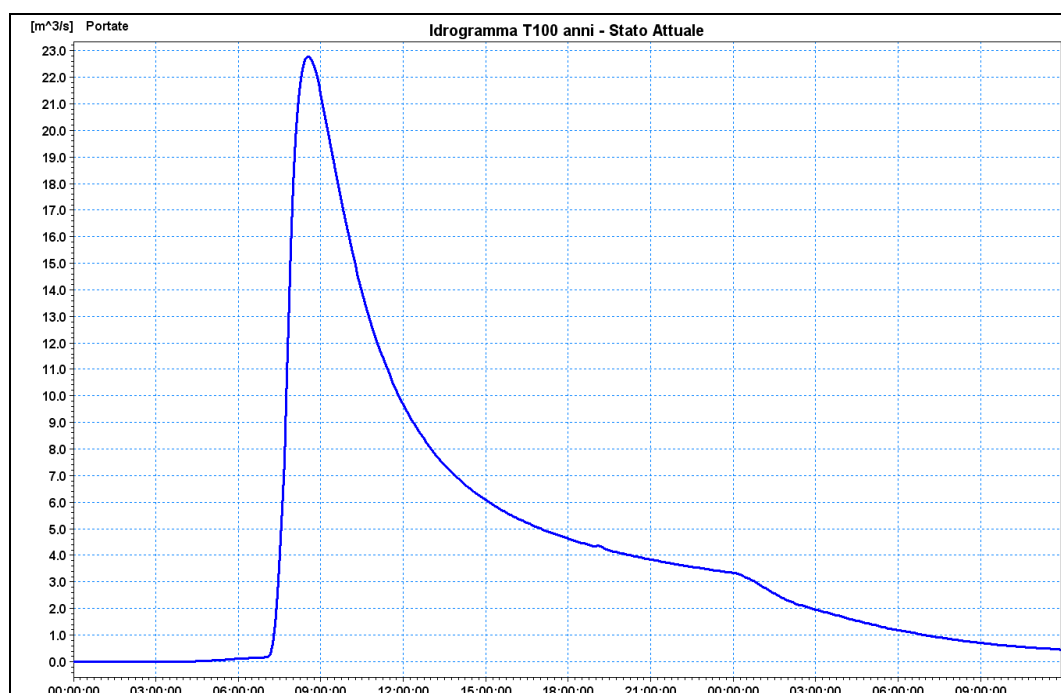


Figura 103 – Idrogramma T=100 anni alla sezione SV97 (Ponte autostrada A9) – assetto di progetto

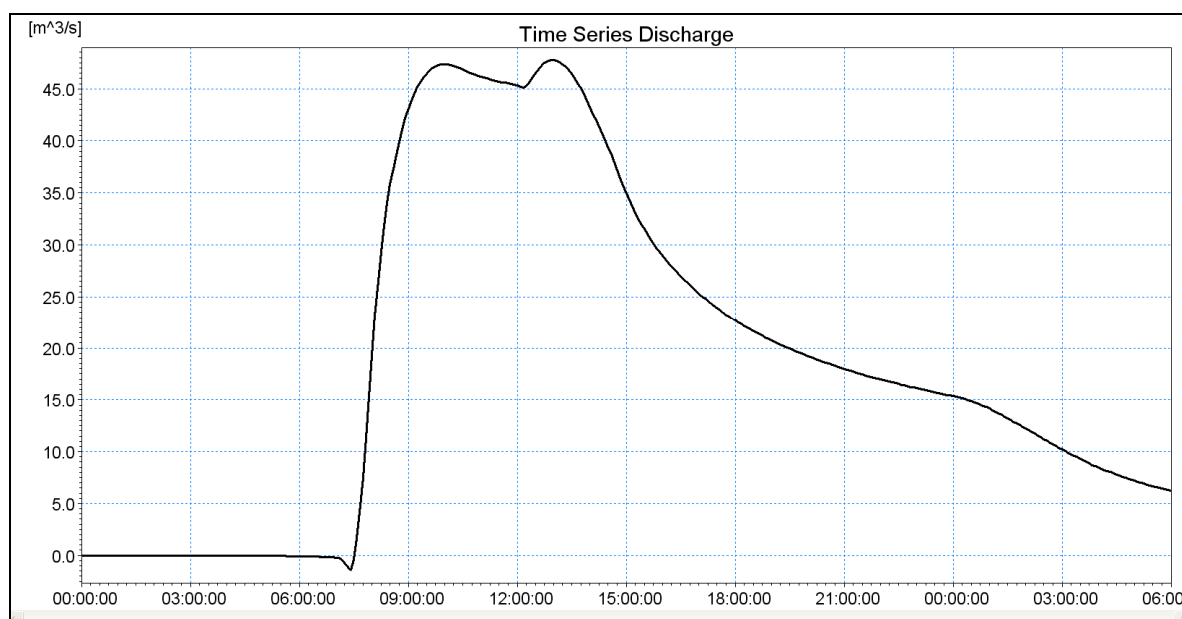


Figura 104– Idrogramma T=100 anni alla sezione SV68 (Ponte S.P.32) – assetto di progetto

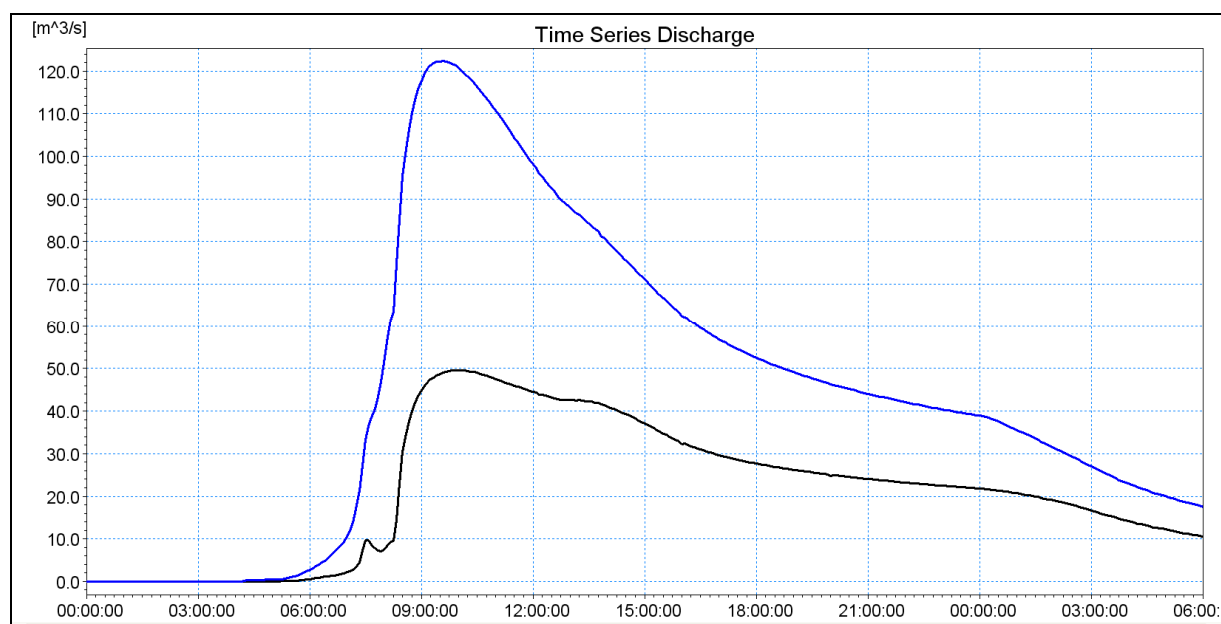


Figura 105 – Idrogrammi T=100 anni a monte (linea nera) e a valle (linea blu) della confluenza tra T. Seveso e T. Certesa – assetto di progetto

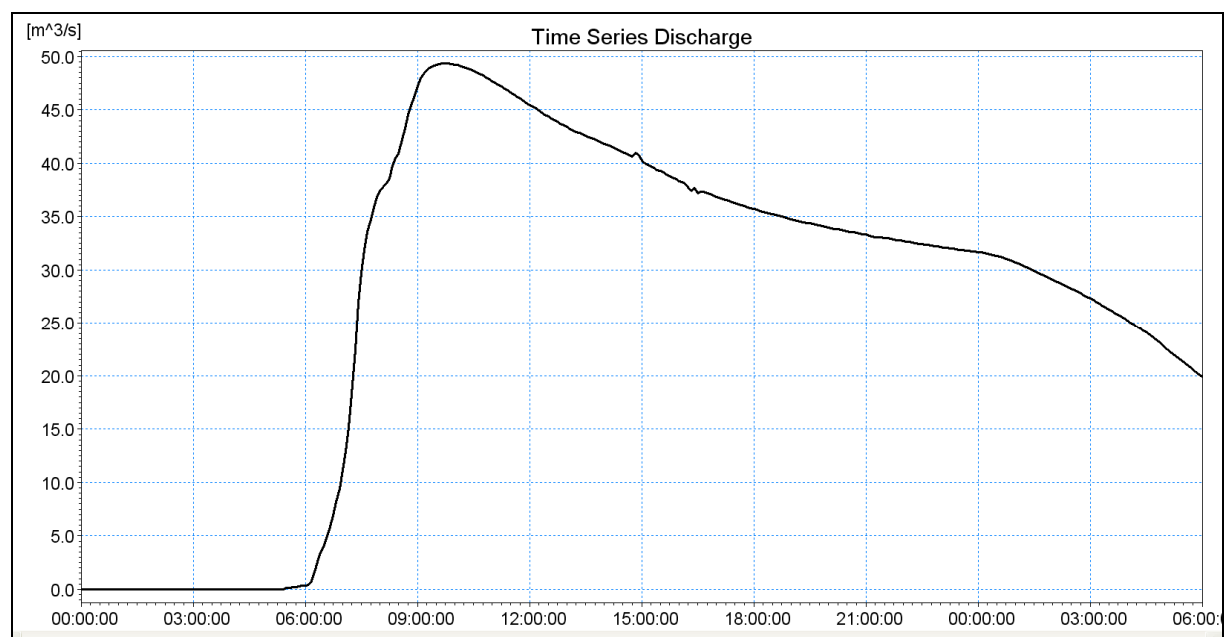


Figura 106 – Idrogramma T=100 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO – assetto di progetto (tale idrogramma viene scolmato interamente nel C.S.N.O.; nel Seveso, a valle della presa del C.S.N.O. la portata è nulla).

4.5 IMPERMEABILIZZAZIONE DEGLI INVASI

Nel precedente paragrafo 4.3 si è trattato il tema della possibile interazione tra gli invasi proposti e la prima falda, anche in relazione al fatto che occorre prevedere degli interventi di impermeabilizzazione del fondo e delle sponde dell'invaso, in modo da evitare che le acque del Seveso in piena che vengono immesse negli invasi possano percolare e raggiungere la falda freatica, con rischio di inquinamento della stessa in relazione alla scarsa qualità delle acque del Seveso.

La suddetta impermeabilizzazione delle sponde e del fondo può essere realizzata, ad esempio, mediante la posa di un telo impermeabile.

Nel dettaglio, il rivestimento della sponda degli invasi può essere così composto:

- profilo di scavo regolarizzato mediante posa di terreno fine, proveniente dallo scavo o da cave di prestito, spessore circa 15 cm;
- impermeabilizzazione mediante posa di geomembrana in pvc flessibile su geotessile non tessuto;
- consolidamento mediante posa di geocomposito di aggrappo (geostuoia tridimensionale) su geotessuto di rinforzo;
- copertura con terreno di coltivo (spessore di circa 20 – 30 cm) per inerbimento e piantumazione di essenze vegetali.

Nella Figura 107 viene rappresentato il rivestimento appena descritto.

Il rivestimento del fondo dell'invaso è identico a quello della sponda, fatto salvo l'assenza dello strato di consolidamento.

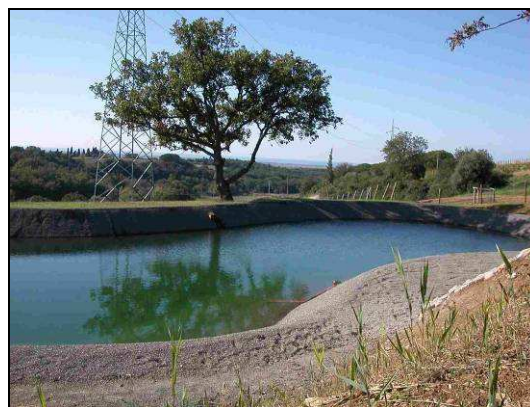
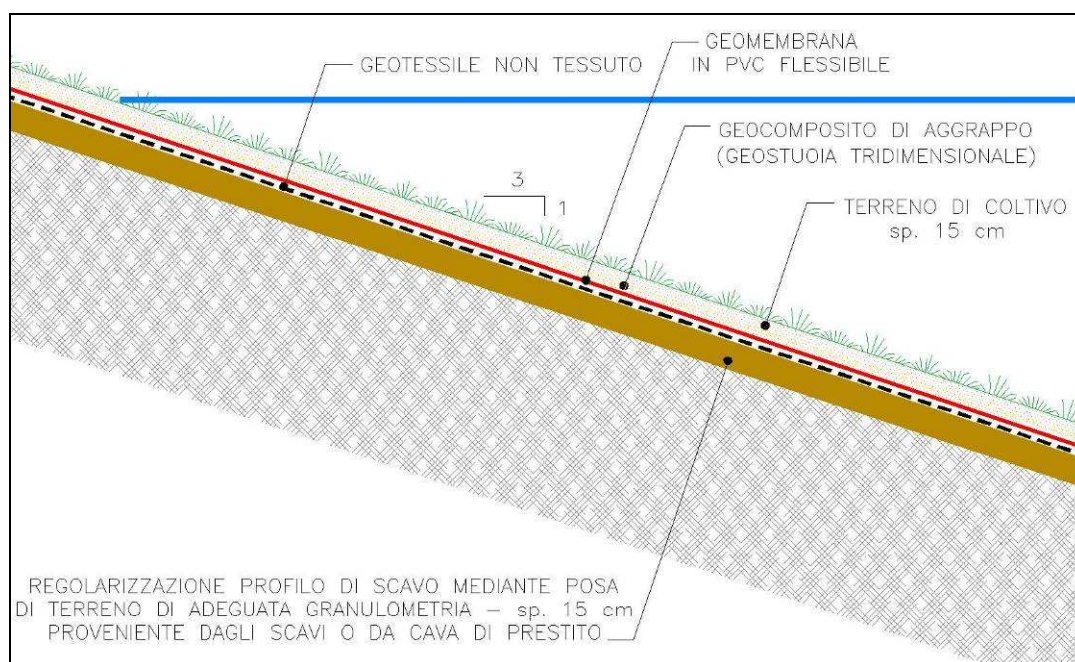


Figura 107 – sistema di impermeabilizzazione degli invasi mediante geomembrana in pvc flessibile

Si ritiene che tale tecnica di impermeabilizzazione sia preferibile rispetto alla posa di uno strato di argilla o terreno limoso – argilloso, rullato e compattato, per i seguenti motivi:

- l'argilla, per garantire ottimi livelli di impermeabilizzazione, deve mantenere un buon grado di umidità. Tale circostanza non può essere garantita negli invasi in oggetto a causa del loro utilizzo saltuario (solo durante eventi di piena), pertanto lo strato di argilla può asciugarsi, seccarsi e anche fessurarsi per ritiro a causa della contemporanea assenza di acqua all'interno degli invasi e del calore presente durante la stagione estiva;
- a causa della pendenza delle sponde, le lavorazioni di posa, rullatura e compattazione dell'argilla risultano essere poco agevoli, per cui la tenuta può non essere adeguata alle necessità.

4.6 INTERVENTO DI DISMISSIONE DEL DEPURATORE DI VAREDO CON CONSEGUENTE COLLETTAMENTO DELLE ACQUE AL DEPURATORE DI PERO

In data dicembre 2010 la società IANOMI S.p.A., gestore del sistema di collettamento e depurazione di diversi comuni posti all'interno del bacino del Seveso, hanno condotto uno studio di fattibilità relativo alla *“Dismissione depuratore di Varedo - collettamento acque al depuratore di Pero”*. Lo studio, oltre a prevedere di trasferire i reflui trattati attualmente a Varedo all'impianto di Pero attraverso la realizzazione di un collettore interrato, prevede di realizzare nell'area dell'impianto di Varedo una vasca di prima pioggia da 13'500 m³ e una vasca volano da 34'750 m³. Tali interventi potranno consentire di ridurre le portate scaricate nel Seveso dal sistema di drenaggio urbano di un valore pari a circa 5 m³/s, somma della riduzione della portata di 1,2 m³/s in seguito alla dismissione degli scarichi urbani nel Seveso (portate nere diluite), e degli effetti di laminazione delle portate meteoriche veicolate dai collettori consortili, pari a 3,2 m³/s.

Tale intervento pur non rappresentando un contributo significativo alla soluzione delle esondazioni prodotte dal Seveso, potrebbe rappresentare un primo importante passo nell'approccio al problema secondo il quale la limitazione delle portate di piena del corso d'acqua si possa ottenere anche attraverso diversi interventi di contenimento degli afflussi al ricettore naturale, con invasi diffusi sul territorio, alcuni di maggior rilevanza, altri di portata più modesta ma probabilmente tutti utili ad una soluzione globale e risolutiva.

4.7 STIMA DEI COSTI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI DI LAMINAZIONE IN SCAVO

Per ogni singolo invaso di laminazione è stato effettuato il computo metrico estimativo di massima delle opere. La stima per la realizzazione degli invasi è stata effettuata seguendo due differenti approcci:

1. considerando i costi di scavo, caratterizzazione del terreno, trasporto del materiale a siti di deposito e conferimento a discarica di una parte del materiale scavato e riconoscendo ai proprietari delle aree oggetto di intervento un indennizzo di esproprio relativo alla sola proprietà;
2. considerando il materiale di scavo di proprietà dell'appaltatore (non si considera nei costi lo scavo, il trasporto e gli oneri di discarica) e riconoscendo ai proprietari delle aree un indennizzo di esproprio maggiore rispetto a quello spettante per la sola proprietà delle aree, in modo da tenere in conto del fatto che chi realizza l'opera trae un vantaggio

economico dal materiale scavato per la formazione degli invasi.

La stima dei costi è stata effettuata valutando i seguenti interventi: formazione dell'invaso, impermeabilizzazione dell'invaso, sistemazione finale dell'invaso (inerbimento, piantumazioni, piste ciclabili, ecc.), opera di presa dal Seveso (o dal C.S.N.O.), canali di adduzione dall'opera di presa all'invaso, lo scivolo di alimentazione e dissipazione per l'alimentazione dell'invaso, le opere necessarie per lo svuotamento degli invasi (stazione di sollevamento, tubazioni in pressione, canali a pelo libero).

Come prezzi unitari sono stati utilizzati, ove possibile, quelli del prezzario ufficiali della Regione Lombardia del 2009, oltre a costi parametrici valutati per interventi analoghi.

Alla stima delle opere segue la stima degli oneri di sicurezza specifici (2% del valore delle opere) e delle somme a disposizione (spese tecniche, indagini, imprevisti, spese amministrative, espropri, IVA, ecc.). In particolare, le varie voci considerate nelle somme a disposizione sono state così determinate:

- spese tecniche, indagini (compresa caratterizzazione dei terreni), studi, ecc.: 12% delle opere e degli oneri della sicurezza;
- spese amministrative, gare, ecc.: 2% delle opere e degli oneri della sicurezza;
- imprevisti: 5% della somma delle opere, degli oneri della sicurezza;
- IVA: 20% della somma di tutte le voci precedenti (opere, oneri sicurezza, spese tecniche, imprevisti e oneri vari).

Per quanto riguarda gli espropri, con riferimento al precedente approccio descritto al punto 1. il calcolo è stato condotto considerando un valore di 20 €/m²; con riferimento al punto 2., invece, oltre a tale valore si è considerato un ulteriore indennizzo pari a 5 €/m³ di materiale scavato.

Il dettaglio della stima di massima della spesa è riportato nell'elaborato A.02, mentre nel seguito si riportano due tabelle di sintesi, una per ciascuno dei suddetti differenti approcci.

Tabella 9 – Sintesi dei costi di realizzazione degli invasi in scavo – approccio 1.

	importo opere [M€]	totale investimento [M€]
Lentate sul Seveso	21,6	32,8
Varedo	34,8	52,5
Paderno Dugnano	22,2	34,0
Senago	33,7	51,1
totale	112,3	170,4

Tabella 10 – Sintesi dei costi di realizzazione degli invasi in scavo – approccio 2.

	importo opere [M€]	totale investimento [M€]
Lentate sul Seveso	8,20	18,50
Varedo	12,20	28,30
Paderno Dugnano	8,20	18,90
Senago	14,70	30,80
totale	43,30	96,50

4.8 STIMA DEI COSTI DI GESTIONE DEGLI INTERVENTI DI LAMINAZIONE IN SCAVO

La gestione e la manutenzione degli invasi di laminazione previsti è senza dubbio fondamentale per garantire nel tempo la funzionalità di tali opere.

Nel presente paragrafo viene presentata una stima preliminare, di larga massima, dei possibili costi di gestione e manutenzione.

In particolare sono state considerate le seguenti voci, relative a ciascun invaso:

1. pulizia invaso: considerando un importo di 100 €/mc per rimozione e smaltimento rifiuti speciali non pericolosi e considerando un volume annuo medio di circa 2'500 m³, si ha che l'onere può essere assunto pari a 250'000 €/anno;
2. personale: considerando un monte ore di 2'000 ore/anno per funzioni di supervisione, controllo, riparazioni, pulizie, ecc. si stimano circa 60'000 €/anno;
3. manutenzione ordinaria opere civili ed elettromeccaniche: 50'000 – 100'000 €/anno
4. energia elettrica: considerando di sollevare in media 1 Mm³/anno per ciascun invaso, si

ha che l'onere energetico è pari a circa 15'000 €/anno.

Da quanto sopra riportato deriva che il costo di gestione e manutenzione per ogni singolo invaso di laminazione può essere assunto pari a circa 400'000 €/anno, per cui il costo dell'intero sistema è di circa 1'600'000 €/anno, pari a circa l'1% del costo totale dell'investimento, del tutto coerente con gli usuali standard dei costi di gestione e manutenzione.

5. CONCLUSIONI

Il presente “*Studio idraulico del torrente Seveso nel tratto che va dalle sorgenti alla presa del C.S.N.O. in località Palazzolo in Comune di Paderno Dugnano (MI) e studio di fattibilità della vasca di laminazione del C.S.N.O. a Senago (MI)*” ha consentito di aggiornare lo studio idrologico-idraulico del torrente Seveso condotto dall’Autorità di Bacino del fiume Po nell’ambito dello “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d’acqua naturali e artificiali all’interno dell’ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*” - 2002 ÷ 2004. Tale aggiornamento si è reso necessario in relazione alle mutate condizioni del territorio che hanno, di fatto, reso non realizzabili gli interventi di sistemazione idraulica che erano stati previsti lungo l’asta del Seveso, costituiti essenzialmente da due opere di laminazione, una in Comune di Meda e una in Comune di Nova Milanese, in corrispondenza di due siti di cava esistenti per l’estrazione di inerti.

Nel presente studio sono state individuati dieci differenti siti in cui prevedere la realizzazione di altrettanti invasi di laminazione, di cui sei in corrispondenza di aree di esondazione allo stato attuale (tre a Vertemate con Minoprio, una a Cantù e due a Carimate) e quattro in aree esterne all’ambito fluviale (laminazioni in scavo): Lentate sul Seveso, Varedo, Paderno Dugnano, Senago (quest’ultimo posto lungo il C.S.N.O.).

Tali opere, di volumetria complessiva pari a circa $4,4 \text{ Mm}^3$, consentiranno di raggiungere gli obiettivi dell’assetto di progetto, relativi al tratto di asta del torrente Seveso fino alla presa del C.S.N.O., contribuendo in modo decisivo alla messa in sicurezza della Città di Milano nei confronti dei numerosi e frequenti situazioni di esondazione che interessano in modo particolare il quartiere di Niguarda.

Tali opere consentiranno infatti, con riferimento ad un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno di 100 anni, di annullare le portate del Seveso a valle della presa del C.S.N.O., quindi verso Milano, e di limitare a $25 \text{ m}^3/\text{s}$ la portata di piena nel C.S.N.O. a valle di Senago, come previsto nel Progetto definitivo dei “*Lavori di adeguamento funzionale del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – M.I.E.781.*”, in procinto di essere appaltati.

Si sottolinea l’importanza che riveste una solerte salvaguardia delle aree destinate a ricevere le qui proposte laminazioni, allo scopo di rendere possibile la programmazione amministrativa ed economico-finanziaria delle stesse. Si sottolinea altresì l’importanza di

impostare e garantire nel tempo gli strumenti idonei per una gestione e manutenzione continuativamente efficiente delle aree di laminazione e dello stesso T. Seveso.

Milano, giugno 2011

IL PROFESSIONISTA INCARICATO

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

IL GRUPPO DI LAVORO

Dott. Ing. Stefano Croci

Dott. Ing. Omar Cella

Geom. Giorgio Cerutti