

UFFICIO OPERATIVO DI MILANO

Via Taramelli 12, 20124 Milano

**MB-E-3 PROGETTAZIONE DEFINITIVA
 E REDAZIONE DEL PIANO OPERATIVO DI BONIFICA
 PER LA REALIZZAZIONE DI UN'AREA DI LAMINAZIONE
 PER LE PIENE DEL TORRENTE SEVESO
 NEI COMUNI DI PADERNO DUGNANO (MI) E VAREDO (MB)
 C.I.G.: 6574175CD2 C.U.P.: B57B15000390003**

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GENERALE

RESPONSABILE PROGETTAZIONE GENERALE:
 DOTT. ING. FULVIO BERNABEI

PROGETTAZIONE IDRAULICA E STRUTTURALE:
 DOTT. ING. FULVIO BERNABEI
 DOTT. ING. STEFANO ADAMI
COORD. DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
 DOTT. ING. LAURA GRILLI

GEOLOGIA E PROGETTAZIONE GEOTECNICA:
 PROF. GEOL. LAMBERTO LUCIANO GRIFFINI
 DOTT. ING. STEFANO GRIFFINI

PROGETTAZIONE PAESAGGISTICA E AMBIENTALE:
 DOTT. ING. MASSIMO SARTORELLI
 DOTT. MARIO PUZZI
 DOTT. STEFANIA TRASFORINI
 DOTT. CHIARA LUVIÉ
 DOTT. ANDREA SIBILIA

CONSULENZE SPECIALISTICHE
 ASPETTI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI:
 PROF. ANGELO DAL SASSO
 PROF. GIUSEPPE CROSA

PIANO DI BONIFICA:
 PROF. GEOL. GIOVANNI PIETRO BERETTA
 DOTT. GEOL. MAURIZIO NESPOLI
 DOTT. ING. ADELIO PAGOTTO
 DOTT. GEOL. MONICA AVANZINI

DOTT. ING. PAOLO SANAVIA

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
 DOTT. ING. LUIGI MILLE

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



DIZETA INGEGNERIA
 STUDIO ASSOCIATO
 Via Bassini, 19 - 20133 MILANO Tel. 02-70600125
 server@dzetaingegneria.it Fax 02-70600014

MANDANTE:



MANDANTE:



MANDANTE:



MANDANTE: Ing. Paolo Sanavia

ELAB. N°

1

DATA **GIUGNO 2017**

COMMESSA N° 017/2016	REDATTO PS
CODICE COMMESSA DEFAIPOVAREDO	CONTROLLATO AD
NOME FILE	APPROVATO BERNABEI

Mod.7.3 F - Rev.01

REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA	REDATTO	CONTR.	APPR.
01	FEBB. 2019	REVISIONE A SEGUITO RAPPORTO DI VERIFICA			
02	LUGLIO 2019	MODIFICHE APPORTATE DAL RUP IN SEDE DI APPROVAZIONE DEL DEFINITIVO			
03	NOV. 2019	MODIFICHE APPORTATE DAL RUP IN SEDE DI APPROVAZIONE DEL DEFINITIVO			

INDICE

1	Premessa	3
2	Finalità dell'opera	6
3	Criteri di progetto	9
3.1	Criteri generali	9
3.2	Criteri migliorativi	10
4	Descrizione dell'opera	11
4.1	Generalità	11
4.2	Invaso di laminazione	12
4.3	Opera di presa	12
4.4	Sfioratore d'emergenza	14
4.5	Canali di alimentazione dell'invaso	15
4.6	Stazione di sollevamento	15
4.7	Opere di inserimento e valorizzazione paesaggistica	16
5	Stato ambientale del sito, piano di bonifica e costi aggiuntivi del progetto idraulico	19
5.1	Stima dei volumi e costi per l'adeguamento alle quote di scavo del progetto idraulico	29
6	Indagini conoscitive	31
6.1	Attività pregresse	31
6.1.1	Rilievi topografici	31
6.1.2	Geologia	31
6.1.3	Idrogeologia	32
6.1.4	Qualità delle acque sotterranee	33
6.1.5	Analisi sismica locale	33
6.1.6	Qualità delle acque del torrente Seveso	34
6.1.6.1	Caratterizzazione qualitativa del torrente Seveso	34
6.1.6.2	Campagna di monitoraggio qualitativo del T. Seveso e del CSNO da marzo a settembre 2014	44
6.2	Indagini integrative	51
6.2.1	Rilievi topografici	51
6.2.2	Analisi geognostiche	55
7	Sintesi delle relazioni specialistiche allegate al progetto	56
7.1	Relazione geologica, geotecnica e sismica	56

7.2	Relazione idrologica e idraulica	57
7.3	Relazione sulle strutture	57
7.4	Relazioni geotecniche di stabilità	58
7.5	Relazione sulle opere di inserimento paesaggistico ed ambientale	58
7.6	Relazione tecnica impianti	58
7.7	Relazione storica, architettonica ed archeologica	59
7.8	Relazione naturalistica-ambientale	60
8	Infrastrutture e servizi interferenti con l'opera	61
8.1	Gasdotto SNAM	61
8.2	Collettore fognario CAP Holding	62
8.3	Linea ferroviaria Milano-Lentate	64
9	Atti del progetto definitivo	64

1 Premessa

L'Agenzia Interregionale per il Fiume Po ha dato incarico all'Associazione Temporanea di Imprese e Professionisti costituita da Dizeta Ingegneria Studio Associato (capogruppo firmataria), Studio Griffini Srl (mandante), GRAIA srl (mandante), EG Studio Associato (mandante), Ing. Paolo Sanavia (mandante) di svolgere le attività per la progettazione definitiva dell'area di laminazione del torrente Seveso nei Comuni di Varedo (MB), Paderno Dugnano (MI) e Limbiate (MI).

L'opera rientra nell'ambito delle opere di laminazione previste nello *"Studio idraulico del torrente Seveso nel tratto che va dalle sorgenti alla presa del Canale Scolmatore di Nord Ovest (CSNO) in località Palazzolo in Comune di Paderno Dugnano (MI) e studio di fattibilità della vasca di laminazione del CSNO a Senago (MI)"* (d'ora in avanti denominato Studio AIPO 2011), redatto nel 2011 dalla società ETATEC Studio Paoletti s.r.l. su incarico di AIPO e successivamente approvato nell'ambito dell'Accordo di Programma relativo alla difesa idraulica del territorio milanese.

Lo studio rappresentava un aggiornamento del precedente e più generale *"Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona"*, condotto tra il 2002 ed il 2004 per conto dell'Autorità di Bacino con l'obiettivo di risolvere i diffusi problemi di allagamento nella città di Milano e nei centri dell'alta pianura Milanese. Tale aggiornamento si era reso necessario a causa delle mutate condizioni del territorio, che avevano di fatto reso irrealizzabili gli interventi di sistemazione idraulica sull'asta del Seveso originariamente previsti dall'Autorità di Bacino.

A seguito di una vasta analisi del corso d'acqua e del territorio ad esso limitrofo, lo Studio AIPO 2011 pose alla base dell'assetto di progetto del torrente Seveso le seguenti aree di laminazione:

- a) aree esondabili di laminazione "golenale" a Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate (volume di laminazione complessivo pari a circa 220.000 m³);
- b) opere di laminazione in scavo lungo il T. Seveso a Lentate sul Seveso (850.000 m³ di invaso), Varedo (1.500.000 m³) e Paderno Dugnano (950.000 m³);
- c) opere di laminazione in scavo lungo il CSNO a Senago (1.000.000 m³).

L'assetto di bacino individuato dallo studio, fu successivamente aggiornato ed integrato nelle fasi di progettazione delle singole aree di laminazione previste, in particolare nel:

- "Progetto preliminare di "Adeguamento delle Aree golenali del Torrente Seveso" nei comuni di Carimate, Vertemate con Minoprio e Cantù (CO) – aprile 2015, redatto dall'Associazione Temporanea di Imprese e Professionisti ETATEC Studio Paoletti S.r.l., Studio Paoletti Ingegneri Associati, Beta Studio S.r.l., Studio Associato di Geologia Spada, Dott. Ing. Alessandro Barbon;
- Progetto preliminare (agosto 2015) e definitivo (gennaio 2016) dell' "Area di laminazione del Torrente Seveso in Comune di Lentate sul Seveso (MB)" –, redatti dall'Associazione

Temporanea di Imprese e Professionisti ETATEC Studio Paoletti S.r.l., Studio Paoletti Ingegneri Associati, Studio Associato di Geologia Spada;

- Progetto preliminare dell' "Area di laminazione del Torrente Seveso nei Comuni di Varedo (MB), Paderno Dugnano (MI), Limbiate (MB)" – novembre 2015, redatto dall'Associazione Temporanea di Imprese e Professionisti ETATEC Studio Paoletti S.r.l., Studio Paoletti Ingegneri Associati, Beta Studio S.r.l., Studio Associato di Geologia Spada, Dott. Ing. Alessandro Barbon.

I nuovi aggiornamenti tenevano conto delle proposte di intervento presentate da alcuni Comuni nell'area settentrionale del bacino, a monte degli interventi inizialmente previsti. Nello specifico:

- i comuni di Cavallasca, Grandate, Luisago, Montano Lucino, S. Fermo della Battaglia e Villa Guardia avevano presentato, nell'ambito del bando regionale per la concessione di contributi pubblicato sul BURL S.O. n. 43 del 22-10-2014, una proposta progettuale che prevedeva, tra l'altro, la realizzazione di n. 3 aree di laminazione golenale per una volumetria complessiva di circa 150.000 m³;
- un'area di laminazione golenale lungo il Rio Acquanegra, affluente del T. Seveso, del volume di circa 10.000 m³ era allo studio su iniziativa del Comune di Fino Mornasco.

Di conseguenza, quando nel mese di aprile 2015 fu redatto il "*Progetto preliminare di adeguamento delle aree golenali nei comuni di Vertemate con Minoprio, Carimate e Cantù*", gli interventi già previsti nello Studio AIPO 2011 furono riprogettati tenendo conto degli effetti di laminazione delle opere previste più a monte, cercando inoltre di incrementare, rispetto a quanto previsto nel suddetto studio, il volume di laminazione disponibile nelle diverse aree golenali.

Il suddetto progetto preliminare portò quindi a definire le seguenti opere di laminazione:

- Comune di Vertemate con Minoprio:
 - Area di laminazione 1: volume pari a 66.500 m³;
 - Area di laminazione 2: volume pari a 71.500 m³;
 - Area di laminazione 3: volume pari a 71.800 m³;
- Comune di Cantù:
 - Area di laminazione 4: volume pari a 52.500 m³;
- Comune di Carimate:
 - Area di laminazione 5: volume pari a 57.500 m³;
 - Area di laminazione 6: volume pari a 202.300 m³.

Complessivamente il volume di invaso nelle sei aree golenali era pari a circa 522.100 m³, superiore di oltre 300.000 m³ rispetto a quanto previsto nello Studio AIPO 2011.

Nel mese di agosto del 2015 fu quindi redatto il progetto preliminare delle aree di laminazione in Comune di Lentate sul Seveso (Associazione Temporanea di Imprese e Professionisti ETATEC Studio Paoletti S.r.l., Studio Paoletti Ingegneri Associati, Studio Associato di Geologia Spada), che prevedeva la realizzazione di un volume di invaso complessivamente pari a 828.000 m³ (di poco

inferiore rispetto a quanto previsto nello Studio AIPo 2011, che prevedeva un invaso di circa 850.000 m³), suddivisi in un'area di laminazione golenale di volumetria pari a 20.000 m³ ed un'area di laminazione in scavo di volume pari a 808.000 m³. Il progetto definitivo delle opere, redatto nel gennaio 2016 dalla stessa ATI, confermava le volumetrie previste nel preliminare.

Nel novembre 2015 veniva infine redatto il progetto preliminare, sviluppato nel presente definitivo, dell'area di laminazione del torrente Seveso nei Comuni di Varedo (MB), Paderno Dugnano (MI) e Limbiate (MI), che prevedeva una vasca di laminazione in scavo da circa 2.200.000 m³, posta esternamente all'alveo di piena del torrente Seveso, con funzionamento in derivazione. L'invaso in progetto, localizzato circa 1 km a monte dell'opera di presa del Canale Scolmate di Nord Ovest, veniva ad accorpare le due vasche in scavo originariamente previste dallo Studio AIPo 2011 a Varedo e a Paderno Dugnano.

La presente Relazione generale contiene la descrizione delle opere, gli studi pregressi e le indagini conoscitive poste alla base della progettazione, i criteri che hanno portato alle scelte progettuali fatte; essa fornisce inoltre una sintesi delle relazioni specialistiche allegate al Progetto ed il quadro delle aree da assoggettare a vincolo per la realizzazione delle opere, oltre al quadro economico e all'elenco elaborati.

2 Finalità dell'opera

Come già indicato in premessa, l'opera in progetto rientra nell'ambito degli interventi di riassetto del bacino del torrente Seveso previsti dallo Studio AIPO 2011 e dai suoi successivi aggiornamenti.

Scopo degli interventi è quello di garantire un adeguato livello di protezione dalle piene lungo l'intera asta del torrente, in particolar modo all'interno della città di Milano, storicamente soggetta a frequenti fenomeni di allagamento. Tali fenomeni hanno visto un notevole incremento nel corso degli ultimi decenni (ben 104 esondazioni nel periodo 1976-2014), a causa della sempre crescente urbanizzazione del bacino e degli interventi di copertura dell'alveo nel tratto cittadino, che ne hanno limitato la capacità massima di deflusso a non più di 30-40 m³/s. Gli studi pregressi hanno ormai ampiamente dimostrato che tale capacità è più che saturata dagli apporti meteorici provenienti dal territorio dei Comuni a valle del Canale Scolmatore di Nord-Ovest (il canale realizzato negli anni Cinquanta per lo scolmo delle piene dei torrenti della pianura a nord di Milano compresa tra il Seveso ad est e l'Olonza ad ovest); nel loro complesso, gli interventi pianificati nello Studio AIPO 2011 (modificati nelle successive fasi di progettazione) mirano quindi ad assicurare il completo annullamento della portata del Seveso a valle del CSNO, consentendo la deviazione di tutte le piene in arrivo dal bacino di monte all'interno nel CSNO stesso; il conseguimento di tale obiettivo richiede la laminazione delle onde di piena, a monte e a valle dell'opera di derivazione delle portate.

A questo scopo, lo Studio AIPO 2011 (riprendendo il precedente Studio dell'Autorità di Bacino) prevede la realizzazione di una serie di invasi, da realizzarsi per lo più in scavo. Gli invasi dovranno consentire la laminazione delle portate del Seveso sino alla capacità limite di trasporto del CSNO, pari a circa 60 m³/s nel primo tratto a valle dell'opera di presa sul torrente Seveso, e a 25 m³/s a monte dello sfioro del T. Garbogera.

La Figura 1 mostra l'idrogramma di piena centennale di dimensionamento nella sezione a monte dell'opera di derivazione del CSNO. Tale idrogramma è stato ottenuto utilizzando come evento meteorico critico lo stesso evento ipotizzato dall'Autorità di Bacino nel proprio studio antecedente, rappresentato da uno ietogramma Chicago della durata di 24 h con tempo di ritorno 100 anni.

Poiché tale onda è caratterizzata da un volume di circa 6,7 Mm³, e considerando di poter lasciar proseguire verso valle una portata massima di 25 m³/s (0 a valle della presa del CSNO e 25 m³/s nel CSNO a monte dello sfioro del T. Garbogera), lo Studio AIPO 2011 stimava il volume complessivamente necessario per la laminazione dell'evento centennale di progetto complessivamente pari a 4,4 Mm³, ammettendo che il complesso delle laminazioni sia disposto in derivazione e con un effetto di "taglio" a portata costante (teoria della laminazione ottimale); secondo i più recenti aggiornamenti dello studio, di questo volume complessivo circa 2,2 Mm³ dovranno essere laminati nella vasca di Varedo, Paderno Dugnano e Limbiate.

In base alle valutazioni svolte in fase di progettazione preliminare, l'invaso completo della vasca al verificarsi della piena centennale dovrebbe garantire un rilascio massimo a valle dell'opera di 37 m³/s nell'assetto di bacino di progetto (a fronte di una massima portata da monte di 118 m³/s, vedi Figura

2) e di 72 m³/s nell'assetto di bacino attuale (a fronte di una massima portata da monte di 155 m³/s, vedi Figura 3).

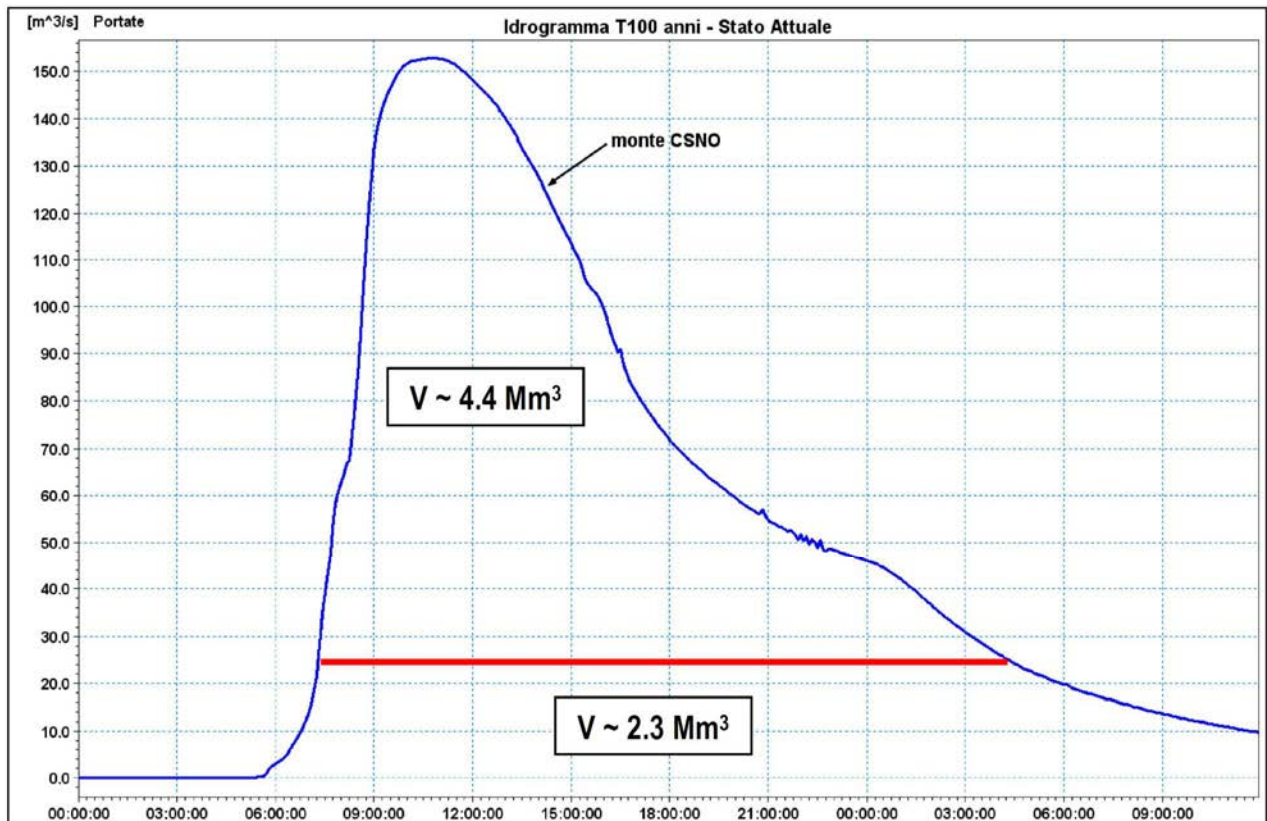


Figura 1. Idrogramma di piena del T. Seveso a monte della presa del CSNO. La linea rossa rappresenta il limite della portata che può proseguire nel CSNO a valle di Senago (intersezione con il T. Garbogera).

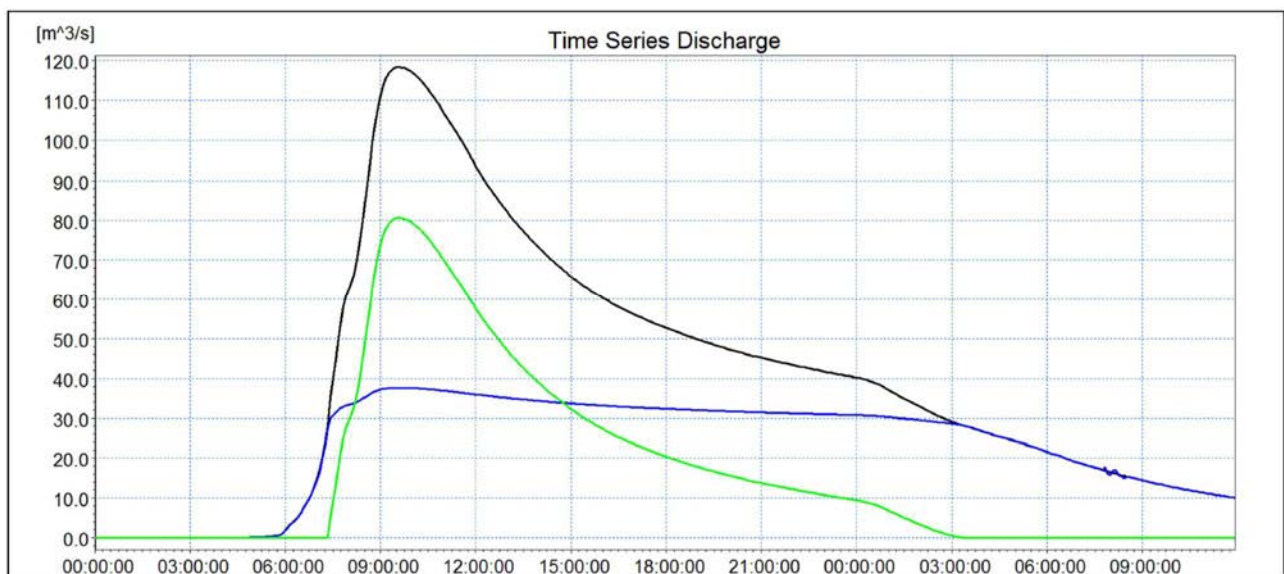


Figura 2. Idrogrammi relativi al sistema idraulico della vasca di laminazione di Varedo, Paderno Dugnano e Limbiate (T=100 anni) – assetto di progetto a monte dell'area di laminazione (linea nera: monte opera di presa, linea blu: valle opera di presa, linea verde: ingresso area di laminazione – $V \sim 2.200.000 \text{ m}^3$).

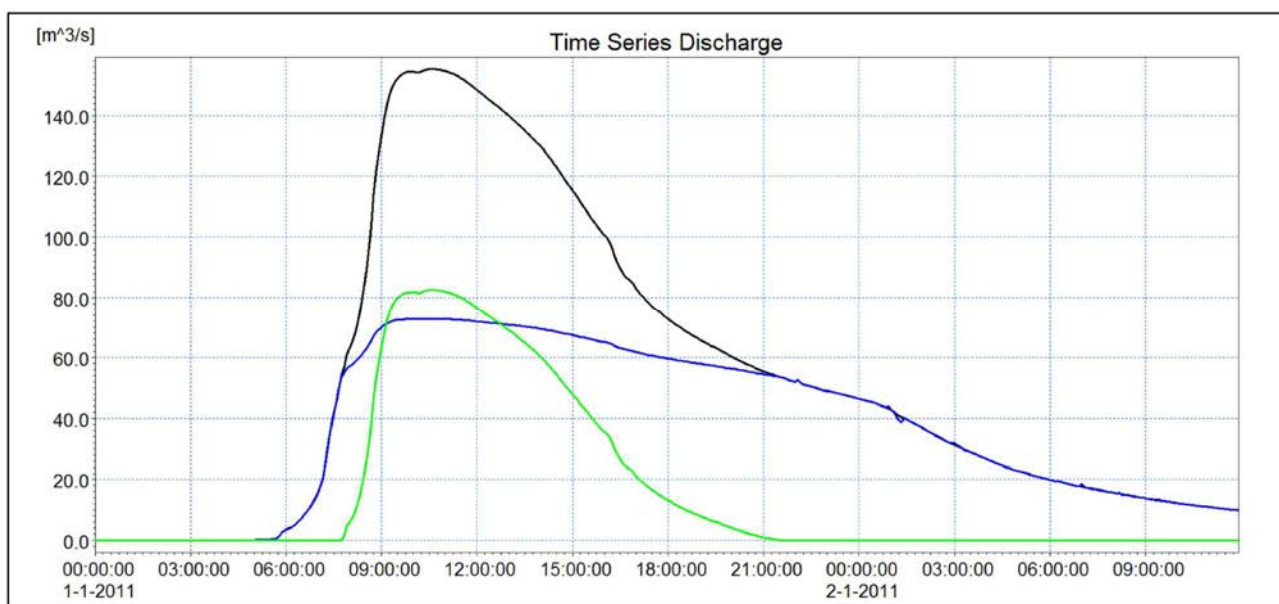


Figura 3. Idrogrammi relativi al sistema idraulico della vasca di laminazione di Varedo, Paderno Dugnano e Limbiate ($T=100$ anni) – assetto attuale a monte dell'area di laminazione (linea nera: monte opera di presa, linea blu: valle opera di presa, linea verde: ingresso area di laminazione – $V \sim 2.200.000 \text{ m}^3$).

3 Criteri di progetto

3.1 Criteri generali

Le ipotesi ed i criteri generali di dimensionamento posti alla base della presente progettazione sono stati dedotti dagli studi, dai progetti e dalla normativa sotto elencati:

1. Eventi di piena di progetto:

- ETATEC Studio Paoletti s.r.l. (su incarico AIPO) - "Studio idraulico del torrente Seveso nel tratto che va dalle sorgenti alla presa del Canale Scolmatore Nord Ovest (CSNO) in località Palazzolo in Comune di Paderno Dugnano (MI) e studio di fattibilità della vasca di laminazione del CSNO a Senago (MI)" - 2011;
- Associazione Temporanea di Imprese e Professionisti ETATEC Studio Paoletti S.r.l., Studio Paoletti Ingegneri Associati, Beta Studio S.r.l., Studio Associato di Geologia Spada, Dott. Ing. Alessandro Barbon (su incarico AIPO) – "Progetto preliminare dell'area di laminazione del Torrente Seveso nei Comuni di Varedo (MB), Paderno Dugnano (MI), Limbiate (MB)" – novembre 2015;
- Associazione Temporanea di Imprese e Professionisti ETATEC Studio Paoletti S.r.l., Studio Paoletti Ingegneri Associati, Studio Associato di Geologia Spada (su incarico AIPO) – "Progetto definitivo dell'area di laminazione del Torrente Seveso in Comune di Lentate sul Seveso (MB)" – gennaio 2016;
- Associazione Temporanea di Imprese e Professionisti ETATEC Studio Paoletti S.r.l., Studio Paoletti Ingegneri Associati, Studio Associato di Geologia Spada, Dott. Ing. C. Tonetto (su incarico AIPO) – "Progetto definitivo dell'area di laminazione sul CSNO in Comune di Senago";

2. Massima portata defluente a valle e volume di invaso della vasca:

- Associazione Temporanea di Imprese e Professionisti ETATEC Studio Paoletti S.r.l., Studio Paoletti Ingegneri Associati, Beta Studio S.r.l., Studio Associato di Geologia Spada, Dott. Ing. Alessandro Barbon (su incarico AIPO) – "Progetto preliminare dell'area di laminazione del Torrente Seveso nei Comuni di Varedo (MB), Paderno Dugnano (MI), Limbiate (MB)" – novembre 2015;

3. Dimensionamento strutture in c.a. ed acciaio:

- D.M. 14/02/2008 (NTC 2008): paragrafi § 4.1 (costruzioni di calcestruzzo), § 5.1 (ponti stradali), § 7 (progettazione per azioni sismiche);
- Circolare Esplicativa delle NTC 2008 n° 617 del 02/02/2009;

4. Interferenze con ferrovie:

- D.M. 4 aprile 2014 Ministero delle infrastrutture e dei trasporti - *"Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto"*.

3.2 Criteri migliorativi

Pur mantenendone le finalità e l'impostazione generale, il presente progetto definitivo della vasca di laminazione di Varedo, Paderno Dugnano e Limbiate ha apportato alcune modifiche significative al progetto preliminare del novembre 2015 (descritte nel successivo capitolo). Tali modifiche sono state introdotte al solo scopo di migliorare alcuni aspetti inerenti la realizzazione, la funzionalità e la gestione dell'opera, con particolare riferimento a:

1. incremento del margine di sicurezza nei confronti del sollevamento e di ogni altro rischio connesso all'interazione tra invaso di laminazione ed acquifero superficiale, alla luce dell'attuale tendenza alla risalita della falda;
2. riduzione delle prevalenze delle pompe necessarie per lo svuotamento dell'invaso, e dei costi di gestione connessi;
3. continuità di esercizio e riduzione del rischio di danneggiamento delle infrastrutture (ferrovia Milano-Lentate) e dei sottoservizi (collettore CAP Holding) interferenti con i lavori di realizzazione dell'opera;
4. contenimento degli effetti di rigurgito e garanzia di invarianza del rischio idraulico locale nel tratto d'alveo a monte dell'opera;
5. riduzione dei rischi di discontinuità di esercizio dell'opera causati da accumuli di solidi nei canali di alimentazione della vasca;
6. semplificazione delle operazioni di pulizia e manutenzione dell'opera;
7. miglioramento dell'efficienza di gestione del processo di invaso.

4 Descrizione dell'opera

4.1 Generalità

Il presente progetto definitivo del nuovo invaso di Varedo, Paderno Dugnano e Limbiate prevede la realizzazione di un invaso in scavo analogo a quello del progetto preliminare, del volume utile complessivo di circa 2,2 Mm³ e della profondità massima di 16 m dal piano campagna. L'invaso è sempre ubicato in sponda destra del T. Seveso, nell'area dell'ex stabilimento Snia interclusa tra la linea ferroviaria Milano – Como-Chiasso, a est, l'area industriale dismessa, a nord, il Canale Villoresi, a sud, e l'area residenziale di Limbiate, a ovest.

Le opere in progetto che costituiscono il sistema idraulico dell'area di laminazione in scavo sono le seguenti:

- invaso di laminazione fuori linea con volume utile complessivo di circa 2.100.000 m³;
- opera di presa dal T. Seveso costituita da:
 - o un canale di derivazione a sezione composta, larghezza alla base 12 m, lunghezza circa 35 m, terminante con una soglia di sfioro frontale con ciglio a quota 172,65 m s.l.m., dello sviluppo complessivo di 35,60 m, sezionabile mediante paratoia piana;
 - o una paratoia di regolazione delle portate defluenti a valle della vasca larga 12 m con altezza di apertura variabile fino ad un minimo di 60 cm;
 - o un misuratore di portata a risalto lungo 14,00 m, larghezza della sezione contratta 6,60 m, rapporto di strozzamento 0,55, posizionato circa 21 m a valle della paratoia e dotato di n° 2 pozzetti di calma per la misura dei livelli posti circa 7,5 m a monte;
- sfioro di emergenza costituito da una soglia laterale lunga 35 m a quota 173,90 m s.l.m., posizionata in sinistra al canale di derivazione, a monte della paratoia di esclusione della vasca;
- n° 2 scatolari a sezione rettangolare 3.50x4.50 m + n° 1 scatolare a sezione rettangolare 3.25x3.25 m per l'alimentazione e lo svuotamento dell'invaso, realizzati in sottopasso alla ferrovia esistente mediante spingitubo e collegati al manufatto di presa mediante pozzo rettangolare dim. 18,70 x 19,4 m;
- stazione di sollevamento delle acque invase nella vasca di laminazione non scaricabili a gravità e condotta di mandata DN1400 in acciaio per lo scarico nel T. Seveso, alloggiate nel pozzo di collegamento tra scatolari di riempimento/svuotamento vasca ed opera di presa.

4.2 Invaso di laminazione

In accordo con le previsioni dei precedenti livelli progettuali, la vasca di laminazione ha un volume utile di invaso di circa 2.200.000 m³. L'invaso è perimetrato da un argine di coronamento fino a quota 176,00 m slm (circa 1,00 m al di sopra del piano campagna), al fine di garantire un adeguato franco di sicurezza alla quota di massimo invaso prevista, pari a 174,08 m slm. Analogamente al progetto preliminare, l'invaso di laminazione è suddiviso in due settori da un argine in terra con quota di coronamento pari a 167,00 m slm, tracimabile per uno sviluppo di circa 150 m. I due settori della vasca saranno inoltre collegati sul fondo mediante n° 3 scatolari in c.a. a sezione rettangolare 2,00x2,00 m lunghi circa 34 m; i tre scatolari avranno la funzione di consentire il deflusso delle acque dal secondo al primo settore durante lo svuotamento dell'invaso; per impedire il flusso inverso gli scatolari saranno dotati di clapet.

Il primo settore della vasca, direttamente collegato ai canali di alimentazione provenienti dall'opera di presa, ha una quota di fondo pari a 159,00 m slm, mentre il secondo settore, alimentato dal primo settore per tracimazione dell'argine di separazione ha una quota di fondo minima pari a 160,00 m slm. Il volume del primo settore compreso tra la quota di fondo e il coronamento dell'argine di separazione è pari a circa 173.000 m³, mentre il volume del secondo settore sino al coronamento dell'argine di separazione è pari a circa 749.000 m³. Il volume tra la quota di coronamento dell'argine interno e la quota di massimo invaso è pari a circa 1.185.000 m³.

Le scarpate della vasca avranno pendenza 1:2 e saranno impermeabilizzate mediante una membrana bitume-polimero elastoplastomerica armata in filo continuo di poliestere non tessuto dello spessore di 4 mm, accoppiata con una geostuoia grimpante costituita da monofilamenti di polipropilene termosaldati stabilizzati ai raggi UV con carbon black, con struttura tridimensionale a doppia cuspidi, dello spessore di 20 mm. Il fondo vasca sarà invece impermeabilizzato mediante stesa e compattazione di terreno classe A2-4 (CNR-UNI 10006) proveniente dalla vagliatura del materiale di scavo, per uno spessore di 1 m.

4.3 Opera di presa

L'alimentazione dell'invaso di laminazione avverrà tramite un'opera di presa sul torrente Seveso, costituita da uno sfioratore del tipo a stramazzo con soglia fissa in c.a., ciglio a quota 172.65 m slm (altezza 2,15 m dal fondo alveo), avente una lunghezza pari a 35,60 m.

Come già detto sopra, lo sfioratore sarà posizionato all'interno di un canale di derivazione a sezione trapezia, lungo circa 35 m e largo 12 m al fondo; il canale avrà dimensioni analoghe all'alveo del torrente Seveso e sarà ad esso raccordato mediante una curva ad ampio raggio, in modo che, durante il passaggio delle piene, il filone principale della corrente si trovi indirizzato verso lo sfioratore stesso. Davanti allo sfioratore è prevista l'installazione di una paratoia di sezionamento motorizzata a doppia lente (luce nominale 12,00 x 4,50 m) per l'esclusione della vasca, nonché di uno sgrigliatore meccanico (larghezza luci 100 mm) per limitare l'ingresso di materiale solido alla vasca stessa.

Il materiale trattenuto dallo sgrigliatore sarà sollevato in una canalina di raccolta (sezione rettangolare 1,2 x 1,5 m, con angoli smussati, lunghezza 20,70 m, pendenza di fondo 5‰) da un pettine meccanico e da qui spinto all'interno di un pozzetto mediante un flusso d'acqua generato da un'apposita elettropompa sommergibile a flusso assiale ad asse verticale da 55 kW di potenza nominale (portata al punto di lavoro: 364 l/s, prevalenza 7,2 m e rendimento totale pari a 60%). L'elettropompa, installata all'interno di un tubo DN 700 in acciaio AISI 304 lungo circa 13,1 m con funzione di mandata, sarà collocata in un pozzetto da 1,30 x 1,30 m profondo 5 m. L'elettropompa funzionerà inoltre come pompa di sentina al fine di rendere l'opera di presa completamente ispezionabile.

La ripartizione delle portate in arrivo da monte tra vasca di laminazione e alveo di valle sarà regolata mediante una paratoia a settore larga 12,00 m, con altezza di ritenuta pari a 2,80 m, installata nell'alveo del Seveso a valle dello sfioratore. L'apertura della paratoia potrà variare da un minimo di 60 cm fino a un massimo di 2.40 m e sarà regolata per mezzo di n°2 pistoni oleodinamici, sulla base delle portate misurate a valle della vasca stessa, in modo da mantenere un rilascio a valle della vasca costante per tutta la durata dell'evento, pari a 37 m³/s. Nel tratto di inserimento della paratoia, l'alveo attuale del Seveso sarà sostituito da un canale cilindrico in c.a. a sezione rettangolare largo 12,0 m, con fondo piano a quota 170,50 m slm, mentre a monte della paratoia sono previsti interventi di rialzo delle sponde, finalizzati al contenimento dei rigurgiti indotti dalla paratoia stessa. All'interno del canale cilindrico, circa 21 m a valle della paratoia, sarà inserito un misuratore di portata a risalto con rapporto di strozzamento 0,55 (larghezza della sezione contratta 6,60 m) e fondo piano orizzontale; circa 7,5 m a monte della contrazione saranno realizzati n° 2 pozzetti di calma, in cui saranno alloggiati n° 2 sensori piezoresistivi per la misura dei livelli in alveo.

Per il dimensionamento del misuratore si è fatto riferimento agli schemi dei modellatori oggetto di sperimentazione nel Laboratorio d'Idraulica di Milano negli anni Trenta, ormai ampiamente.

Oltre ad essere caratterizzato dalla semi-modularità, ossia dall'indipendenza tra portate fluenti e livelli a valle, il modellatore a risalto è il solo mezzo di misura della portata di correnti a pelo libero per cui si sappia determinare la scala di deflusso esclusivamente in base a considerazioni analitiche, le quali derivano dallo studio del processo di movimento che in esso ha sede. La scala teorica può essere accettata senz'altro per tutti quei casi per cui non si richieda una notevole approssimazione delle misure, bastando che l'errore non superi il 3-4%, mentre solo per una maggiore precisione è necessaria l'introduzione di coefficienti correttivi sperimentali, che differiscono sempre poco dall'unità.

Per il recapito nell'invaso di laminazione delle portate derivate dal Seveso il progetto preliminare prevedeva un canale completamente interrato lungo circa 120 m, con quota di fondo pari a 168.75 m slm a valle dell'opera di presa del Seveso e a 168,25 m slm all'ingresso nella vasca di laminazione (pendenza circa 4‰), realizzato in sottopasso all'adiacente linea ferroviaria Chiasso-Milano. Il canale aveva sezione rettangolare, con base pari a 6.0 m ed altezza pari a 5.0 m, ad eccezione del tratto al di sotto della linea ferroviaria (quota ferro circa 175,60 m slm), dove era prevista la posa in

spingitubo di tre condotti circolari di diametro 3.2 m (quota estradosso 171,95 m slm). Prima nell'ingresso nell'invaso, lungo il canale di alimentazione era prevista la realizzazione di una griglia per trattenere i materiali flottanti trasportati durante la piena dalla corrente del Seveso.

Poiché la massima quota di falda misurata nell'area di intervento era di poco inferiore a 154 m slm (-3 m dal fondo vasca) e le campagne di misure realizzate nell'area hanno mostrato una tendenza della falda superficiale alla risalita, il progetto preliminare prevedeva una serie di misure per risolvere le possibili interferenze tra falda e vaso in fase di esercizio dell'opera. In primo luogo, il progetto prevedeva l'impermeabilizzazione della vasca fino alla quota di massimo vaso, per impedire l'infiltrazione in falda delle acque invase. La soluzione tecnica individuata era quella della messa in opera di un materassino bentonitico con superficie irruvidita, costituito da uno strato di bentonite calcica ad elevata prestazione e da una lamina poliolefinica dello spessore di 0,12 mm, interclusi fra due geotessili tessuti in PP, entrambi rivestiti con uno strato ruvido ad elevato indice d'attrito per impedire lo scivolamento del telo e del terreno di copertura. Il materassino, ricoperto da uno spessore di circa 1 metro di terreno, doveva garantire una permeabilità inferiore a 1×10^{-8} cm/sec.

Il progetto prevedeva inoltre un sistema costituito da una serie di tubazioni drenanti perimetrali, poste alla base delle scarpate, per intercettare e riversare all'interno della vasca l'acqua di falda, al fine di sopprimere eventuali sottospinte (sebbene il dislivello tra fondo finito della vasca e livello massimo di falda fosse superiore a 1 m). Tali tubazioni dovevano essere dotate di una valvola a clapet per consentire l'ingresso in vasca dell'acqua di falda, ma impedire l'uscita delle acque dalle vasche verso la falda.

4.4 Sfiatore d'emergenza

Analogamente al progetto preliminare, anche nel presente progetto è stato previsto uno sfioro di emergenza per la restituzione in alveo delle portate eccedenti la capacità di vaso della vasca.

Lo sfioratore d'emergenza sarà costituito da un muro tracimabile lungo 35 m, con ciglio di sfioro a quota 173,90 m slm; il muro, alto 4,40 m, costituirà la sponda sinistra del canale di derivazione delle portate in vasca.

Le portate di sfioro tracimeranno all'interno di una vasca di dissipazione con fondo a quota 169,50 m slm (-1 m rispetto al fondo alveo del Seveso) costituita da una platea di c.a. dello spessore di 100 cm, situata a destra del tratto di canale cilindrico in cui si inseriscono la paratoia ed il misuratore a risalto; l'abbassamento del fondo ha la funzione di creare un "cuscino" d'acqua a valle dello stramazzo, al fine di smorzare la propagazione di eventuali turbolenze a valle del manufatto. La vasca di dissipazione si ricollega all'alveo del Seveso immediatamente a valle del misuratore a risalto, mediante un raccordo rivestito da una platea in massi e da scogliere in pietrame.

4.5 Canali di alimentazione dell'invaso

Una volta sfiorate oltre la soglia di derivazione, le portate dirette alla vasca di laminazione cadranno all'interno di un manufatto interrato a pianta rettangolare 18,70 x 19,40 m, profondo circa 16 m.

Il manufatto, che alloggerà anche le pompe per lo svuotamento dell'invaso (vedi paragrafi successivi), sarà collegato alla vasca di laminazione mediante tre scatolari interrati in sottopasso all'adiacente linea ferroviaria Milano-Erba, dei quali:

- n° 2 scatolari a sezione rettangolare 4,50x3,50 m, lunghi circa 79 m, con quota di fondo costante e pari a 163,50 m slm;
- n° 1 scatolare a sezione rettangolare 3,25x3,25 m, lungo circa 93 m, con quota di fondo pari a 158,50 m slm all'imbocco lato manufatto e a 159,00 m slm allo sbocco in vasca; la pendenza (del 5‰ circa) verso il manufatto serve per consentire il deflusso a gravità verso le pompe delle acque invase in fase di svuotamento della vasca.

4.6 Stazione di sollevamento

Analogamente a quanto previsto nel progetto preliminare, lo svuotamento dell'invaso avverrà per una parte a gravità e per una parte (la più consistente) mediante sollevamento meccanico.

Lo svuotamento a gravità potrà essere effettuato per il volume di invasore compreso tra la quota di massima regolazione, pari a 174,08 m slm, fino alla quota di 171,87 m slm, corrispondente alla quota di rigurgito del Seveso davanti alle paratoie di regolazione dello scarico di svuotamento per una portata di 10 m³/s; il volume invasore tra tali due quote è pari a circa 395.000 m³, che corrisponde al 19 % del volume di invasore disponibile; come mostrato nei capitoli successivi, la portata media di scarico a gravità è pari a circa 12 m³/s, per cui il tempo di svuotamento della prima porzione di invasore è pari a circa 9 ore.

Come anticipato nei paragrafi precedenti, le pompe di sollevamento per lo svuotamento dell'invasore saranno installate all'interno dello stesso manufatto interrato da cui partono i canali di alimentazione dell'invasore. Il fondo del manufatto è stato posto alla quota di 157,30 m slm in modo da risultare di 1,70 m inferiore alla minima quota di fondo vasca e poter così garantire la necessaria sommersione delle pompe installate. Lo scatolare di alimentazione dell'invasore al fondo ha inoltre una pendenza del 5‰ in direzione del manufatto interrato, in modo da consentire il deflusso delle acque invase verso le pompe in fase di svuotamento.

Il sistema di sollevamento previsto è costituito da due serie di elettropompe sommergibili a flusso assiale ad asse verticale. La prima serie, costituita da n. 2 pompe da 350 kW di potenza nominale (portata al punto di lavoro: 2400 l/s, prevalenza 9,06 m e rendimento totale pari a 69%), poste sul fondo del manufatto interrato, permette lo svuotamento della porzione di invasore compresa tra la quota 171,87 m slm e la quota 163,50 m slm, a cui corrisponde un volume idrico pari a 1.276.000 m³ (circa 61% dell'intero volume di invasore). La portata media di svuotamento è pari a circa 8,3 m³/s, per cui il tempo stimato per lo svuotamento di tale porzione di invasore è pari a circa 43 ore.

Ognuna delle due pompe sarà installata all'interno di un tubo contenitore in acciaio AISI 304 DN1200 lungo circa 18 m, con scarico DN 1000 a quota 170,50 m slm (quota centro tubo) dotato di clapet. Gli scarichi delle mandate restituiranno le portate sollevate immediatamente a monte dello sfioro dell'opera di presa.

La seconda serie sarà costituita da n. 2 pompe da 350 kW di potenza nominale (portata al punto di lavoro: 1800 l/s, prevalenza 12,50 m e rendimento pari a 76,6%), poste anch'esse sul fondo del manufatto, e permetterà lo svuotamento della porzione di invaso compresa tra la quota 168.50 m slm e la quota 159,00 m slm (fondo invaso), a cui corrisponde un volume idrico pari a 1.153.000 m³ (circa 55 % dell'intero volume di invaso). La portata media di svuotamento è pari a circa 6,1 m³/s, per cui il tempo stimato per lo svuotamento di tale porzione di invaso è pari a circa 53 ore. Ognuna delle due pompe sarà installata all'interno di un tubo contenitore in acciaio AISI 304 DN1200 lungo circa 18 m, con scarico DN 1000 a quota 170,50 m slm (quota centro tubo) dotato di clapet. Gli scarichi delle mandate restituiranno le portate sollevate immediatamente a monte dello sfioro dell'opera di presa.

Le portate sollevate dalle elettropompe saranno restituite nel T. Seveso immediatamente a valle dello sfioratore di emergenza, attraverso una coppia di paratoie motorizzate dim. 1,50 x 3,00 m, con quota di fondo 169,50 m slm. L'apertura delle paratoie sarà regolata in modo da mantenere a monte di esse un livello costante, pari a 172,60 m slm per livelli nell'invaso superiori a quota 164,10 m slm, e a 171,80 m slm per livelli nell'invaso inferiori a quota 164,10 m slm. Le paratoie di scarico regolate svolgono una duplice funzione: da un lato mantengono a monte un battente sufficiente ad assicurare che lo scarico delle portate di svuotamento non sia rigurgitato dai livelli in Seveso, dall'altro assicurano il mantenimento di prevalenze compatibili con il campo di impiego delle pompe di svuotamento.

I quadri elettrici di controllo delle pompe e la cabina di trasformazione MT/BT saranno localizzati all'interno di un edificio servizi in prossimità dell'opera di presa.

4.7 Opere di inserimento e valorizzazione paesaggistica

Nell'ambito del presente progetto risulta di fondamentale importanza l'adeguamento delle vasche dal punto di vista ambientale al fine di creare un sito con valenze naturali di pregio e possa al contempo costituire un polmone verde all'interno del nucleo urbanizzato circostante.

Come spiegato in modo più dettagliato nella relazione sulle opere di inserimento paesaggistico ed ambientale, l'intervento di inserimento paesaggistico ed ambientale non vuole stravolgere l'attuale assetto urbanistico con un elemento spiccatamente naturale (in modo da favorire la connettività ecologica e la fauna locale) che cerchi di contrastare il tessuto urbano di Varedo, Paderno Dugnano e Limbiate, ma piuttosto di inserirlo in continuità con esso, cercando di creare un parco verde integrato in un contesto quasi totalmente antropizzato.

Pertanto, oltre naturalmente alla funzione idraulica dell'opera, si darà priorità alle funzioni "sociali" delle vasche di laminazione, creando zone fruibili dal pubblico con la possibilità per le Amministrazioni comunali di utilizzare tali enormi spazi per la pubblica utilità.

Si sottolinea che la configurazione dell'opera oggetto degli interventi, nonché le opere a verde e gli allestimenti interni, originariamente previsti nel Progetto Preliminare "Area di laminazione del Torrente Seveso – Comune di Varedo (MB), Paderno Dugnano (MI), Limbiate (MB) – MI-E-795" datato Novembre 2015 e redatto dalla società ETATEC s.r.l. per conto di AIPO – Agenzia Interregionale per il fiume Po, sono stati modificati a causa delle nuove esigenze emerse per l'implementazione di adeguate misure di mitigazione ambientale e per l'inserimento paesaggistico dell'opera nel territorio.

Obiettivo principale dell'opera da realizzare sarà quello di garantire la salvaguardia del territorio urbanizzato e della viabilità nell'intorno e a valle dell'area di laminazione, conformemente alla pianificazione idraulica e di riduzione del rischio riferita all'intero bacino del Torrente Seveso.

Durante tutto l'iter progettuale, e in accordo con quanto già previsto dal Progetto Preliminare, è stato ampiamente condivisa all'interno del team di lavoro e ad AIPO la duplice funzione delle vasche: riduzione del rischio idraulico e sviluppo generale del territorio e delle aree a verde.

Particolare importanza ai fini del miglior inserimento all'interno del territorio sarà data all'integrazione paesaggistica e naturalistica delle opere.

In linea generale, la strategia seguita cercherà di ridurre al massimo l'impatto ambientale dell'opera, ove possibile (si sottolinea l'evidente stato di abbandono dei terreni interessati dai lavori), applicando tecniche ed interventi in grado di garantire un minor grado di impatto sulla componente ecosistemica e paesaggistica, nonché di integrarsi con il contesto circostante e richiedere interventi di manutenzione piuttosto limitati.

L'inserimento paesaggistico dell'opera giocherà un ruolo chiave per la cittadinanza: la realizzazione dell'opera viene intesa non come "imposizione" ma come "opportunità" e da questo concetto si è partiti per la progettazione di interventi che vanno ad inserirsi sulle scarpate e sul fondo delle vasche. Questi ultimi avranno lo scopo di valorizzare il sito e promuoverlo agli occhi dei fruitori.

Come è già avvenuto in altri contesti, specialmente in nord Europa, si vuole dare risalto alle funzioni idrauliche dell'opera e contestualmente creare un'area a verde che possa rappresentare un'area verde di svago all'interno di un contesto intensamente antropizzato. Particolare attenzione dovrà essere posta dalle Amministrazioni comunali relativamente al suo utilizzo e alle opportunità che tale spazio potrà offrire, anche per l'organizzazione di manifestazioni ed eventi.

La progettazione delle opere di inserimento paesaggistico ha riguardato in particolare i seguenti aspetti:

- Gli invasi: fondo vasca e strato superficiale
- Interventi spondali sul Seveso
- Le opere a verde:

- Piantumazione arbustiva e arborea
 - Inerbimento delle scarpate
 - Scelta delle specie utilizzate per le piantumazioni
 - Definizione dell'abaco delle specie vegetali
 - Sesti d'impianto
 - Modalità di messa a dimora delle specie arbustive e arboree
 - Definizione degli interventi pluriennali di manutenzione
- Percorsi ciclopedonali e aree attrezzate

5 Stato ambientale del sito, piano di bonifica e costi aggiuntivi del progetto idraulico

La zona interessata dagli interventi è ricompresa in un Sito Inquinato di Interesse Regionale denominato "Ex SNIA".

Il sito, localizzato tra i Comuni di Paderno Dugnano e Varedo, ha ospitato in passato l'insediamento industriale SNIA BPD, in seguito suddiviso in diverse proprietà: SNIA s.r.l., Nylstar S.p.A., SELMA BPM, ecc.

Nel corso del tempo, l'area è stata oggetto di attività di stoccaggio di acido solforoso (ceneri di pirite) e rifiuti vari; pertanto, a partire dal 1997-1998 è stato avviato un piano di indagini ambientali per la caratterizzazione del suolo, sottosuolo e della prima falda. Le indagini hanno evidenziato la presenza di ceneri rossastre violacee e materiali di riporto vari (RSUA, amianto da demolizioni, ecc), per spessori che, dai dati in possesso, sembrano comunque contenuti.

Attualmente il sito risulta suddiviso in tre proprietà (Nylstar, Casananda e Immobiliare SNIA), ragion per cui il piano di bonifica in fase di attuazione ha previsto una ripartizione dell'area in settori di intervento. La Figura 4, fornita dalla Soc. SNIA a Regione Lombardia, mostra il quadro complessivo dello stato di avanzamento, riferito a settembre 2014, delle indagini e delle bonifiche per i diversi settori interessati da contaminazione.

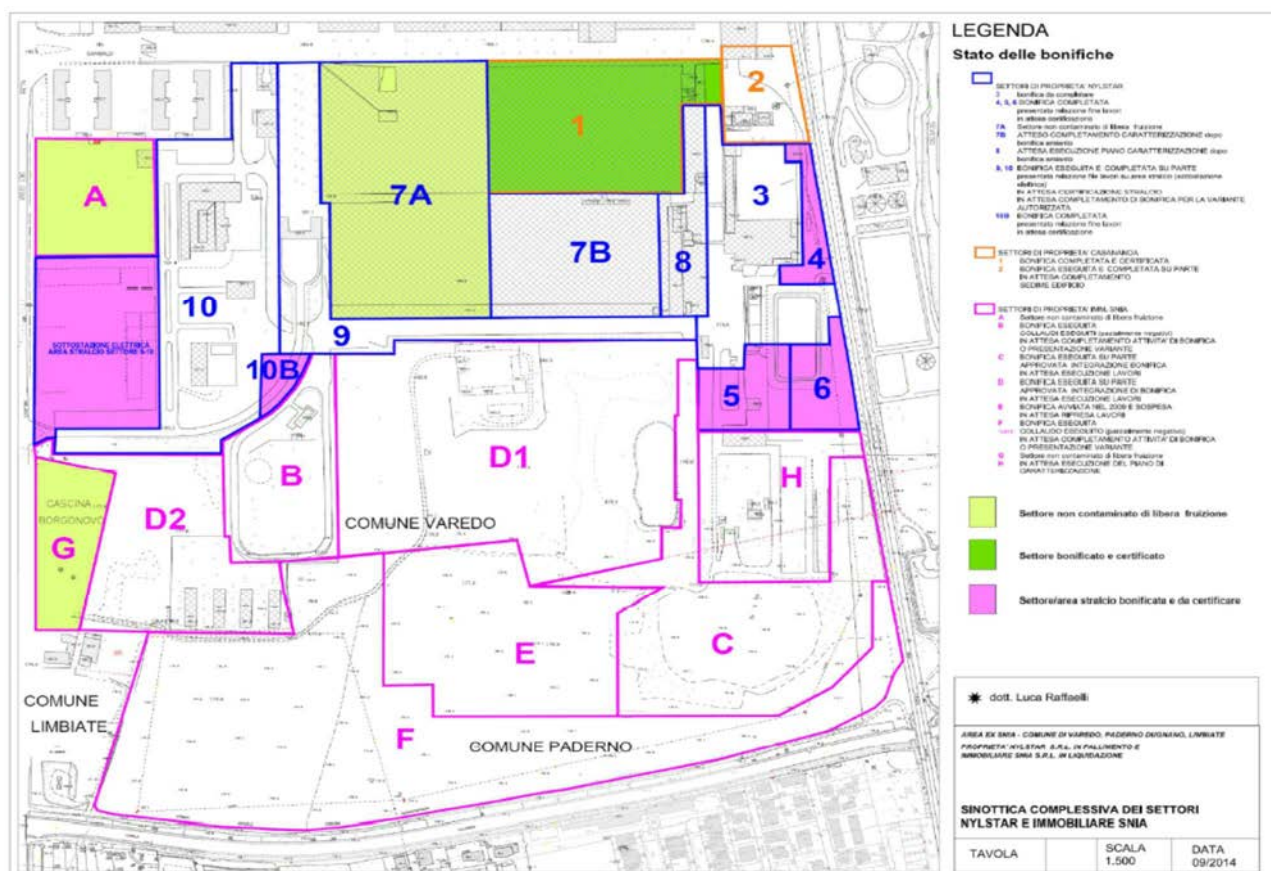


Figura 4. Planimetria sinottica dello stato di avanzamento della bonifica a settembre 2014 (fonte: Dott. Luca Raffaelli).

Il quadro riepilogativo mostra che la bonifica risulta completata e certificata solamente su un'area a nord del sito; mentre tre settori a nord e ad ovest risultano non contaminati e di libera fruizione. Tutti gli altri settori presentano diversi livelli intermedi di avanzamento delle attività di bonifica e conseguentemente di inquinamento. Tutte le aree sono ancora gravate dal vincolo di legge apposto sulle aree contaminate.

Come visibile in Figura 5, l'area interessata dai lavori di realizzazione della vasca ricade nei settori a sud, attualmente di proprietà della Società Immobiliare SNIA, in liquidazione.

La suddivisione dell'area nelle diverse destinazioni d'uso e dei conseguenti obiettivi di bonifica da adottare ai sensi del D.Lgs. 152/06, è stata definita dalla Regione Lombardia con Decreto della D.G. Territorio, Urbanistica, Difesa del Suolo e Città Metropolitana – Difesa del Suolo (Protocollo Z1.2017.0002457 del 02/03/2017), come illustrato nella seguente Figura 5.

Per le destinazioni d'uso dell'area di intervento, i limiti di accettabilità dei suoli a cui si deve fare riferimento (dati per il caso in esame dalle CSC – Concentrazione Soglia di Contaminazione) sono la colonna A (suoli ad uso verde pubblico e privato, residenziale) e la colonna B (suoli ad uso industriale e commerciale) dell'Allegato al Titolo V del D.Lgs. 152/06, "Allegato 5 - Valori di concentrazione limite accettabili nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare", Tabella 1.

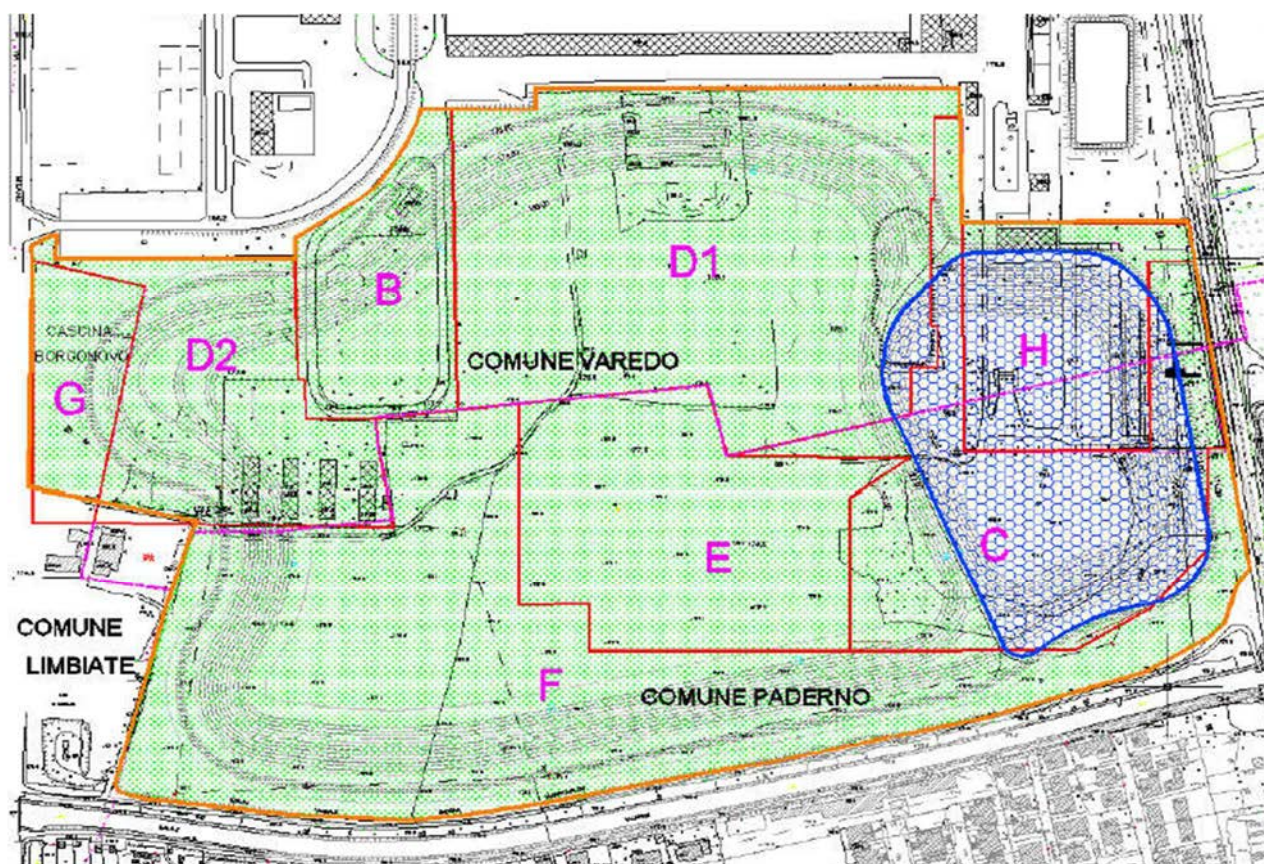


Figura 5. Individuazione delle destinazioni d'uso e dei conseguenti obiettivi di bonifica per i vari settori (retino verde = Tabella 1, colonna A, retino azzurro = Tabella 1, colonna B del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.) (fonte: Piano di Bonifica, dott. M. Nespoli e Prof. G. P. Beretta).

Gli interventi in progetto ricadono nei settori B-H, per i quali valgono le seguenti considerazioni:

- Settori B, D2, E, F, G – CSC da adottare sono quelle della Tabella 1 colonna A;
- Settore D1 - CSC da adottare sono quelle della Tabella 1 colonna A, fatta eccezione per una limitata porzione SE, dove valgono le CSC della Tabella 1, colonna B;
- Settore C - CSC da adottare sono per la maggior parte dell'area quelle della Tabella 1 colonna B, fatta eccezione per alcune porzioni occidentali e orientali dove valgono le CSC della Tabella 1, colonna A;
- Settore H - CSC da adottare sono per la maggior parte dell'area quelle della Tabella 1 colonna B, fatta eccezione una piccola porzione settentrionale dove valgono le CSC della Tabella 1, colonna A.

Il **Piano di Bonifica** redatto dal dott. M. Nespoli e dal Prof. G. P. Beretta nei mesi di luglio/novembre 2019 prende in considerazione i risultati delle numerose indagini di caratterizzazione eseguite nel periodo compreso tra il 1998 e il 2018 e analizza le attività di bonifica effettivamente portate a termine, per poi definire, per ciascun settore di interesse, le attività tuttora necessarie per portare l'area entro i limiti di legge. I risultati di questa analisi sono riassunti di seguito.

SETTORE B	
Caratteristiche principali	
Estensione:	14'150 m ²
Servizi originariamente presenti:	<ul style="list-style-type: none"> • Stoccaggio e trasporto dell'olio combustibile • Stazione di pompaggio
Indagini di caratterizzazione eseguite	
Analisi:	Set analitico e materiali individuati: (gli elementi sottolineati sono stati individuati in uno o più campioni)
<ul style="list-style-type: none"> • 5 sondaggi a carotaggio continuo (sigla IS2-Cn) fino a profondità di 8 m da p.c. • 5 trincee (sigla IS-TBn) fino a profondità di 4 m dal piano di demolizione dei manufatti 	<ul style="list-style-type: none"> • metalli e metalloidi (As, Cd, Cr totale, Cr VI, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn) • Fenoli non clorurati e clorurati; • <u>Idrocarburi C>12</u>; • Solfuri; • IPA (nelle sole Trincee).
Attività di bonifica eseguite	
<ul style="list-style-type: none"> • Dismissione di tubazioni relitte e ammalorate, coibentate con malte a base di amianto • Bonifica ai limiti della colonna A dei settori risultati contaminati da Idrocarburi, con scavi localizzati aventi profondità di 3-4 m (2012); ulteriori analisi hanno però individuato <u>difformità</u> con i limiti previsti per alcuni <u>IPA</u>. 	
Attività di bonifica da eseguire e relative volumetrie	
<ul style="list-style-type: none"> • Scavo e conferimento dei terreni non conformi in idoneo impianto di recupero/smaltimento ed eventuale vagliatura 	
Volume:	300 m ³

Tabella 1. Prospetto attività di bonifica relative al settore B

SETTORE C	
Caratteristiche principali	
Estensione:	34'840 m ²
Servizi originariamente presenti:	<ul style="list-style-type: none"> • Stoccaggio di ceneri di pirite
Indagini di caratterizzazione eseguite	
Analisi:	Set analitico e materiali individuati: (gli elementi sottolineati sono stati individuati in uno o più campioni)
<ul style="list-style-type: none"> • 7 sondaggi a carotaggio continuo (sigla Pn) fino a profondità di 15 m da p.c. (1998/2000) • 2 sondaggi a carotaggio continuo (sigla Pn) fino a profondità di 25 m da p.c. (1998/2000) • 3 sondaggi a carotaggio continuo e distruzione attrezzati a piezometro (sigla Pz) fino a profondità di 60 m da p.c. (1998/2000) • 19 trincee (sigle A-P, Sn, Tn) fino a profondità tra 1.5 e 2.5 m dal p.c. (1998/2000) • Collaudo del top soil (2002) • 1 trincea (sigla TrE6) fino a profondità di 7 m da p.c. (2017) 	<ul style="list-style-type: none"> • metalli e metalloidi (Al, <u>As</u>, Ba, Cd, Cr totale, Cr VI, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, <u>Pb</u>, <u>Cu</u>, V, <u>Zn</u>) • Fenoli; • Solfuri; • Alifatici clorurati; • Clorobenzeni. • Idrocarburi C>12.
Attività di bonifica eseguite	
<ul style="list-style-type: none"> • Asportazione dei cumuli di ceneri di pirite e della porzione più superficiale del suolo, con conferimento a siti esterni (primi anni 2000) 	
Attività di bonifica da eseguire e relative volumetrie	
<ul style="list-style-type: none"> • Scavo e conferimento dei terreni non conformi in idoneo impianto di recupero/smaltimento ed eventuale vagliatura 	
Volume:	7'930 m ³

Tabella 2. Prospetto attività di bonifica relative al settore C

SETTORE D1	
Caratteristiche principali	
Estensione:	58'630 m ²
Servizi originariamente presenti:	<ul style="list-style-type: none"> • Discarica autorizzata, costituita da 3 vasche per il deposito dei fanghi
Indagini di caratterizzazione eseguite	
Analisi:	Set analitico e materiali individuati: (gli elementi sottolineati sono stati individuati in uno o più campioni)

Settore esterno alle vasche	<ul style="list-style-type: none"> • 2 sondaggi a carotaggio continuo (sigla Cn) fino a profondità di 15 m da p.c. • 1 sondaggio a carotaggio continuo e distruzione attrezzato a piezometro (sigla Pz) fino a profondità di 60 m da p.c. • 16 trincee (sigla Tn) fino a profondità tra 2.5 e 3 m dal p.c. • 1 sondaggio a carotaggio continuo attrezzato a piezometro (sigla SA4) fino a profondità di 40 m da p.c. (2017/2018) • 4 trincee (sigla TrEn) fino a profondità di 7 m dal p.c. (2017/2018) • 12 trincee (sigle Tan e TBn) fino a profondità di 3 m dal p.c. (2017/2018) • 1 trincea (sigla TC27 cumulo) in un cumulo di terreno (2017/2018) • 2 sondaggi a carotaggio continuo (sigla CBn) fino a profondità di 5 m da p.c. (2017/2018) • 8 test di cessione 	<ul style="list-style-type: none"> • metalli e metalloidi (Al, As, Ba, Cd, Cr totale, Cr VI, Fe, Mn, <u>Hg</u>, Mo, Ni, <u>Pb</u>, Cu, V, Zn) • Fenoli; • Solfuri; • Alifatici clorurati; • Clorobenzeni. • Idrocarburi C<12 e C>12; • <u>IPA</u>; • <u>PCB</u>. • <u>Rifiuti interrati abusivamente (laterizi, cavi elettrici e tubazioni i plastica)</u> • <u>Macerie di demolizione con frammenti di cemento amianto (rifiuti pericolosi)</u>
Vasche	<ul style="list-style-type: none"> • 8 sondaggi a carotaggio continuo (sigla DVcn) fino a profondità di 3 m da p.c. • 3 trincee (sigla DVtn) fino a profondità di 3 m dal p.c. (2017/2018) • prospezioni geofisiche 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Fanghi (non pericolosi)</u> • <u>Materiale di riporto per la sagomatura delle vasche</u>
Attività di bonifica eseguite		
<ul style="list-style-type: none"> • Bonifica nell'intorno della trincea T14 		
Attività di bonifica da eseguire e relative volumetrie		
<ul style="list-style-type: none"> • Smaltimento dei fanghi presso idonei impianti 		
Volume:		14'085 m ³
<ul style="list-style-type: none"> • Demolizione e smaltimento delle vasche 		
Volume:		2'722 m ³ + 1500 m ³
<ul style="list-style-type: none"> • Smaltimento presso idonei impianti di terreno frammisto a macerie, con locale presenza di frammenti di eternit 		
Volume:		2'513 m ³
<ul style="list-style-type: none"> • Smaltimento presso idonei impianti dei rifiuti abusivamente interrati 		
Volume:		250 m ³
<ul style="list-style-type: none"> • Conferimento presso impianti di recupero/smaltimento dei terreni in cumulo 		
Volume:		5'100 m ³
<ul style="list-style-type: none"> • Scavo e conferimento dei terreni non conformi in idoneo impianto di recupero/smaltimento ed eventuale vagliatura 		
Volume:		1'700 m ³

Tabella 3. Prospetto attività di bonifica relative al settore D1

SETTORE D2	
Caratteristiche principali	
Estensione:	20'650 m ²
Servizi originariamente presenti:	<ul style="list-style-type: none"> • Alloggi dei dipendenti
Indagini di caratterizzazione eseguite	
Analisi:	Set analitico e materiali individuati: (gli elementi sottolineati sono stati individuati in uno o più campioni)
<ul style="list-style-type: none"> • 1 sondaggio a carotaggio continuo (sigla C1) fino a profondità di 15 m da p.c. (1999/2000) • 8 trincee (sigla Tn) fino a profondità tra 2.5 e 3 m dal p.c. (1999/2000) • 4 trincee (sigla TAn) fino a profondità di 3 m dal p.c. (2018) • 8 test di cessione 	<ul style="list-style-type: none"> • metalli e metalloidi (Al, <u>As</u>, Ba, Cd, Cr totale, Cr VI, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Pb, Cu, V, Zn) • Fenoli; • Solfuri; • Alifatici clorurati; • Clorobenzeni. • Idrocarburi C<12 e C>12; • IPA; • PCB.
Attività di bonifica eseguite	
<ul style="list-style-type: none"> • Rimozione di trasformatori, quadri elettrici e apparecchiature ausiliarie all'interno del pozzo 53, e demolizione di quest'ultimo (2003) • Rimozione serbatoio interrato adibito allo stoccaggio di combustibile per il riscaldamento degli alloggi (2008); le analisi della pareti e del fondo scavo eseguite in quell'occasione hanno evidenziato la presenza di terreni con concentrazioni di <u>Idrocarburi pesanti</u> superiori ai valori limite 	
Attività di bonifica da eseguire e relative volumetrie	
<ul style="list-style-type: none"> • Scavo e conferimento dei terreni non conformi in idoneo impianto di recupero/smaltimento 	
Volume:	180 m ³

Tabella 4. Prospetto attività di bonifica relative al settore D2

SETTORE E	
Caratteristiche principali	
Estensione:	28'900 m ²
Servizi originariamente presenti:	<ul style="list-style-type: none"> • Discarica incontrollata (ceneri di pirite, ceneri di combustione, RSAU, macerie di demolizione, frammenti di cemento amianto, terreni)
Indagini di caratterizzazione eseguite	
Analisi:	Set analitico e materiali individuati: (gli elementi sottolineati sono stati individuati in uno o più campioni)
<ul style="list-style-type: none"> • 4 sondaggi a carotaggio continuo (sigle Pn) fino a profondità di 15 m da p.c. (1999) • 8 trincee (sigla Sn) fino a profondità tra 2.5 e 3 m dal p.c. (1999) 	<ul style="list-style-type: none"> • metalli e metalloidi (Al, <u>As</u>, Ba, <u>Cd</u>, <u>Cr totale</u>, Cr VI, Fe, Mn, <u>Hg</u>, Mo, <u>Ni</u>, <u>Pb</u>, <u>Cu</u>, <u>V</u>, <u>Zn</u>) • Fenoli; • Solfuri; • Alifatici clorurati;

<ul style="list-style-type: none"> • 44 trincee (sigla Tn) fino a profondità tra 3.5 e 5 m dal p.c. (2005) • 1 sondaggio a carotaggio continuo attrezzato a piezometro (sigla SA3) fino a profondità di 40 m da p.c. (2017/2018) • 1 trincea (sigla TrE11) fino a profondità di 7 dal p.c. (2017/2018) • 12 trincee (sigle TBN, TEn, TFN) fino a profondità tra 1 e 4.5 m dal p.c. (2017/2018) • 4 sondaggi a carotaggio continuo (sigla CAn) fino a profondità di 8 m da p.c. (2017/2018) • 5 test di cessione su materiali di riporto • 3 test di cessione sui rifiuti • 3 analisi sul tal quale 	<ul style="list-style-type: none"> • Clorobenzeni. • <u>Idrocarburi C<12 e C>12</u>; • <u>IPA</u>; • <u>PCB</u>; • composti aromatici • <u>Rifiuti pericolosi, contenenti amianto</u>
Attività di bonifica eseguite	
<ul style="list-style-type: none"> • Asportazione di un volume di terreni e rifiuti approssimativamente valutabile in circa 12.000 m³ in banco, che furono depositati e in parte trattati con interventi di vagliatura, presso il settore H, dove sono tuttora da smaltire (2009); durante la rimozione sono stati individuati <u>frammenti di amianto</u> 	
Attività di bonifica da eseguire e relative volumetrie	
<ul style="list-style-type: none"> • Scavo di terreni e rifiuti e conferimento in impianto di recupero/smaltimento per rifiuti inerti (~25%), in discariche per rifiuti non pericolosi (~50%) e per rifiuti pericolosi (~25%) 	
Volume:	37'670 m ³
<ul style="list-style-type: none"> • Smaltimento di un cumulo di terreno 	
Volume:	2'000 m ³

Tabella 5. Prospetto attività di bonifica relative al settore E

SETTORE F	
Caratteristiche principali	
Estensione:	71'670 m ²
Servizi originariamente presenti:	<ul style="list-style-type: none"> • verde • smaltimento incontrollato di rifiuti in 3 trincee
Indagini di caratterizzazione eseguite	
Analisi:	Set analitico e materiali individuati: (gli elementi sottolineati sono stati individuati in uno o più campioni)
<ul style="list-style-type: none"> • 23 trincee (sigle Sn) fino a profondità tra 2.5 e 3 m dal p.c. (2017/2018) • 1 sondaggio a carotaggio continuo attrezzato a piezometro (sigla SA2) fino a profondità di 45 m da p.c. (2017/2018) • 4 trincee (sigle TrEnn) fino a profondità di 7 m dal p.c. (2017/2018) 	<ul style="list-style-type: none"> • metalli e metalloidi (Al, <u>As</u>, Ba, Cd, Cr totale, Cr VI, Fe, Mn, <u>Hg</u>, Mo, Ni, <u>Pb</u>, <u>Cu</u>, V, <u>Zn</u>) • Fenoli; • Solfuri; • Alifatici clorurati; • Clorobenzeni; • <u>Idrocarburi C<12 e C>12</u>;

<ul style="list-style-type: none"> • 14 trincee (sigle TBn e TCn) fino a profondità tra 0.6 e 3 m dal p.c. (2017/2018) • 3 sondaggi a carotaggio continuo (sigla CBn) fino a profondità di 8 m da p.c. (2017/2018) • 3 test di cessione 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>IPA;</u> • <u>PCB.</u> • <u>RSAU</u> • <u>Macerie da demolizioni</u> • <u>Fanghi</u> • <u>Frammenti di eternit</u>
Attività di bonifica eseguite	
<ul style="list-style-type: none"> • Bonifica delle 3 trincee contenenti rifiuti (2003, 2005 2012); i collaudi del 2013 hanno tuttavia evidenziato una contaminazione residua. 	
Attività di bonifica da eseguire e relative volumetrie	
<ul style="list-style-type: none"> • Scavo e conferimento dei terreni non conformi in idoneo impianto di recupero/smaltimento per rifiuti inerti 	
Volume:	3'660 m ³

Tabella 6. Prospetto attività di bonifica relative al settore F

SETTORE G	
Caratteristiche principali	
Estensione:	6'790 m ²
Servizi originariamente presenti:	
Indagini di caratterizzazione eseguite	
Analisi:	Set analitico e materiali individuati: (gli elementi sottolineati sono stati individuati in uno o più campioni)
<ul style="list-style-type: none"> • 5 trincee (sigla TLn) fino a profondità di 3 m dal p.c. (2005) 	<ul style="list-style-type: none"> • metalli e metalloidi (As, Cd, Cr totale, Cr VI, Hg, Ni, Pb, Cu, V, Zn) • Idrocarburi C<12 e C>12; • IPA; • Composti aromatici.
Attività di bonifica eseguite	
<i>Le indagini eseguite hanno evidenziato l'assenza di materiali di riporto e di contaminazioni, escludendo questo settore da quelli sottoposti a interventi di bonifica.</i>	
Attività di bonifica da eseguire e relative volumetrie	
<ul style="list-style-type: none"> • 	
Volume:	- m ³

Tabella 7. Prospetto attività di bonifica relative al settore G

SETTORE H	
Caratteristiche principali	
Estensione:	16'350 m ²
Servizi originariamente presenti:	<ul style="list-style-type: none"> • impianti per la produzione di acido solforico • area di cantiere per le attività di bonifica • deposito di cumuli di materiale provenienti dalle attività di bonifica
Indagini di caratterizzazione eseguite	
Analisi:	Set analitico e materiali individuati: (gli elementi sottolineati sono stati individuati in uno o più campioni)
<ul style="list-style-type: none"> • 5 trincee (sigle Sn e Tn) fino a profondità tra 2 e 3 m dal p.c. (1999) • 10 sondaggi a carotaggio continuo (sigla HCn) fino a profondità tra 10 e 17 m da p.c. (2016) • 5 trincee (sigla HTn) fino a profondità di 3 m dal p.c. (2016) • 7 test di cessione sui materiali di riporto • 1 sondaggio a carotaggio continuo attrezzato a piezometro (sigla SA1) fino a profondità di 45 m da p.c. (2017) • 2 trincee (sigla TrEnn) fino a profondità di 7 m dal p.c. (2017) • 2 test di cessione 	<ul style="list-style-type: none"> • metalli e metalloidi (Al, <u>As</u>, Ba, Cd, Cr totale, Cr VI, <u>Co</u>, Fe, Mn, <u>Hg</u>, Mo, Ni, Pb, Cu, <u>Se</u>, Tl, V, <u>Zn</u>) • Fenoli; • Solfuri; • Alifatici clorurati; • Clorobenzeni; • <u>Idrocarburi C<12 e C>12</u>; • <u>IPA</u>; • <u>PCB</u>; • <u>Solfati</u>. • <u>Terreno misto a materiali di demolizione, con mattoni, frammenti di calcestruzzo e laterizi, con presenza di ceneri di pirite</u> • <u>Cumuli di terreno, trattati e non trattati, provenienti dalle attività di bonifica</u> • <u>Fanghi</u>
Attività di bonifica eseguite	
<i>Questo settore è stato utilizzato come area di deposito temporaneo dei terreni di bonifica e dei rifiuti provenienti da altri settori e pertanto in esso non sono sinora stati effettuati interventi di bonifica.</i>	
Attività di bonifica da eseguire e relative volumetrie	
<ul style="list-style-type: none"> • Smaltimento dei cumuli di terreno non trattato, per il 60 % come materiali inerti e per il 40% come rifiuti non pericolosi 	
Volume:	2'330 m ³
<ul style="list-style-type: none"> • Smaltimento dei cumuli di terreno fine derivanti dal trattamento di bonifica, per il 60 % come materiali inerti e per il 40% come rifiuti non pericolosi 	
Volume:	9'840 m ³
<ul style="list-style-type: none"> • Smaltimento dei cumuli di vagliato grossolano come rifiuti inerti 	
Volume:	1'173 m ³
<ul style="list-style-type: none"> • Scavo e smaltimento dei terreni non conformi 	
Volume:	17'150 m ³

Tabella 8. Prospetto attività di bonifica relative al settore H

Il Piano di Bonifica suggerisce poi una programmazione temporale degli interventi che prevede innanzitutto la caratterizzazione e lo smaltimento dei cumuli del settore H, poi la rimozione dei materiali/terreni contaminati e il collaudo degli altri settori (nell'ordine D1, C, E, F, B e D2) trasportando il materiale volta per volta nel settore H, dove deve essere caratterizzato e poi smaltito. Da ultimo si prevede la rimozione dei fanghi, delle macerie e dei terreni contaminati del comparto H e la richiesta e rilascio di certificazione di avvenuta bonifica dell'intera area.

In alternativa, qualora vi fosse la richiesta di procedere con una bonifica per fasi, che interessi dapprima le aree che saranno occupate dalla vasca di laminazione principale e più profonda, ubicata nella porzione Est dell'area, il Piano propone una prima fase con la bonifica dei settori H, D1 (esterno vasche) e C, sempre con accumulo temporaneo in H, e una seconda che interessi i rimanenti comparti, con deposito temporaneo in D1.

Da ultimo, il Piano di Bonifica presenta una prima stima dei costi necessari per la bonifica dei volumi sopra menzionati e di seguito riassunti (valori arrotondati per eccesso). Tale stima dovrà essere verificata e confermata tramite l'elaborazione del Piano Operativo di Bonifica, eventualmente aggiornandola sulla base dell'entrata in vigore di nuove normative, di possibili modifiche delle condizioni di mercato e di eventuali sconti offerti dalle società partecipanti, nonché integrando richieste e prescrizioni operative avanzate dagli Enti competenti.

SETTORE	TERRENO CONTAMINATO DA SCAVARE (m³)	TERRENO IN CUMULO (m³)	RIFIUTI IN CUMULO (m³)	TERRENO CONTAMINATO + RIFIUTI INTERRATI (m³)	TOTALE (m³)
B	300				300
C	8.000				8.000
D1	1.700	5.100	20.900		27.700
D2	200				200
E		2.000		38.000	40.000
F	3.700				3.700
G	-	-	-	-	-
H	17.200		13.400		30.600
TOTALE	31.100	7.100	34.300	38.000	110.500

Tabella 9. Volumi da bonificare (fonte: Piano di Bonifica, dott. M. Nespoli e Prof. G. P. Beretta).

Considerando le attività preliminari alla bonifica e il relativo monitoraggio, nonché lo scavo, il carico, il trasporto e lo smaltimento dei materiali rinvenuti nei settori da B ad H, risultano i costi riassunti in Tabella 10.

Attività preliminari:		745'000.00 €
Bonifica:		
Settore B	15'600.00 €	
Settore C	412'556.00 €	

Settore D1	3'788'505.00 €	
Settore D2	9'360.00 €	
Settore E	6'587'920.00 €	
Settore F	190'320.00 €	
Settore H	1'808'330.00 €	
Totale		12'812'591.00 €
Monitoraggio delle attività di bonifica:		680'000.00 €
TOTALE		14'237'591.00 €

Tabella 10. Costi del Piano di bonifica

5.1 Stima dei volumi e costi per l'adeguamento alle quote di scavo del progetto idraulico

In aggiunta ai volumi sopra menzionati, oggetto di piano di bonifica, nell'ambito dell'adeguamento alle quote del presente progetto idraulico dovrà essere previsto lo scotico dei primi 0.5 m di terreno nelle aree dei rinterri arginali e un abbassamento dell'attuale piano di campagna di circa 2 m (da quota 175 a quota 173 m s.l.m.), nei sedimi di scavo delle vasche di laminazione.

Le volumetrie dei terreni da scavare, da inserire nell'ambito di un Piano di Utilizzo dei Terreni da realizzare successivamente al rilascio della certificazione di avvenuta bonifica, valutate al netto del volume dei terreni/rifiuti (interrati e in cumulo) riportati nei precedenti paragrafi, sono riassunti nella seguente Tabella 11.

Descrizione		Volume in banco [m³]
A	Terreni di scotico (spessore 0.5 m) nelle aree dei rinterri arginali (estensione 62'201 m²) a litologia ghiaioso-sabbiosa in abbondante matrice limosa	31'100
B	Livello superficiale (spessore di 1.5 m) dei terreni di scavo interni alle vasche di laminazione in aree in colonna A, a litologia ghiaioso-sabbiosa in abbondante matrice limosa	178'500
C	Livello superficiale (spessore di 1.5 m) dei terreni di scavo interni alle vasche di laminazione in aree in colonna B, a litologia ghiaioso-sabbiosa in abbondante matrice limosa	48'000
D	Livello sottostante (spessore di 0.5 m) dei terreni di scavo interni alle vasche di laminazione in aree in colonna A, a litologia ghiaioso-sabbiosa	64'000
E	Livello sottostante (spessore di 0.5 m) dei terreni di scavo interni alle vasche di laminazione in aree in colonna B, a litologia ghiaioso-sabbiosa	16'500
TOTALE		338'100

Tabella 11. Caratterizzazione merceologica e volumetrica dei volumi di scavo necessari nell'ambito del progetto idraulico

Date le volumetrie in gioco ed i relativi costi di trasporto e smaltimento, sono state fatte le seguenti considerazioni:

- I terreni di scavo ricadenti in aree di colonna B, per un totale di 64'500 m³, non possono essere utilizzati ne' venduti, ma devono essere conferiti in impianti esterni di smaltimento/recupero;

- I terreni di scavo ricadenti in aree di colonna A, per un totale di 273'600 m³, non possono essere venduti, ma possono essere utilizzati per garantire un minore grado di permeabilità al fondo delle vasche di laminazione in progetto;
- I terreni sottostanti, a litologia ghiaioso-sabbiosa, possono essere utilizzati per scopi edili e conseguentemente venduti, garantendo quindi un ricavo.

Si è dunque previsto un ulteriore scavo sul fondo delle due vasche, per un volume pari a 273'600 m³ - corrispondenti ad una profondità di circa 2.3 m - tale da permettere il completo rinterro e riutilizzo dei terreni di colonna A. In questo modo si garantisce maggiore impermeabilità all'invaso, e allo stesso tempo si ottengono 273'600 m³ di materiale utilizzabile, che non vanno quindi portati a smaltimento ma che possono invece essere venduti.

Nel seguente prospetto è riportato il computo metrico estimativo per i lavori di adeguamento alle quote del progetto idraulico, che come già evidenziato saranno da eseguire nell'ambito di un Piano di Utilizzo dei Terreni da realizzare successivamente al rilascio della certificazione di avvenuta bonifica.

		Volume in banco [m ³]	Costo unitario [€/m ³]	Costo complessivo [€]
1)	Scavo di sbancamento, compreso il trasporto fino a una distanza massima di 300 m delle materie di risulta: Terreni in aree di colonna B			
	- livello superficiale (spessore di 1.5 m), a litologia ghiaioso-sabbiosa in abbondante matrice limosa	48'000	3.03	145'440.00
	- livello sottostante (spessore di 0.5 m), a litologia ghiaioso-sabbiosa	16'500	3.03	49'995.00
2)	Trasporto e conferimento in impianti di smaltimento e recupero: terreni in aree di colonna B	64'500	27.00	1'741'500.00
3)	Scavo di sbancamento, compreso il trasporto fino a una distanza massima di 300 m delle materie di risulta: Terreni in aree di colonna A			
	- scotico area rinterri arginali	31'100	3.03	94'233.00
	- livello superficiale (spessore di 1.5 m), a litologia ghiaioso-sabbiosa in abbondante matrice limosa	178'500	3.03	540'855.00
	- livello sottostante (spessore di 0.5 m), a litologia ghiaioso-sabbiosa	64'000	3.03	193'920.00
	Terreno a fondo scavo invasato per successiva ricolmatura	273'600	3.03	829'008.00
4)	Rinterro compreso l'avvicinamento dei materiali, il compattamento a strati dei materiali impiegati fino al raggiungimento delle quote del terreno preesistente ed il costipamento prescritto: con materiale di risulta proveniente da scavo in aree di colonna A	273'600	5.15	1'409'040.00
TOTALE				5'003'991.00
TOTALE ARROTONDATO				5'000'000.00

Tabella 12. Computo metrico estimativo per i lavori di adeguamento alle quote del progetto idraulico

6 Indagini conoscitive

6.1 Attività pregresse

Di seguito si riassumono le indagini svolte a supporto della progettazione preliminare dell'opera.

6.1.1 Rilievi topografici

Le analisi idrauliche sviluppate nel corso della progettazione preliminare dell'opera sono state supportate da un modello quasi bidimensionale a scala di bacino dell'asta del Seveso, implementato mediante 485 sezioni. Di queste sezioni, la maggior parte (oltre 200) proviene dai rilievi topografici e batimetrici svolti nel 2002 dall'Autorità di Bacino nell'ambito delle attività relative allo *"Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona"*. Tali sezioni sono state integrate in parte mediante rilievi condotti sul campo, in parte facendo riferimento ad altri studi e progetti precedenti; in particolare, per la rappresentazione del CSNO si è fatto riferimento ai disegni "as built" degli interventi di raddoppio del CSNO tra l'opera di presa e il ponte di Via Marzabotto, ed al progetto della Provincia di Milano *"Lavori di adeguamento funzionale del canale scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago e Settimo Milanese"*.

I dati topografici relativi all'area della vasca sono stati acquisiti dal DTM di Regione Lombardia e dagli aerofotogrammetrici dei Comuni di Varedo, Paderno Dugnano e Limbiate.

6.1.2 Geologia

Per quanto riguarda la geologia, in fase di progettazione preliminare non si è proceduto all'esecuzione di indagini specifiche sulle aree oggetto di intervento; tuttavia è stato possibile reperire alcuni sondaggi, effettuati nell'ambito delle attività di caratterizzazione e bonifica ambientale dell'area, nonché da parte della Soc. Ianomi (attualmente CAP Holding S.p.A.) per la realizzazione del nuovo collettore fognario, che ha recentemente attraversato la porzione sud dell'area. L'ubicazione delle indagini disponibili è indicata in Figura 6.

In dettaglio è stato possibile fare riferimento a:

- n° 8 sondaggi, con profondità massima di 60 m da p.c., effettuati tra il 1999-2000 (piezometri da A ad F) ed il 2012 (piezometri G ed H) durante la realizzazione dei piezometri di controllo della falda;
- n° 4 sondaggi a carotaggio fino alla profondità di 5 metri, con prelievo di un campione per il laboratorio e n° 1 prova penetrometrica nella zona del collettore;
- alcune analisi di caratterizzazione chimica dei terreni di scavo, realizzate nell'ambito del progetto del collettore fognario.

Ulteriori elementi circa le caratteristiche geologico tecniche del sottosuolo sono stati inoltre dedotti dal sondaggio geognostico effettuato dalla Ditta Eurogeo di Paderno Dugnano nel mese di ottobre 2014, nell'ambito delle attività di sviluppo di un'ipotesi progettuale alternativa alla presente, che

prevedeva la realizzazione di una vasca di laminazione del t. Seveso nella zona nord del territorio di Varedo.

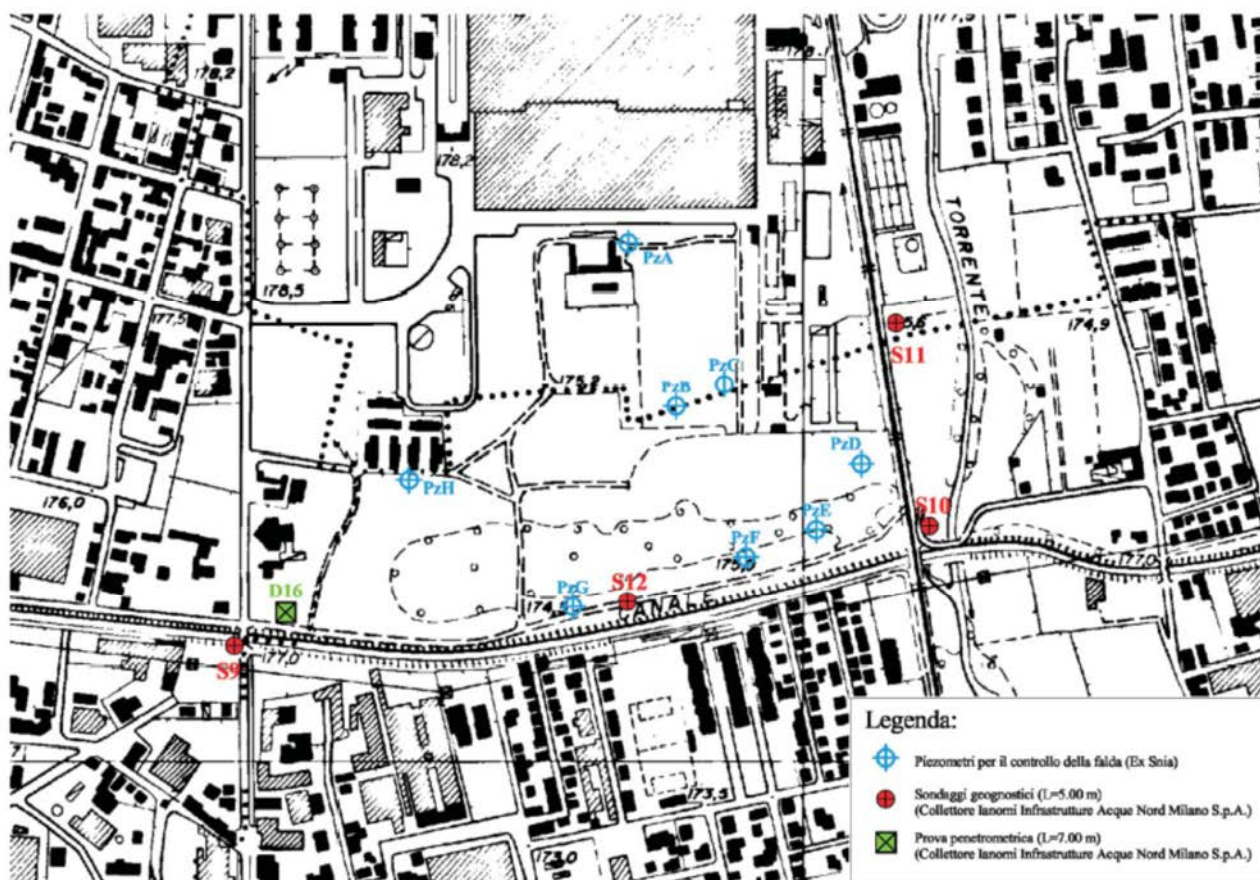


Figura 6. Ubicazione delle indagini raccolte in fase di progettazione preliminare.

In base alle analisi svolte sui dati disponibili, la Relazione geologico-tecnica del progetto preliminare giungeva a concludere che l'intera area di intervento rientra nel Sintema di Cantù, un'unità costituita da ghiaie, a prevalente supporto clastico, con matrice sabbiosa e locale prevalenza di sabbie e sabbie limose, fino ad arrivare a limi argillosi massivi. Nell'area dell'intervento l'unità, dello spessore di circa 10 m da p.c., è prevalentemente costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose (peso di volume 18,5 kN/m³, densità relativa 30-50%, angolo di attrito 29°-33°), con elementi poligenici, da arrotondati a subarrotondati. Al di sotto di questa unità, il sottosuolo è costituito dai depositi più antichi dell'Unità di Cadorago, localmente costituita da depositi ghiaiosi con livello di addensamento da buono a molto buono (peso di volume 19-20 kN/m³, densità relativa 50-100%, angolo di attrito >35°). Le stratigrafie disponibili segnalano inoltre la presenza localizzati di conglomerati.

6.1.3 Idrogeologia

Nei mesi di marzo e luglio 2015 sono state effettuate due campagne di misura dei livelli di falda sui piezometri esistenti nell'area (vedi Figura 6). Le campagne hanno rilevato quote di falda variabili tra 151,53 m slm e 153,71 m slm, con possibili valori superiori a 154 m slm in una coppia di piezometri

non accessibili. Il confronto delle misure con i risultati di un monitoraggio realizzato nel marzo 2012 ha evidenziato una risalita di falda media di circa 6,5 m in tre anni.

6.1.4 Qualità delle acque sotterranee

Per un inquadramento complessivo della qualità delle acque nell'acquifero superficiale e nell'acquifero tradizionale il progetto preliminare ha fatto riferimento allo studio "Progetto Qualfalda II – Lo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei in Provincia di Milano: Rapporto Finale" condotto da IRSA-CNR per conto della Provincia di Milano nel 2007. In base ai risultati del suddetto studio, i territori di Paderno Dugnano, Varedo e Limbiate presentano le seguenti caratteristiche:

PARAMETRI DI BASE D. Lgd. 152/99 (conducibilità, cloruri, solfati, nitrati, ammoniaca, ferro e manganese)

Prima falda (acquifero superficiale)	CLASSE 3 – impatto antropico significativo, con alcuni segnali di compromissione
Prima e seconda falda (acquifero tradizionale)	CLASSE 3 – impatto antropico significativo, con alcuni segnali di compromissione

PARAMETRI DI BASE (vedi sopra) E ADDIZIONALI (arsenico, cadmio, cromo VI, cromo totale, nichel, piombo, rame, zinco, 1,2 dicloropropano, 1,1,1 tricloroetano, tetracloroetilene, tricloroetilene, triclorofluorometano, composti organo-alogenati totali, benzene, etilbenzene, toluene, (o+p+m) xileni, alaclor, ametrina, atrazina, metolaclor, terbutilazina, antiparassitari totali)

Prima falda (acquifero superficiale)	CLASSE 4 – impatto antropico rilevante, con caratteristiche idrochimiche scadenti
Prima e seconda falda (acquifero tradizionale)	CLASSE 4 – impatto antropico rilevante, con caratteristiche idrochimiche scadenti

Le problematiche sono prevalentemente connesse alla presenza di solventi clorurati, la cui presenza nelle acque dell'alta pianura Milanese è ormai documentata dagli anni '70, e dei nitrati.

6.1.5 Analisi sismica locale

Nell'analisi delle sollecitazioni sismiche locali, il progetto preliminare ha fatto riferimento allo studio geologico redatto dal Dott. Geol. Ghezzi nel 2005 per il PGT di Paderno Dugnano.

Sulla base dei dati geofisici riportati nel suddetto studio geologico, il sito in esame rientra nella categoria di suolo C delle Norme tecniche per le costruzioni (DM 14 gennaio 2008), corrispondente a *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fine)"*.

Lo studio geologico esclude inoltre per l'area oggetto di intervento possibili elementi di criticità relativamente a scenari di pericolosità sismica locale e/o di amplificazione sismica.

6.1.6 Qualità delle acque del torrente Seveso

Nell'ambito delle attività di pianificazione degli interventi di riassetto del bacino del Seveso, è stato svolto uno studio sullo stato qualitativo delle acque del Seveso, allegato al progetto preliminare dell'opera. Lo studio, redatto dall'A.T.P. formata da ETATEC srl, Studio Paoletti Ingegneri Associati, BETA Studio, Studio Associato Geologia Spada e Dott.Ing. Barbon, con la consulenza della Prof. Dott. Valeria Mezzanotte, MT.SEM srl e dell'IRSA-CNR, ha integrato i dati rilevati da ARPA Lombardia con una campagna di monitoraggio del torrente Seveso e del CSNO, appositamente svolta tra marzo e settembre 2014. Di seguito si riassumono i contenuti dello studio.

6.1.6.1 Caratterizzazione qualitativa del torrente Seveso

Considerando il tratto a monte di Milano, il Seveso riceve lungo il suo percorso gli effluenti trattati di diversi impianti di depurazione, come indicato in Tabella 13, ed alcuni scarichi industriali. Tra questi ultimi, i più consistenti risultano essere quelli di un'azienda alimentare, destinata alla produzione di carne in scatola, di una di imbottigliamento di bevande (alcoliche ed analcoliche) e di una cava.

	Potenzialità impianto (AE)	Comuni serviti
Fino Mornasco	186.167	Casinate con Bernate (parte), Cavallasca (parte), Como (parte), Fino Mornasco (parte), Grandate (parte), Luisago, Montano Lucino, S. Fermo della Battaglia, Villaguardia (parte)
Carimate	131.736	Cantù (parte), Capiago Intimiano, Carimate, Casinate con Bernate (parte), Cucciago, Figino Serenza, Fino Mornasco (parte), Novedrate, Senna Comasco, Vertemate con Minoprio
Varedo	150.000	Varedo, Bovisio Masciago, Barlassina, Cesano Maderno, Seveso, Lentate sul Seveso, Meda, Cabiato
Mariano Comense	82.781	Albavilla (parte), Albese con Cassano, Alzate Brianza (parte), Arosio, Brenna, Cantù (parte), Carugo, Inverigo (parte), Mariano Comense (parte), Montorfano, Orsenigo (parte)
Bresso	340.000	Bresso, Cinisello Balsamo, Cormano, Cusano Milanino, Paderno Dugnano

Tabella 13. Impianti di depurazione con scarico nel Seveso a monte della città di Milano.

La qualità delle acque è stata valutata calcolando il LIMeco, così come indicato nel D.M. 260/2010, sui dati ARPA del 2009, del 2010 e del 2011. Nella Tabella 14 e nella Tabella 15 sono riportati i parametri e i criteri di classificazione dei corsi d'acqua in base ai punteggi relativi ai parametri analizzati.

		Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
	Punteggio*	1	0,5	0,25	0,125	0
Parametro						
100-O ₂ % sat.	Soglie**	≤ 10	≤ 20	≤ 40	≤ 80	> 80
N-NH ₄ (mg/l)		< 0,03	≤ 0,06	≤ 0,12	≤ 0,24	> 0,24
N-NO ₃ (mg/l)		< 0,6	≤ 1,2	≤ 2,4	≤ 4,8	> 4,8
Fosforo totale (µg/l)		< 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	> 400

* Punteggio da attribuire al singolo parametro

** Le soglie di concentrazione corrispondenti al Livello 1 sono state definite sulla base delle concentrazioni osservate in campioni (115) prelevati in siti di riferimento (49), appartenenti a diversi tipi fluviali. In particolare, tali soglie, che permettono l'attribuzione di un punteggio pari a 1, corrispondono al 75° percentile (N-NH₄, N-NO₃, e Ossigeno disciolto) o al 90° (Fosforo totale) della distribuzione delle concentrazioni di ciascun parametro nei siti di riferimento. I siti di riferimento considerati fanno parte di un database disponibile presso CNR-IRSA.

Tabella 14. Soglie per l'assegnazione dei punteggi ai singoli parametri per ottenere il punteggio LIMeco (D.M. 260/2010).

Stato	LIMeco
Elevato*	≥ 0,66
Buono	≥ 0,50
Sufficiente	≥ 0,33
Scarso	≥ 0,17
Cattivo	< 0,17

Tabella 15. Classificazione di qualità secondo i valori di LIMeco (D.M. 260/2010).

Si osserva che solo la stazione di Fino Mornasco, nel 2011, può essere classificata Sufficiente, ben lontana dall'obiettivo di Buono. Nei rimanenti casi, nei tre anni considerati, il livello di qualità è stato Scarso o Cattivo, come indicato in Tabella 16.

	2009	2010	2011
Fino Mornasco	Scarso	Scarso	Sufficiente
Vertemate con Minoprio	Scarso	Scarso	Scarso
Lentate sul Seveso	Cattivo	Scarso	Cattivo
Bresso	Cattivo	Cattivo	Cattivo

Tabella 16. Classificazione LIMeco per le stazioni del Seveso monitorate da ARPA nel 2009, 2010 e 2011.

Esaminando gli andamenti dei singoli parametri, si riportano, in Figura 7, Figura 8 e Figura 9, le medie delle concentrazioni misurate da ARPA tra il 2005 e il 2010 per i nutrienti, l'ossigeno disciolto,

il BOD₅ e il COD, la carica di Escherichia coli e alcuni metalli pesanti (cromo, nichel, rame, zinco, piombo).

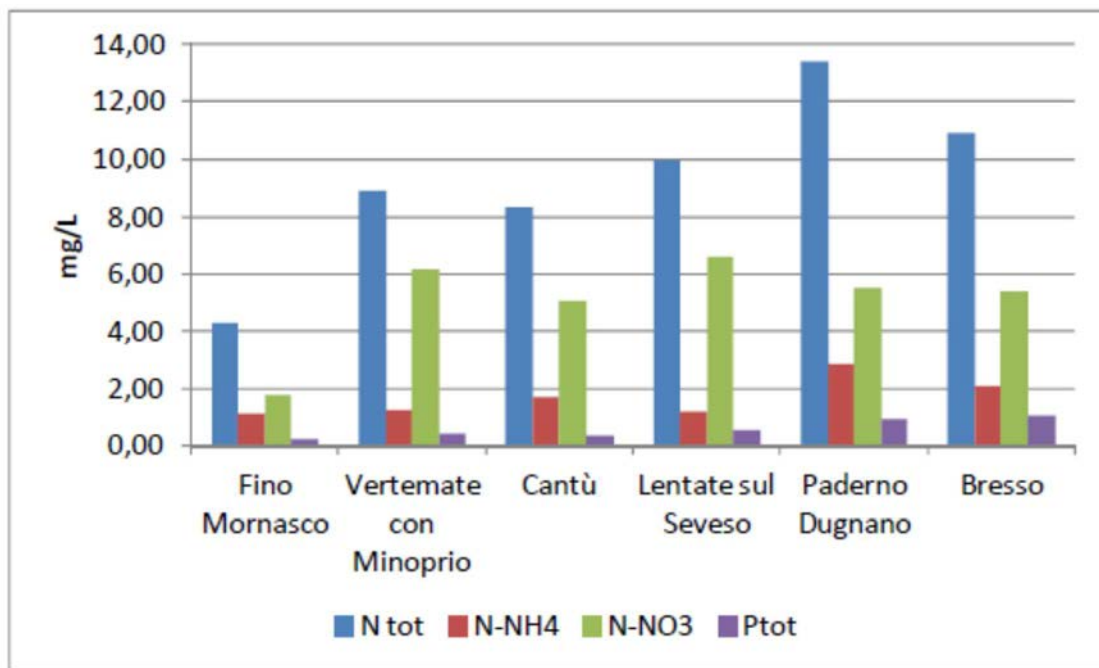


Figura 7. Medie delle concentrazioni di nutrienti misurate da ARPA nelle diverse stazioni del Seveso nel periodo 2005-2010.

Per quanto riguarda l'azoto totale, si osserva un aumento delle concentrazioni fino alla stazione di Paderno Dugnano ed una nuova diminuzione, nella stazione di Bresso, a valle dell'immissione dell'effluente dell'impianto di depurazione. Questo, in effetti, serve 300.000 AE ed ha quindi una portata elevata (circa 3.700 m³/ora) ed ha una buona efficienza di rimozione dell'azoto, per cui il suo effluente ha concentrazioni inferiori a quelle rilevabili nel ricettore a monte dello scarico e ne consente una, pur limitata, diluizione. In tutte le stazioni si osserva una netta prevalenza delle forme ossidate (il rapporto tra azoto nitrico e azoto ammoniacale varia, nelle varie stazioni, tra 1,5 e 5,5), a conferma dell'influenza dello scarico degli impianti di depurazione piuttosto che di scarichi fognari non trattati. Per quanto riguarda il fosforo, invece, la concentrazione aumenta gradualmente dalla prima all'ultima stazione, dove la media delle concentrazioni risulta pari a 1 mg/l.

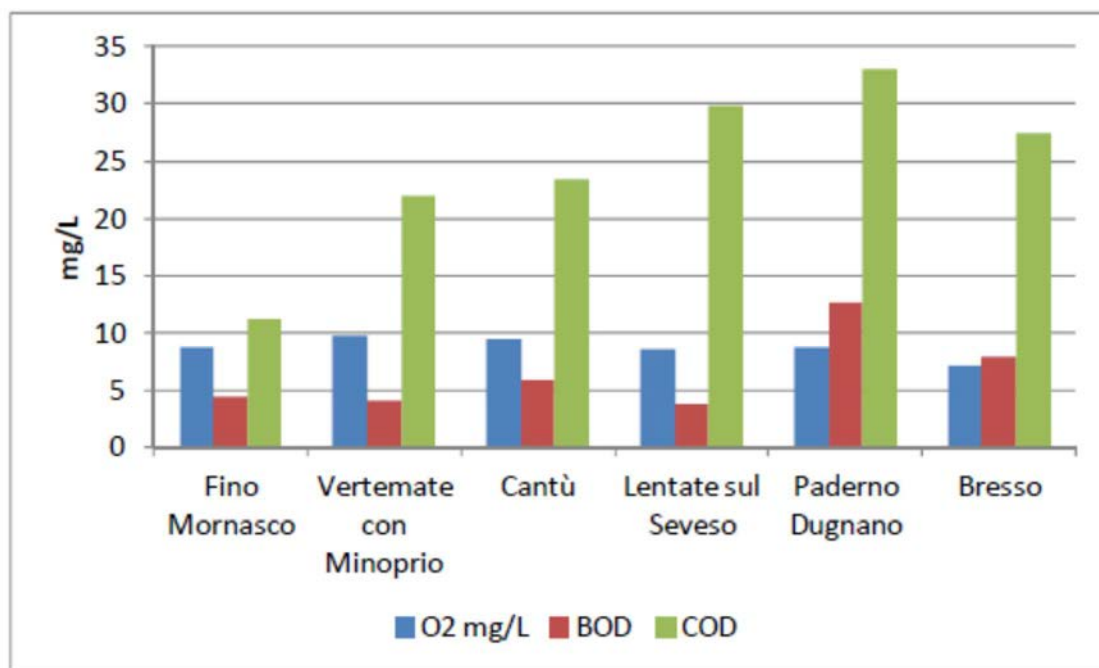


Figura 8. Medie delle concentrazioni di ossigeno, BOD₅ e COD misurate da ARPA nelle diverse stazioni del Seveso nel periodo 2005-2010.

La concentrazione massima di ossigeno si rileva nella stazione di Vertemate, a valle dell'impianto di depurazione di Fino Mornasco, il cui effluente viene ozonato prima dello scarico ed è quindi ricco di ossigeno, e diminuisce successivamente fino al valore minimo nella stazione di Bresso, che comunque mostra una concentrazione media superiore a 7 mg/l.

BOD₅ e COD tendono ad aumentare fino a Paderno Dugnano e, come l'azoto totale, diminuiscono poi nella stazione di Bresso.

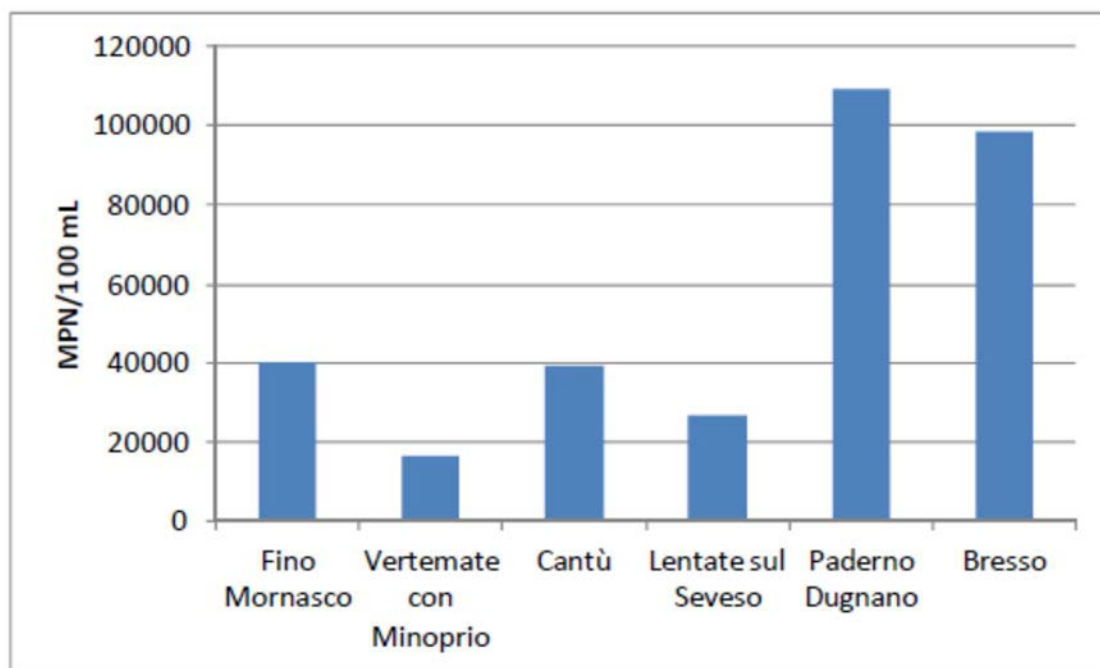


Figura 9. Medie delle cariche di *Escherichia coli* rilevate da ARPA nelle diverse stazioni del Seveso nel periodo 2005-2010.

Verificata la prevalenza dell'impatto degli scarichi degli impianti di depurazione rispetto a quella degli eventuali scarichi fognari non trattati, va osservato che il dato della carica di *Escherichia coli* è strettamente dipendente dall'efficienza della fase di disinfezione operata dagli impianti, ma può essere influenzato anche fortemente da scarichi civili non trattati anche di modesta portata nei quali la carica di batteri di origine fecale può essere molto elevata.

Per quanto riguarda, infine, le concentrazioni di metalli, le misure di ARPA non evidenziano alcun superamento degli standard di qualità indicati dalla Direttiva europea 105/2008 e recepita in Italia con il D.Lgs. 260/2010 rispetto ai quali, anzi, i dati del monitoraggio appaiono molto distanti. Nelle stazioni di Lentate sul Seveso e di Bresso il nichel raggiunge le sue concentrazioni massime, che comunque si attestano come valore medio, intorno a 17 µg/L, rispetto ad uno standard di 20 µg/L. Come spesso accade, le concentrazioni più elevate sono quelle dello zinco, data la sua presenza ubiquitaria.

Il monitoraggio condotto nel 2012 e nel 2013 ha riguardato un minor numero di stazioni e una serie più completa di parametri ed ha portato ad una classificazione migliore rispetto a quella precedente, basata non solo sui parametri chimici ma anche, per due delle stazioni analizzate, su alcune (diatomee e macroinvertebrati) delle metriche biologiche previste dalle norme vigenti.

Località	Prov.	Macroinvertebrati	Diatomee	Macrofite	Pesci	LIMeco	Stato chimico
		Stato					
Fino Mornasco/ Casnate	CO	-	-	-	-	SUFFICIENTE	BUONO
Vertemate	CO	SCARSO	-	-	-	SCARSO	BUONO
Lentate Sul Seveso	MB	SCARSO	BUONO	-	-	SCARSO	BUONO
Bresso	MI	CATTIVO	SCARSO	-	-	SCARSO	BUONO

Tabella 17. Classificazione di qualità delle acque del Seveso nel 2012 (ARPA, 2014).

Per il 2013 i dati non sono ancora stati elaborati ai fini della classificazione di qualità, ma il loro dettaglio può fornire interessanti indicazioni. Una sintesi dei risultati ottenuti nelle campagne di analisi del 2012 e del 2013 sono riportate nelle figure seguenti.

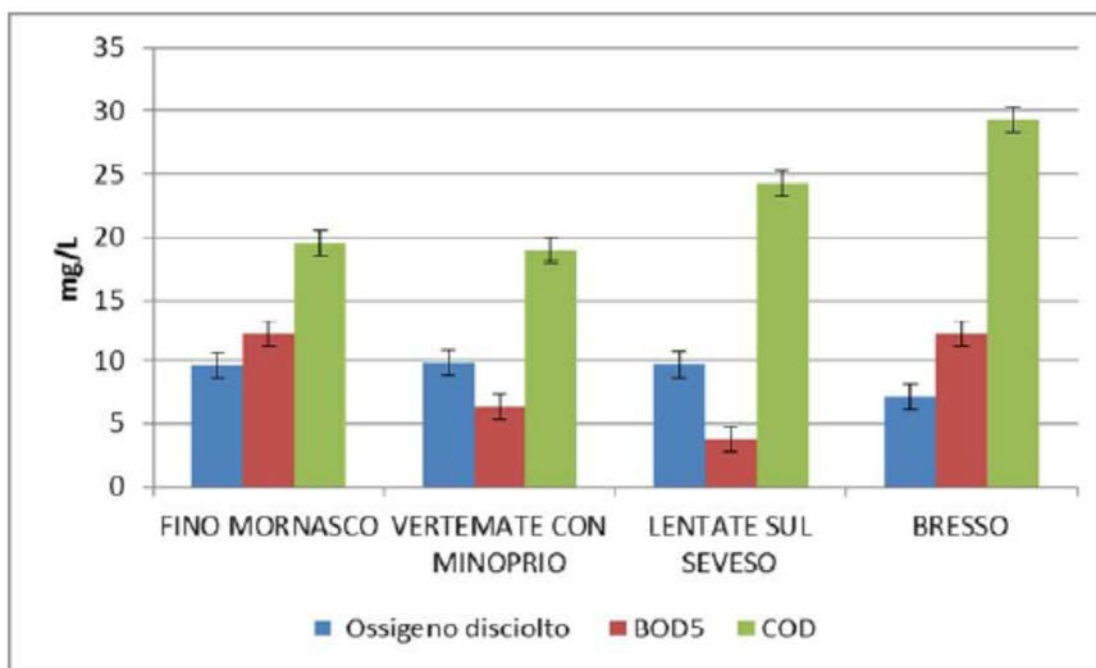


Figura 10. Valori medi della concentrazione di ossigeno disciolto e dei valori di BOD₅ e di COD lungo l'asta del Seveso nel 2012.

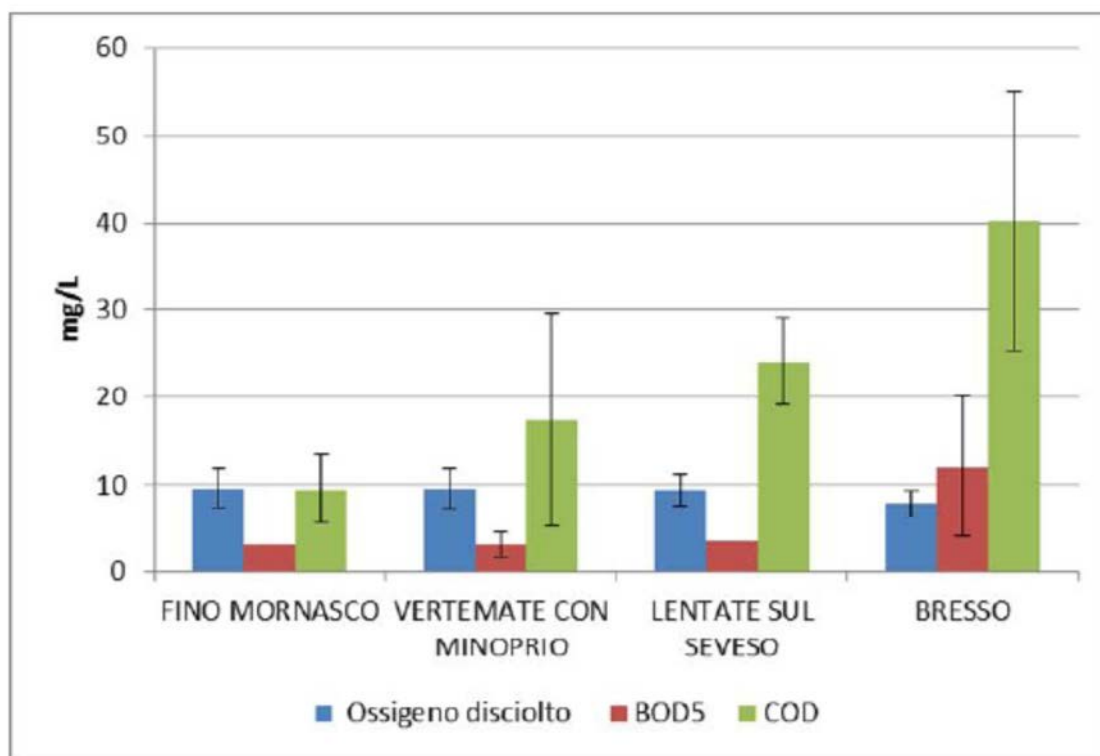


Figura 11. Valori medi della concentrazione di ossigeno disciolto e dei valori di BOD₅ e di COD lungo l'asta del Seveso nel 2013.

Per quanto riguarda l'ossigeno disciolto, il BOD₅ e il COD la situazione nel 2012 e nel 2013 è confrontabile con quella degli anni precedenti salvo per il valore del COD nell'ultima stazione che, nel 2013, è risultata superiore di circa 10 mg/l rispetto ai valori precedenti. Va peraltro ricordato che la stazione di Bresso è posta a valle dello scarico dell'impianto di depurazione e che una variazione di tale entità nell'effluente è da ritenersi normale. Anche i risultati delle analisi microbiologiche mostrano una situazione sostanzialmente costante nel tempo.

Le concentrazioni di nutrienti mostrano anch'esse valori simili a quelli riscontrati negli anni precedenti ma si rileva un'unica differenza sostanziale tra il 2012 e il 2013. Anche in questo caso si tratta della stazione di Bresso, che risente dello scarico dell'impianto di depurazione.

Nel 2012 la concentrazione di azoto ammoniacale era nettamente superiore a quella dell'azoto nitrico. Tale situazione è da mettere in relazione ad una nitrificazione non ottimale che, evidentemente, ha ripreso a funzionare correttamente nell'anno successivo.

Il monitoraggio ha compreso anche la determinazione di numerosi inquinanti chimici inorganici (Piombo, Mercurio, Nichel, Arsenico, Cadmio, Cromo, Cromo VI, Rame, Zinco) e organici (Atrazina-desisopropil, AMPA, Glifosate, Simazina, Atrazina, Diclorobenzammide 2,6, Terbutilazina desetil, Bromacil, Terbutilazina, Atrazina_desetil, Etilbenzene, 1,2 Dicloroetano, Toluene, dibromoclorometano, Tetracloroetilene (percloroetilene -PCE), Tetraclorometano (Tetracloruro di carbonio), Pentaclorobenzene, ETBE, Triclorometano (Cloroformio), Benzene, 1,1,1 Tricloroetano, Diclorometano, Tribromometano, diclorobromometano, Tricloroetilene (TCE), 1,1,2,2

Tetracloroetano, Esaclorobutadiene, Xilene orto, Tensioattivi anionici, Tensioattivi totali, Tensioattivi cationici, Tensioattivi non ionici). Per nessuno di essi si è riscontrata una concentrazione superiore agli standard di qualità per le acque superficiali: da tale situazione deriva la classificazione di Buono Stato Chimico indicata per il 2012, che appare comunque applicabile anche per il 2013.

In generale, negli ultimi anni si osserva più chiaramente la tendenza all'aumento delle concentrazioni di sostanza organica e di nutrienti da monte a valle, in relazione al progressivo accumulo dei carichi immessi. Anche il numero ridotto di stazioni influisce comunque sulla maggior regolarità degli andamenti. L'aumento più marcato si ha a valle dell'impianto di depurazione di Bresso. La distanza tra la stazione di Vertemate e lo scarico dell'impianto di Fino Mornasco è infatti sufficiente a consentire una certa autodepurazione, fenomeno che si verifica lungo l'intera asta del fiume ma la cui intensità non è sufficiente a controbilanciare l'effetto delle immissioni.

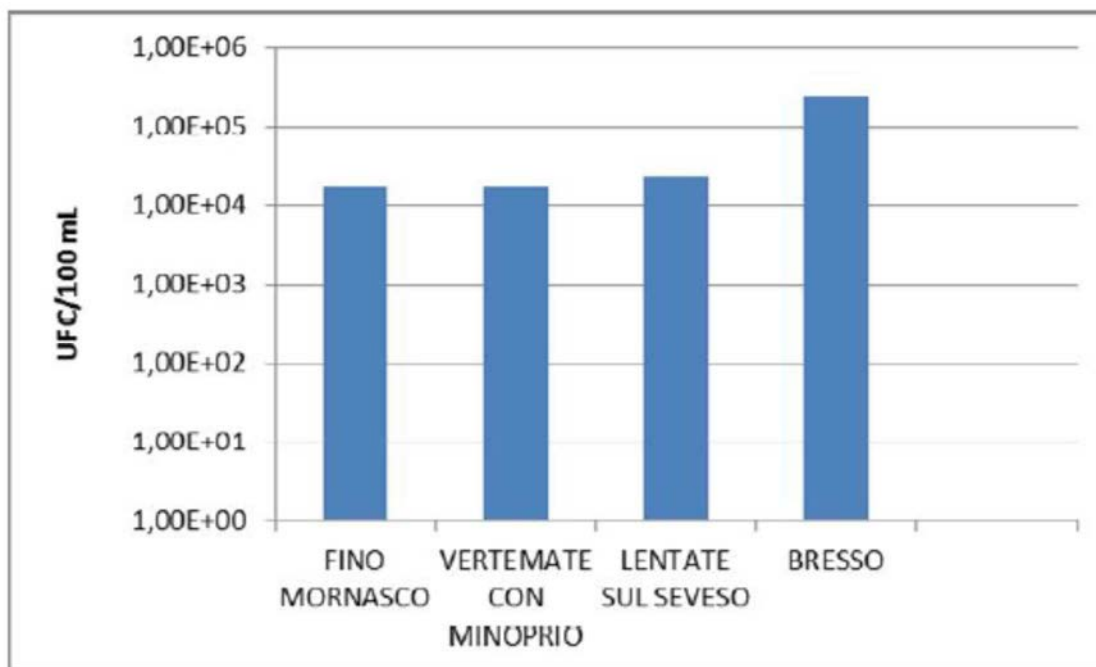


Figura 12. Andamento della carica di Escherichie coli lungo l'asta del Seveso nel 2012 (valori medi).

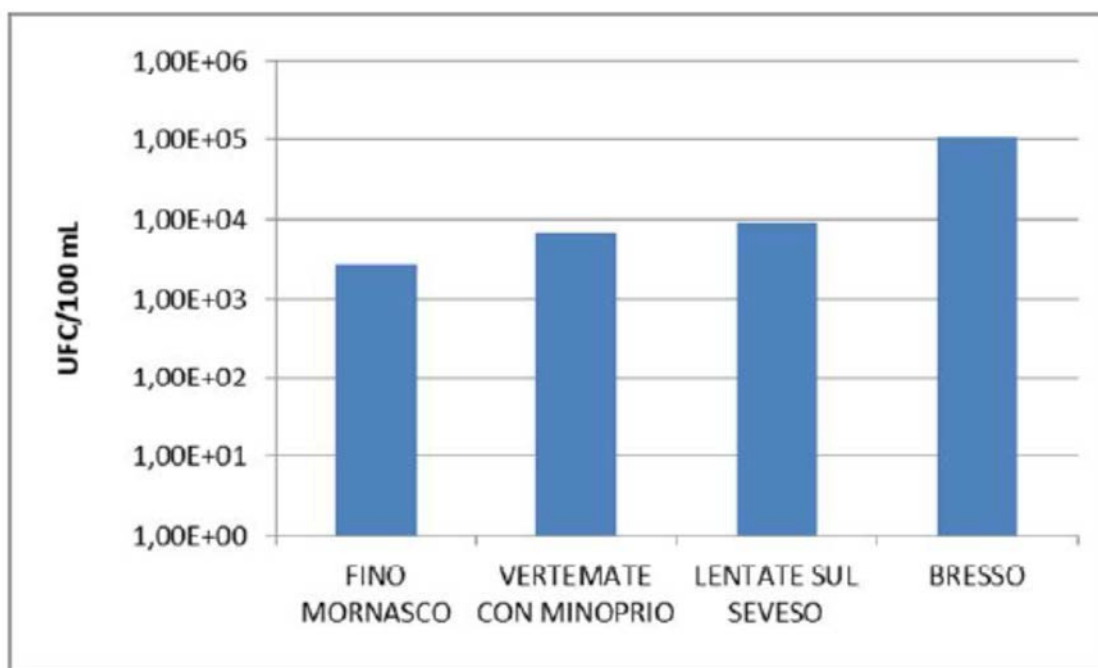


Figura 13. Andamento della carica di Escherichie coli lungo l'asta del Seveso nel 2013 (valori medi).

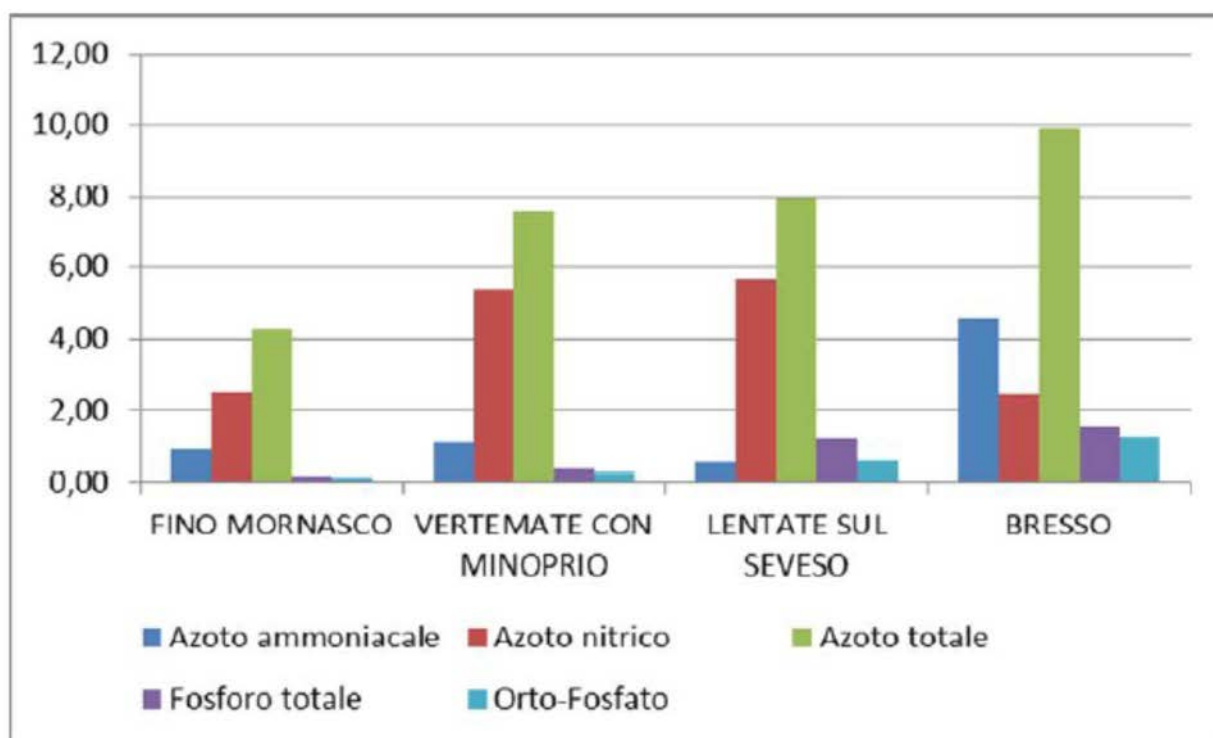


Figura 14. Valori medi delle concentrazioni di nutrienti lungo l'asta del Seveso nel 2012.

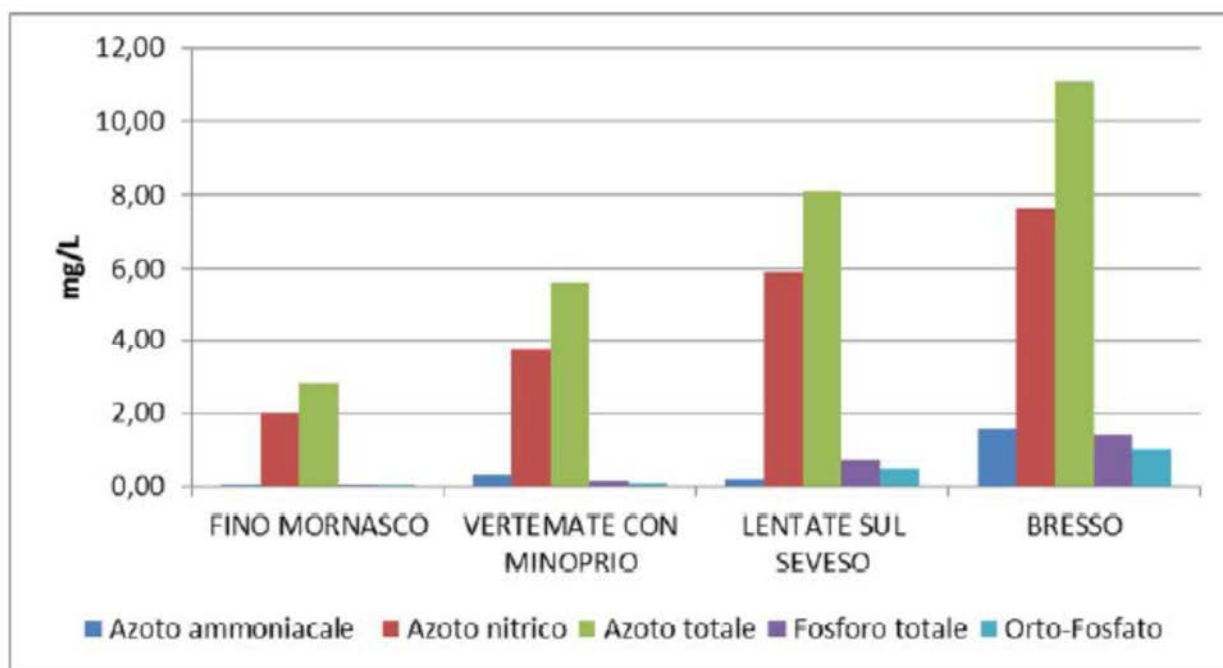


Figura 15. Valori medi delle concentrazioni di nutrienti lungo l'asta del Seveso nel 2013.

Va peraltro sottolineato il fatto che i campionamenti e le analisi vengono effettuati da ARPA in tempo asciutto e che, pertanto, consentono di delineare la situazione in tali condizioni ma non dicono nulla in merito a quanto si verifica durante le piogge. Di fatto, durante le piogge, all'aumento delle portate corrispondono qualità delle acque che possono nel transitorio prima peggiorare ulteriormente, in quanto condizionate alla prima onda nera scaricata dagli scaricatori di piena urbani, e poi passare a condizioni più accettabili, in funzione dell'effetto di diluizione. Come dimostrano i dati sperimentali della letteratura scientifica e tecnica, si tratta di processi tutt'altro che sistematici, ma molto variabili anche per lo stesso bacino, in relazione alle situazioni volta per volta presenti nelle diverse aree scolanti del bacino e nel corso d'acqua e alla dinamica del singolo evento meteorico. Tutto ciò aggiunge valore alla sperimentazione marzo-settembre 2014 più oltre descritta.

6.1.6.1.1 Valutazione dei carichi inquinanti

Le indagini condotte tra il 2005 e il 2011 nell'ambito del Contratto di Fiume Seveso promosso dalla Regione Lombardia ha evidenziato, tra gli affluenti, l'importanza del Torrente Certesa-Terrò, che è caratterizzato da un bacino piuttosto ampio (di 62 km² contro i totali 231 km² dell'intero bacino del Seveso) e presenta un contributo importante sia in termini di portata sia in termini di carico inquinante, cui contribuisce in misura significativa l'immissione dell'effluente dell'impianto di depurazione di Mariano Comense.

Da un'analisi delle fonti per individuare la suddivisione degli apporti, risulta che sia per i macrodescrittori che per i microinquinanti il contributo principale è dovuto agli scarichi dei depuratori, che mediamente pesano per oltre l'80% dei carichi totali del Seveso, come già osservato a proposito dei dati di qualità delle acque. Nel caso dei microinquinanti la fonte industriale ha un

peso maggiore rispetto agli affluenti. E' invece da rimarcare l'effetto diluente che il Certesa-Terrò attua su tutti i microinquinanti.

6.1.6.1.2 Fauna ittica

La situazione della fauna ittica nel Seveso è descritta nella Carta Ittica della Provincia di Milano. La comunità ittica risulta essere poco diversificata, con specie tra le più comuni nel territorio milanese, peraltro presenti nella gran parte con popolazioni poco consistenti e mal strutturate. È chiaro che la qualità fisico-morfologica e soprattutto quella chimico-fisica incidono moltissimo sull'ittiofauna, non consentendo al fiume di esprimere la sua vocazione naturale, ma costringendolo ad una vocazione a Ciprinidi, peraltro non particolarmente sensibili. Riguardo alle caratteristiche fisico-morfologiche esso presenta numerose opere di artificializzazione delle sponde e dell'alveo, soprattutto in corrispondenza degli insediamenti abitativi. Nel torrente Seveso, sono poche le specie esotiche, così come sono poche le specie ittiche nel complesso.

6.1.6.2 Campagna di monitoraggio qualitativo del T. Seveso e del CSNO da marzo a settembre 2014

6.1.6.2.1 Premessa

Le attività messe in atto da marzo a settembre 2014, ad integrazione di quelle già in capo ad ARPA, hanno avuto lo scopo di caratterizzare più approfonditamente la qualità delle acque del T. Seveso, attraverso la misura in continuo di alcuni parametri qualitativi caratteristici (temperatura, conducibilità, torbidità, pH, ossigeno disciolto), e alla misura puntuale di altri parametri, quali nutrienti, BOD, COD, durante alcuni eventi di piena. Ulteriori analisi sono state anche dedicate ai sedimenti di fondo del Seveso.

Con tali attività si è inteso studiare l'influenza delle piogge e, in particolare, analizzare gli andamenti delle caratteristiche delle acque nel tempo in relazione alle caratteristiche dell'evento considerato. È così possibile stimare i carichi e le concentrazioni che, in diverse condizioni idrologiche, verranno effettivamente immessi nella vasca di laminazione.

6.1.6.2.2 Siti di indagine

Il monitoraggio delle acque del T. Seveso è stato effettuato in due siti distinti (vedi Figura 16):

- Sito A: lungo il fiume Seveso a monte dell'opera di presa del Canale Scolmatore Nord Ovest, in sponda destra (Coordinate WGS84: 45.580114, 9.159558);
- Sito B: lungo il CSNO, in sponda destra, in prossimità del ponte di via Giuseppe di Vittorio (Coordinate WGS84: 45.570847, 9.131047).

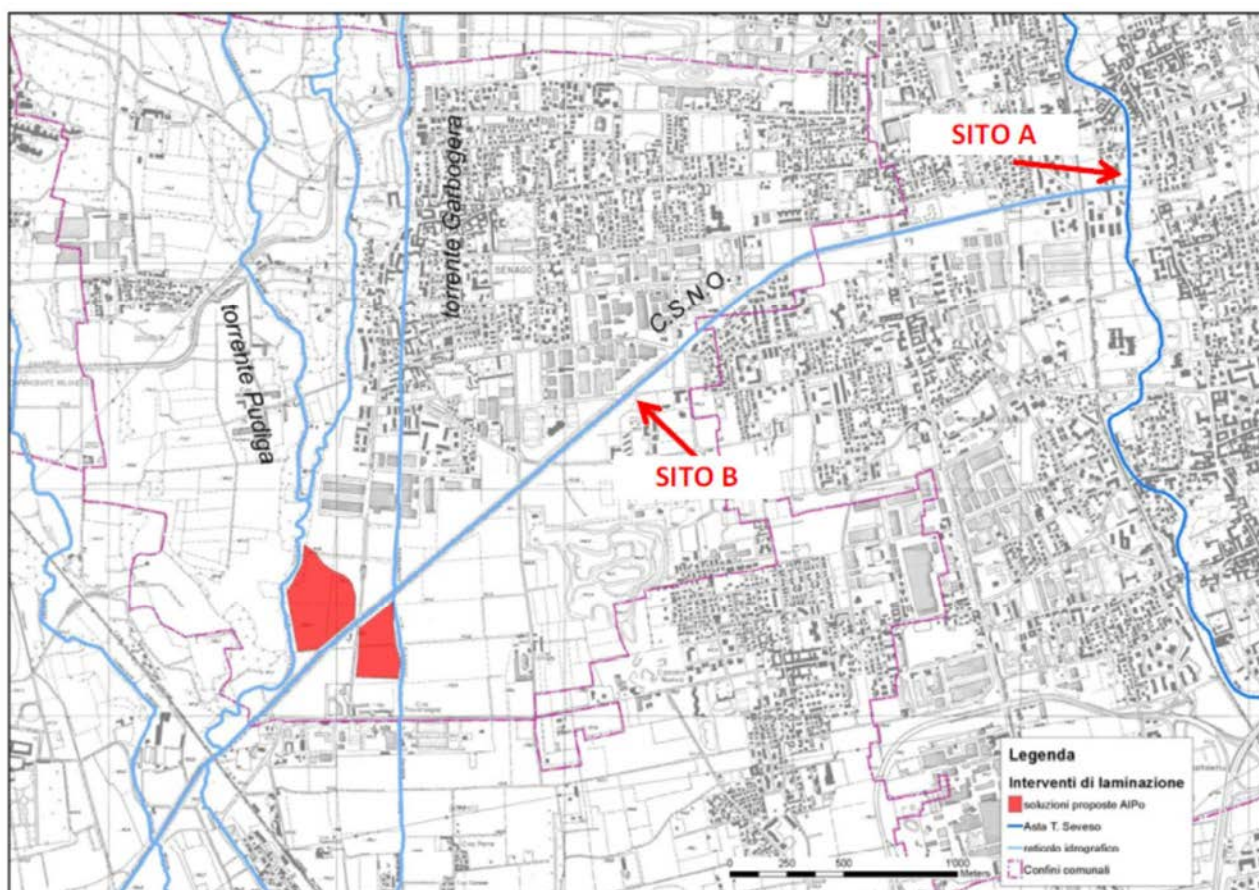


Figura 16. Cartografia con evidenziata la localizzazione dei siti di installazione della strumentazione di monitoraggio.

6.1.6.2.3 Stazioni di monitoraggio in continuo

Le sonde multiparametriche scelte per la sperimentazione sono strumenti per il monitoraggio in continuo (time step: 15 min) di livello, temperatura, pH/redox, conducibilità, torbidità e ossigeno disciolto. Per tale obiettivo sono state scelte due sonde YSI 6920 V2 realizzate da YSI Inc. L'installazione delle sonde è stata effettuata nel mese di marzo 2014.

6.1.6.2.4 Analisi della qualità dei campioni delle acque e dei sedimenti del T. Seveso e del CSNO

Al fine di valutare la qualità delle acque del T. Seveso e del CSNO durante gli eventi di piena si sono effettuati campionamenti automatici delle acque del T. Seveso anche con autocampionatore in corrispondenza della sezione di installazione della sonda multiparametrica. Durante gli stessi eventi precipitativi è stata inoltre installata una sonda spectro::lyser dell'azienda scan Messtechnik GmbH per l'acquisizione ogni 30 minuti di valori di N-NO₃ e di DOC. Per ciascun evento monitorato sono stati acquisiti 48 campioni da 1 litro (capacità delle bottiglie dell'autocampionatore) ogni 30 minuti, al fine di avere un campione integrato orario di 2 litri che garantisca la possibilità di effettuare tutte le analisi proposte in fase di progetto (24 campioni in 24 ore).

I campioni prelevati sono stati analizzati in laboratorio con riferimento ai parametri: TDP, P-PO₄, SST, TP, TN, TDN, N-NH₄, N-NO₃, DOC, COD, BOD₅, Cr(VI).

6.1.6.2.5 Analisi complessiva degli eventi monitorati

Nel corso della campagna di monitoraggio sono stati registrati e campionati tre eventi che hanno comportato portate significative nel CSNO. I tre eventi sono avvenuti nelle date: 27-28 aprile, 14-15 giugno, 28-29-30 giugno.

In Tabella 18 si analizzano congiuntamente i tre eventi mediante la valutazione dei valori medi, minimi, massimi e la deviazione standard calcolati sui parametri monitorati oltre all'altezza valore di pioggia cumulata e massima osservata per ciascun evento, in mm.

	27-28 Aprile 2014 (24 campioni)				14-15 Giugno 2014 (30 campioni)				28-29-30 Giugno 2014 (39 campioni)			
	Cumulata		Massimo nei 15 min		Cumulata		Massimo nei 15 min		Cumulata		Massimo nei 15 min	
Precipitazione Vertemate (mm)	40,4		2		24,2		3,8		130,4		21,5	
	Media	Min	Max	Dev.st	Media	Min	Max	Dev.st	Media	Min	Max	Dev.st
Q (m³/s)	12,99	4,09	34,64	8,56	12,07	3,53	42,48	10,73	-	-	-	-
SST (mg/l)	103,17	4,98	527,51	133,09	193,80	2,24	1586,11	331,84	506,20	3,24	2194,62	570,06
TP (µg/l)	1069,35	482,21	2752,13	642,71	1008,60	602,05	1812,51	332,08	715,65	344,38	1081,44	214,24
TDP (µg/l)	557,15	376,34	990,38	185,20	585,28	248,51	1035,50	235,28	303,41	134,65	705,92	181,84
P-PO4 (µg/l)	527,00	345,17	950,55	179,65	526,17	185,76	957,71	230,43	255,25	104,62	610,15	168,02
TN (mg/l)	6,30	3,18	13,05	2,85	7,15	3,71	13,55	2,46	5,32	3,47	7,38	1,16
TDN (mg/l)	4,28	2,69	6,69	1,20	5,17	3,67	8,67	1,50	3,82	2,63	6,78	1,13
N-NH4 (mg/l)	1,25	0,11	3,16	0,90	1,42	0,11	3,66	0,96	0,61	0,13	2,18	0,41
N-NO3 (mg/l)	3,03	2,38	3,98	0,51	3,74	1,43	8,04	1,56	3,21	2,01	4,86	0,95
BOD5 (mg/l)	14,08	0,00	45,00	13,28	16,73	0,00	35,00	11,04	12,73	1,30	32,50	9,36
COD (mg/l)	19,33	12,40	60,40	9,70	25,05	18,30	47,30	7,42	19,78	12,80	28,60	3,91
CrVI (µg/L)	-	-	-	-	9,97	5,41	21,54	3,65	5,87	2,37	11,50	2,19
Temp YSI Seveso (°C)	14,60	13,54	16,36	0,82	20,82	19,56	23,99	1,48	19,11	16,80	21,41	1,41
Cond YSI Seveso (µS/cm)25°C	456,15	337,50	627,50	89,75	484,32	297,00	943,00	200,90	273,24	148,00	499,00	118,96
DOsat YSI Seveso (%)	82,18	60,65	122,50	14,54	57,41	4,55	95,60	31,00	91,91	64,15	103,00	10,66
DO YSI Seveso (mg/l)	8,35	5,93	12,05	1,43	5,10	0,42	8,28	2,71	8,53	5,80	9,99	1,16
Depth YSI Seveso (m)	1,10	0,98	1,63	0,14	0,90	0,01	1,64	0,43	0,79	0,22	1,60	0,54
pH YSI Seveso	7,53	7,36	8,26	0,26	7,46	7,24	7,78	0,17	7,62	7,32	7,80	0,10
Orp YSI Seveso(mV)	201,92	112,90	274,20	60,40	212,88	147,20	286,65	41,16	421,63	403,80	437,40	6,75
Torbidità YSI Seveso(NTU)	61,53	3,65	320,35	75,91	462,62	5,50	3799,90	895,90	322,09	4,50	1332,70	365,82
NO3-Neq s::can (mg/l)	3,45	3,08	4,34	0,33	7,46	3,97	12,08	2,12	4,18	2,48	6,30	1,15
DOC eq s::can (mg/l)	3,10	1,66	6,01	1,14	4,36	3,07	5,83	0,55	4,97	2,13	8,07	2,14

Tabella 18. Statistica descrittiva delle principali variabili monitorate nell'arco dei tre eventi precipitativi, incluse le analisi aggiuntive sui campioni ai 30 minuti.

I tre eventi di piena monitorati sono caratterizzati da tre eventi precipitativi differenti: il primo poco intenso ma con precipitazione diffusa nel tempo, il secondo poco intenso ma impulsivo, il terzo molto intenso e impulsivo (fenomeno della bomba d'acqua).

Dall'analisi dei dati riportati in Tabella 18 è possibile osservare come ad un evento più intenso corrisponda una più elevata concentrazione di SST e quindi una maggior torbidità delle acque.

Dissimile è invece l'andamento delle concentrazioni dei principali parametri analizzati. Queste risultano infatti generalmente più basse negli eventi più intensi.

Questo fenomeno non è unicamente dovuto agli effetti di diluizione ma è strettamente connessa all'intensità dell'evento stesso ed alle caratteristiche del corpo idrico antecedenti l'evento di pioggia. E' importante sottolineare che durante l'evento precipitativo si ha l'attivazione degli scolmatori fognari e il dilavamento delle superfici urbane e che a valle di un evento intenso si osserva

generalmente una fase di miglioramento dello stato di qualità delle acque del fiume stesso. Se tra questo evento e quello successivo non si ha un prolungato periodo asciutto l'evento successivo veicolerà al fiume un carico inferiore di inquinanti/nutrienti poiché inferiore sarà l'accumulo nel bacino afferente al punto di monitoraggio, nonché nel sistema fognario.

Allo stesso tempo se un evento precipitativo risulta di forte intensità l'aumento di portata potrebbe essere così repentino da nascondere i fenomeni di first flush ben individuabili invece in eventi meno intensi.

Nel caso dei tre eventi monitorati, mentre per il primo evento è ben osservabile il fenomeno del first flush ovvero l'anticipo del picco dei nutrienti rispetto al picco di portata, SST e torbidità, nel secondo e terzo evento, di carattere più impulsivo, questo risulta poco evidente.

In entrambi i casi solo analisi di approfondimento sui campioni ogni 30 minuti hanno permesso di riconoscere questo fenomeno, seppur in maniera non troppo evidente, specialmente per il terzo evento. Questo non dipende unicamente dal fatto che i due eventi siano stati più intensi del primo ma anche dall'assenza di un periodo di almeno qualche giorno di tempo asciutto prima degli eventi di pioggia, presente invece nel caso del primo evento analizzato.

6.1.6.2.6 I metalli nei sedimenti accumulati nel CSNO

Al fine di aumentare le conoscenze relative alla contaminazione da metalli pesanti (Cr, Cu, Ni) dei sedimenti trasportati dalle acque del T. Seveso e potenzialmente invasabili nelle vasche di laminazione di Lentate sul Seveso, sono stati condotti degli approfondimenti analitici su queste categorie di metalli presenti nel sedimento fine del CSNO e del torrente Seveso.

L'attenzione è stata focalizzata sul sedimento vista l'affinità dei metalli pesanti e di altri inquinanti per i materiali a granulometria fine ricchi in sostanza organica che, per le loro caratteristiche fisico-chimiche e granulometriche, possono favorire la ritenzione e l'accumulo di sostanze potenzialmente tossiche. Nel corso della giornata del 30/06/2014 è stata condotta la campagna di raccolta del materiale fine sedimentato lungo il CSNO. Al fine di formulare un giudizio di qualità sufficientemente rappresentativo si è scelto di effettuare campionamenti integrati in 4 siti differenti del CSNO (vedi Figura 17):

- Sito A: in corrispondenza dell'opera di presa del CSNO dal Seveso;
- Sito B: circa 240 m a monte del sito di monitoraggio in continuo e in corrispondenza della confluenza delle due tombinature ovvero nel punto di restringimento della sezione;
- Sito C: in corrispondenza della strumentazione per il monitoraggio in continuo;
- Sito D: circa a 400 m a valle del punto di monitoraggio e in corrispondenza del ponte che sovrasta il canale lungo Via Martiri di Marzabotto.



Figura 17. Localizzazione delle quattro zone di prelievo del materiale sedimentato lungo il CSNO.

Occorre inoltre precisare che la gestione idraulica che contraddistingue il CSNO prevede azioni repentine di accumulo e rilascio di acqua, per far fronte a eventi improvvisi di piena del T. Seveso. Tali azioni comportano l'alterazione dei naturali meccanismi di accumulo e rimobilizzazione del sedimento fine; pertanto, risulta difficile definire i processi che portano all'immobilizzazione degli inquinanti nel sedimento e al loro rilascio in soluzione. Si può tuttavia affermare che la concentrazione totale dei contaminanti nel sedimento risulta solitamente strettamente correlata al carico inquinante derivante dalle attività produttive localizzate a monte del corpo idrico.

	Sito A	Sito B	Sito C	Sito D	VALORI SOGLIA			
					Suolo A*	Suolo B*	MacDonald, 2000 **	
					Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale	Siti ad uso Commerciale e industriale	cb-TEC	cb-PEC
Cu (mg/Kg s.s.)	52,47	74,62	76,55	85,00	120	600	31,6	149
Cr (mg/Kg s.s.)	37,19	81,80	44,79	53,66	150	800	43,4	111
Ni (mg/Kg s.s.)	31,79	47,30	45,27	36,07	120	500	22,7	48,6

Note:

* Concentrazione soglia di contaminazione nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare D.Lgs. 152/2006 ex DM 471/99

** MacDonald, Donald D., C. G. Ingersoll, and T. A. Berger. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 39: 20-31

Tabella 19. Concentrazioni dei metalli indagati e concentrazioni soglia.

In Tabella 19 sono confrontate le concentrazioni rilevate con i limiti di accettabilità per il suolo e per il sottosuolo in relazione alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare e con gli standard di

qualità proposti da MacDonald. Analizzando le concentrazioni dei tre metalli è possibile fare alcune considerazioni in merito alla loro distribuzione nelle 4 zone campionate.

La contaminazione da rame tende a crescere percorrendo da monte a valle il CSNO. Il cromo mostra, invece un massimo nella seconda zona di monitoraggio con valori superiori ad 80 mg/Kg s.s. Nelle altre zone le sue concentrazioni risultano minori, oscillando tra valori di poco inferiori ai 40 mg/Kg s.s. (sito A) e leggermente superiori ai 50 mg/Kg s.s. (sito D).

Per quanto riguarda il nichel i massimi si registrano nelle zone centrali (siti B e C) con valori tra i 40 e i 50 mg/Kg s.s..

Dal confronto tra i valori registrati (Tabella 19) e i valori soglia indicati dalla normativa si nota che le concentrazioni di tutti i metalli indagati permangono ben al di sotto dei limiti fissati dall'Allegato 5 al Titolo V della Parte quarta tabella 1 del D.Lgs 152/2006. In tali condizioni, se considerassimo i sedimenti come un suolo, questi ricadrebbero come suoli di tipo A, definiti come suoli di buona qualità destinabili ai siti ad uso verde pubblico, privato e residenziali.

Confrontando le concentrazioni degli elementi indagati con gli standard di qualità proposti da MacDonald et al. (2000) emerge che, mentre i limiti di cb-TEC (consensus based Treshhold Effect Concentration, ossia la concentrazione al di sotto della quale è statisticamente probabile non avere effetti tossici) risultano quasi in tutti i siti e per i tre metalli leggermente superati, se invece prendiamo in considerazione i limiti definiti cb-PEC (consensus based Probable Effect Concentration, ossia la concentrazione al di sopra della quale è probabile avere effetti tossici) non vengono mai superati. Queste considerazioni ci permettono di affermare che, in prima analisi, i sedimenti del CSNO risultano scarsamente contaminati dai metalli pesanti investigati.

6.1.6.2.7 I metalli nelle acque del T. Seveso

Oltre alla contaminazione da metalli pesanti dei sedimenti, è stata investigata anche la contaminazione delle acque da metalli quali Cromo, Cromo VI, Rame e Nichel. Per quanto concerne il Cr(VI) ogni campione raccolto negli ultimi due eventi precipitativi è stato analizzato. Per gli altri metalli considerati, le analisi sono state effettuate su di un campione integrato per ciascun evento.

			VALORI SOGLIA					
			260/2010 *	2013/39/EU		Tabella 2 152/06 **	Tabella 3 152/06 ***	
	14/15 giugno	28/30 giugno	Valore limite (µg/l)	AA-EQS (µg/l)	MAC-EQS (µg/l)	Valore limite (µg/l)	Scarico in acque superficiali (mg/l)	Scarico in rete fognaria (mg/l)
Cu (µg/l)	10.61	6.24	-	-	-	1000	≤ 0,1	≤ 0,4
Cr (µg/l)	2.40	0.87	7	-	-	50	≤ 2	≤ 4
Ni (µg/l)	4.34	1.25	20	4	34	20	≤ 2	≤ 4
CrVI (µg/l)	9.8	5.9	-	-	-	5	≤ 0,2	≤ 0,2

Note:

* Tabella 1/A e 1/B dell'Allegato 1

** Tabella 2 – Allegato 5. Concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee.

*** Tabella 3 – Allegato 5. Valori limiti di emissione in acque superficiali e in fognatura.

Tabella 20. Concentrazioni dei metalli indagati nelle acque e concentrazioni soglia.

In Tabella 20 sono riportati i valori osservati accostati a quelli soglia riportati rispettivamente dalla tabella 1/A e 1/B dell'allegato 1 al D.M. 260/2010, dalla direttiva 2013/39/EU e dalla tabella 2 e 3 del D.lgs. 152/2006. L'assenza di limiti normati per quanto concerne le concentrazioni di Rame e di Cromo esavalente nelle acque superficiali ha spinto ad introdurre i valori soglia per le acque sotterranee e per le acque reflue che scaricano in acque superficiali al fine di avere un termine di paragone per la contaminazione da questi metalli. Le concentrazioni registrate per Cu, Cr, Ni sono sempre inferiori ai limiti fissati dalla normativa mentre il Cr(VI) risulta avere valori medi superiori ai limiti di legge imposti per le acque sotterranee (5 µg/l).

Per tutti i metalli analizzati le concentrazioni misurate nella seconda campagna appaiono decisamente inferiori a quelle determinate nella prima. Questo potrebbe essere imputabile ad una maggior diluizione dei carichi immessi dovuta al prolungarsi dei fenomeni precipitativi che hanno caratterizzato il periodo di analisi.

6.1.6.2.8 Considerazioni in tempo asciutto

Di sicuro interesse al fine di una corretta interpretazione dei dati di qualità delle acque durante gli eventi precipitativi, risulta essere una analisi su dati raccolti in tempo asciutto.

A tal fine, nelle prime fasi di questa sperimentazione, nel corso della giornata del 18 Aprile 2014, sono stati raccolti campioni acquosi nel T. Seveso e nel CSNO. Inoltre, tra i campioni raccolti durante i tre eventi precipitativi si sono identificati i campioni riconducibili a condizioni di tempo asciutto, ovvero antecedenti l'evento precipitativo oppure prelevati 6 ore dopo il termine dell'evento stesso. Questo valore è stato scelto sulla base del tempo di ritardo del bacino in oggetto stimato di circa 4 ore.

Come è possibile osservare in Tabella 21, le analisi condotte sui campioni raccolti il 18 Aprile mostrano valori del tutto simili tra Seveso e CSNO. Nonostante il prolungato periodo secco antecedente alla data di prelievo si rilevano concentrazioni di inquinanti/nutrienti addirittura superiori a quelle osservate durante gli eventi di pioggia.

Si osservano invece concentrazioni piuttosto basse dei parametri analizzati per il tempo asciutto identificato a valle del terzo evento precipitativo. Questi valori sono da imputarsi, oltre che alla diluizione operata dall'evento di pioggia, all'avvicinarsi di numerosi altri eventi precipitativi nel corso della stagione che hanno aumentato gli effetti di diluizione e dilavamento dell'intero bacino idrografico.

TEMPO ASCIUTTO	Seveso (18/4/2014)	CSNO (18/4/2014)	27/04/2014 12:30	30/06/2014 02:45	30/06/2014 03:45	30/06/2014 04:45	30/06/2014 05:45	30/06/2014 06:45
Q (m³/s)	-	-	4,09	-	-	-	-	-
SST (mg/l)	28,60	37,20	4,98	100,97	89,35	70,23	61,23	56,04
TP (µg/l)	1649,72	1738,60	943,62	480,21	426,28	372,35	372,35	344,38
TDP (µg/l)	1477,94	1502,90	913,66	232,53	214,55	244,51	206,56	224,54
P-PO4 (µg/l)	1358,81	1401,61	878,00	165,51	172,89	185,80	185,80	189,49
TN (mg/l)	11,20	10,42	3,94	4,78	3,67	3,71	3,78	3,80
TDN (mg/l)	9,54	9,22	3,89	3,00	3,29	3,60	3,67	3,40
N-NH4 (mg/l)	0,60	0,60	0,11	0,21	0,21	0,18	0,26	0,57
N-NO3 (mg/l)	-	-	3,78	2,80	3,08	3,43	3,41	2,84
BOD5 (mg/l)	-	-	15,00	2,10	2,70	3,20	2,70	4,30
COD (mg/l)	-	-	23,60	18,50	17,50	17,90	17,20	18,20
CrVI (µg/L)	-	-	-	6,93	4,80	4,20	5,41	2,98
Temp YSI (°C)	14,50	14,54	16,08	17,41	17,22	17,04	16,88	16,80
Cond YSI (µS/cm)25°C	1091,00	1045,00	601,00	229,00	242,50	256,50	267,00	278,50
DOsat YSI (%)	97,80	84,50	122,50	98,55	100,35	99,80	101,35	103,00
DO YSI (mg/l)	9,94	8,58	12,05	9,44	9,65	9,63	9,82	9,99
Depth YSI (m)	0,96	0,31	0,98	0,32	0,31	0,31	0,30	0,25
pH YSI	8,02	8,16	8,26	7,65	7,68	7,70	7,73	7,75
Orp YSI (mV)	248,70	197,50	274,15	420,45	419,65	418,45	416,70	415,55
Torbidità YSI (NTU)	18,60	11,60	3,65	129,40	98,00	78,95	65,10	54,05
NO3-Neq s::can (mg/l)	-	-	3,90	4,30	4,30	4,34	4,34	4,38
DOC eq s::can (mg/l)	-	-	1,66	7,10	7,22	7,34	7,50	7,53

Tabella 21. Analisi delle acque in tempo asciutto.

6.1.6.2.9 Conclusioni

In tempo piovoso le onde di concentrazione manifestano punte in leggero anticipo (effetto first flush) rispetto alle onde di portata. Durante tali eventi i valori medi delle concentrazioni confermano in generale la qualità scadente delle acque che quindi non dovranno infiltrarsi verso la prima falda, con ciò confermando la necessità dell'impermeabilizzazione delle vasche prevista in progetto.

I valori di azoto, fosforo, BOD₅, COD e Cr(VI) non appaiono tuttavia preoccupanti ai fini dell'ecosistema e del mantenimento del verde delle vasche, che anzi contribuirà all'assorbimento dei nutrienti.

Al contrario i SST e la torbidità delle acque denunciano un'elevata concentrazione di sedimenti trasportati dalle acque, peraltro con basse e non preoccupanti concentrazioni di metalli pesanti (Cr, Cu, Ni), come confermato anche dalle analisi sui sedimenti. Ne consegue la necessità di modalità di manutenzione atte a rimuovere periodicamente dalle aree verdi i sedimenti, peraltro classificabili, per quanto riguarda i metalli monitorati, in modo analogo ai suoli di tipo A destinabili ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

6.2 Indagini integrative

I paragrafi successivi relazionano in merito alle indagini integrative svolte nell'ambito della presente progettazione definitiva.

6.2.1 Rilievi topografici

I dati topografici e batimetrici disponibili sono stati integrati con un rilievo in campagna appositamente svolto allo scopo di:

1. verificare le caratteristiche geometriche dei manufatti in alveo;

2. dettagliare la batimetria dell'alveo, le quote di sponda e le quote del piano campagna nel tronco d'alveo in cui l'opera si inserisce;
3. verificare e dettagliare le quote del piano ferro della ferrovia Milano-Lentate, interferente con gli interventi.

I rilievi integrativi hanno interessato il tratto di Seveso compreso tra il manufatto di sottopasso al Canale Villoresi a sud, ed il ponte di accesso al depuratore di Varedo (in fase di dismissione) a nord; complessivamente, il tratto di torrente rilevato è lungo oltre 700 m.

Lateralmente, i rilievi sono stati estesi per una fascia di circa 50-100 m; dove ciò non è stato possibile, i rilievi sono stati interrotti ai limiti delle proprietà adiacenti alle sponde; in ogni caso, nel tratto a valle del depuratore il rilievo è stato esteso sino al rilevato della ferrovia Milano-Lentate ad ovest, ed oltre la pista ciclopedonale esistente ad est. I rilievi hanno interessato anche la batimetria dell'alveo esistente, consentendo in questo modo di ricostruire 38 sezioni fluviali.

Le quote rilevate sono state collegate ai capisaldi utilizzati dall'Autorità di Bacino per le attività topografiche realizzate 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"*, e restituite in coordinate ED50-UTM32. In particolare, i rilievi integrativi sono stati eseguiti con riferimento al caposaldo con codice "CS011", di cui si allega la scheda di riconoscimento, situato in comune di Bovisio Masciago.



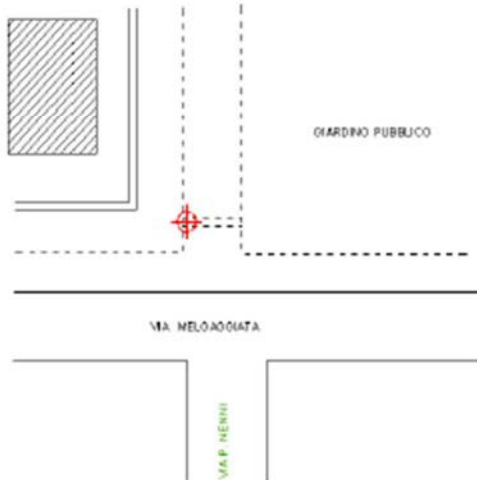

 AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO	RETE DI RAFFITTIMENTO		Caposaldo n° CS011
	SCHEDA DI RICONOSCIMENTO CAPOSALDO		
Regione: LOMBARDIA	Provincia: MILANO	Comune: BOVISIO MASCIAGO	
Rete inquadramento : IGM95	Nuovo vertice: <input checked="" type="checkbox"/>	Data rilievo: 15/02/2002	
Inquadramento territoriale - scala 1:25,000		Planimetria / Schizzo	
			
Coordinate Geografiche	Coordinate Piane (m.)		Quote (m.)
WGS84 LATIT.: 45°36'54",6413 LONGIT 09°09'06",1607	WGS84 UTM32 N : 5051303,783 E : 511828,527	ED50 UTM32 N : 5051501,860 E : 511910,480	ELLISS. : 235,187 S.L.M. : 190,971 Caposaldo collegato: IGM-F°45-N.79 Quota Caposaldo: 187,99
Ubicazione Comune di Bovisio-Masciago - Parco pubblico all'angolo tra Via Melgacciata e Via Pietro nenni		Fotografia 	
Accesso Dall'abitato di Bovisio Masciago, direzione Cesano Maderno, all'estremo del territorio comunale di Bovisio Masciago			
Materializzazione Borchia metallica posta sopra il cordolo che delimita il percorso pedonale del parco pubblico, di fronte all'incrocio con Via Pietro Nenni			

Figura 18. Scheda di riconoscimento del caposaldo di riferimento.

Nella figura seguente si riporta la localizzazione del caposaldo rispetto all'opera in progetto. Per avere dei riferimenti più prossimi all'opera e quindi agevolare le attività di rilievo e georeferenziazione dei punti, sono stati poi individuati sette vertici in relazione al caposaldo sopracitato, situati nelle vicinanze del sovrappasso del canale Villoresi sul Torrente Seveso. Tali vertici, da potersi utilizzare

come caposaldi, e relative coordinate nel sistema di riferimento ED50-UTM32 sono riportati nelle tavole 3.1.1 e 3.1.2.

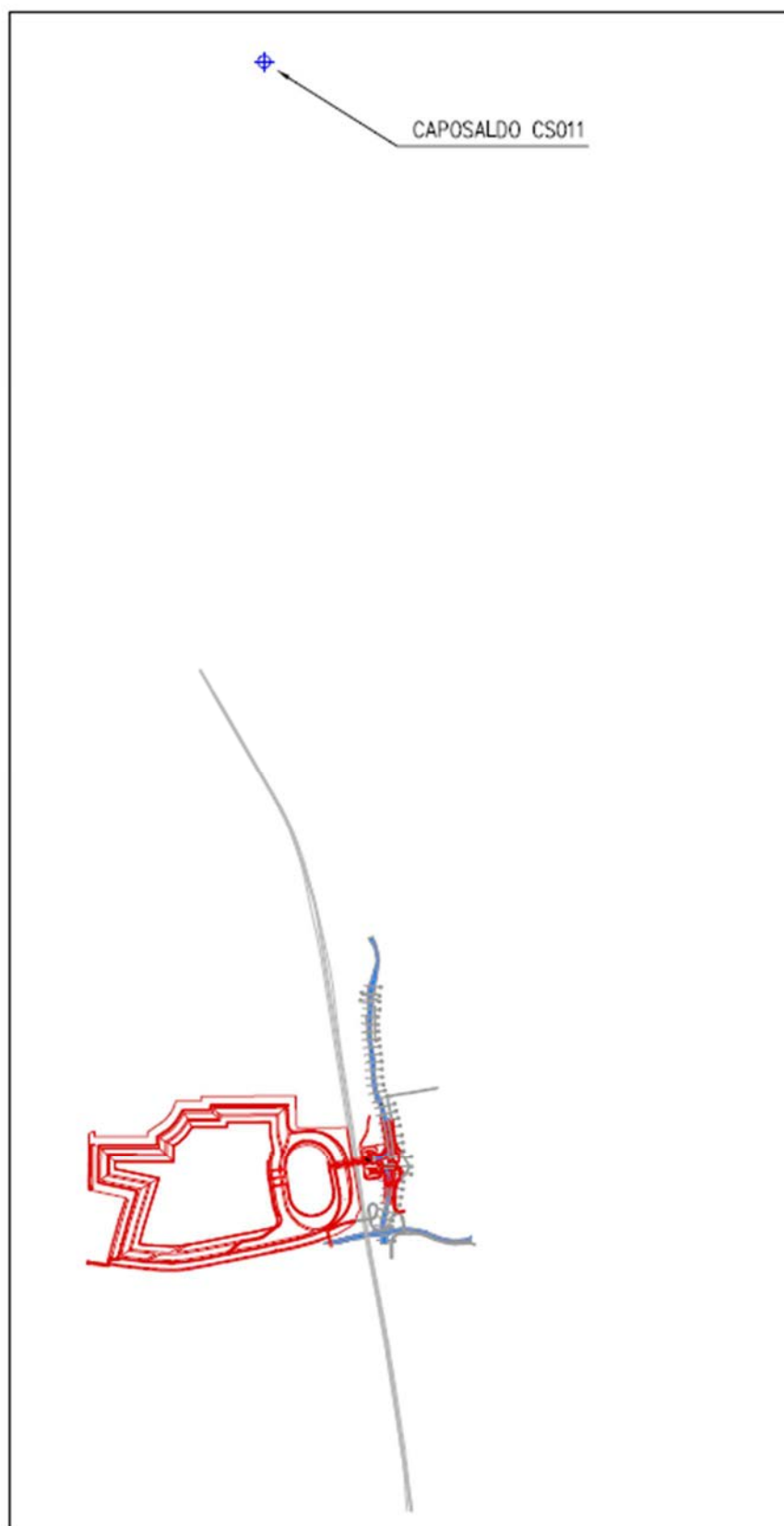


Figura 19. Localizzazione del caposaldo in riferimento all'opera in progetto.

6.2.2 Analisi geognostiche

Le indagini geognostiche svolte appositamente in questa fase di progetto sono descritte nella Relazione sulle indagini geognostiche.

7 Sintesi delle relazioni specialistiche allegate al progetto

Le attività specialistiche condotte nell'ambito del presente progetto hanno portato alla redazione, oltre che della presente relazione generale di specifiche relazioni specialistiche; nel presente capitolo si riporta una sintesi delle principali, rimandando agli atti di cui al capitolo 9:

- Relazione geologica, geotecnica e sismica;
- Relazione idrologica e idraulica;
- Relazione sulle strutture;
- Relazioni geotecniche di stabilità;
- Relazione sulle opere di inserimento paesaggistico ed ambientale;
- Relazione tecnica impianti;
- Relazione storica, architettonica ed archeologica;
- Relazione naturalistica-ambientale;

Nel seguito del paragrafo è riportata la sintesi delle attività svolte in ciascuna di esse.

7.1 Relazione geologica, geotecnica e sismica

La caratterizzazione geologica della zona di interesse è stata effettuata sulla base della documentazione scientifica esistente e sulla base dei risultati delle indagini integrative eseguite nel 2017 (riportate nella relazione sulle indagini geognostiche). In questo documento è riportata la caratterizzazione sito-specifica dell'area interessata dal progetto, effettuata in accordo con quanto riportato nelle norme tecniche per le costruzioni relativa a tutti gli aspetti rilevanti per il dimensionamento geotecnico delle opere.

In particolare la relazione geologica, geotecnica e sismica tratta i seguenti aspetti:

- Normativa di riferimento
- Modello geologico di riferimento
 - Caratteristiche geologico-geomorfologiche generali
 - Caratteristiche geologico-geomorfologiche di dettaglio
- Modello idrogeologico di riferimento
- Indagine geognostiche
 - Sequenza stratigrafica
 - Prove SPT
 - Prove geofisiche
- Modello geotecnico
 - Definizione unità geotecniche
 - Definizione parametri fisici e meccanici di progetto
 - Livello piezometrico di progetto
- Caratterizzazione sismica
 - Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento delle opere
 - Pericolosità sismica

- Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche
- Azione sismica di progetto

7.2 Relazione idrologica e idraulica

La Relazione idrologica e idraulica allegata al presente progetto definitivo contiene una sintesi delle analisi idrologiche e degli studi pregressi che hanno fornito la base per lo sviluppo del presente progetto; la relazione presenta inoltre le analisi e le verifiche idrauliche svolte allo scopo di accertare il corretto dimensionamento delle opere.

Le verifiche idrauliche effettuate hanno riguardato in particolare:

1. il funzionamento dell'opera durante il processo di invaso per la piena di progetto;
2. le condizioni di rischio idraulico determinate dall'opera durante la piena di progetto in caso di funzionamento ordinario;
3. le condizioni di rischio idraulico determinate dall'opera durante la piena di progetto in caso di inservibilità dell'opera per malfunzionamento;
4. la resilienza dell'opera nei confronti di un evento più gravoso di quello di progetto;
5. l'analisi del funzionamento dell'opera per gli eventi di piena caratterizzati da frequenza di accadimento inferiore a quella di progetto;
6. il calcolo dei tempi di svuotamento della vasca.

Le verifiche hanno dimostrato che per la piena di progetto l'opera è in grado di invasare a 2.100.000 m³ di acqua, garantendo un rilascio di portata a valle non superiore a 37 m³/s, mentre per un evento caratterizzato da volumi maggiori del 34% rispetto a quello di progetto, l'opera può invasare fino a 2.245.000 m³ di acqua, garantendo un rilascio di portata a valle non superiore a 100 m³/s. Il rischio idraulico a monte dell'opera non risulta in alcun caso incrementato significativamente rispetto alle condizioni attuali. I tempi di svuotamento della vasca risultano sostanzialmente in linea con quelli previsti nel progetto preliminare.

7.3 Relazione sulle strutture

La Relazione riporta le elaborazioni svolte per le verifiche di resistenza strutturale relative alle opere in progetto, in particolare:

- il manufatto di imbocco e sollevamento;
- il manufatto di attraversamento della ferrovia;
- il manufatto di regolazione delle portate.

Le verifiche strutturali sono state svolte sia per gli stati limite ultimi, sia per gli stati limite di esercizio.

7.4 Relazioni geotecniche di stabilità

La relazione illustra le verifiche geotecniche eseguite per il dimensionamento delle opere previste nell'ambito dell'appalto in oggetto. Le verifiche per cui sono state predisposte le relazioni, sono relative alle seguenti:

- Opere in terra (argine intermedio e scarpate vasche);
- Stabilità dei manufatti in c.a.;
- Analisi dell'interferenza con il rilevato ferroviario.

Le verifiche sono state condotte adoperando il metodo degli Stati Limite, così come prescritto dal D.M. 14/01/2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni.

Tutte le verifiche di stabilità globale delle sponde dell'argine risultano ampiamente soddisfatte, anche considerando le condizioni di svuotamento rapido delle vasche. Attraverso le analisi è stato inoltre possibile verificare l'efficacia del sistema di impermeabilizzazione del fondo dell'area di laminazione. Analogamente, sono state rispettate le verifiche per i diaframmi costituenti le pareti del manufatto di imbocco e sollevamento e degli scatolari di attraversamento.

7.5 Relazione sulle opere di inserimento paesaggistico ed ambientale

La relazione illustra i principi e i criteri legati alla progettazione delle opere di inserimento paesaggistico ed ambientale della vasca di laminazione. Nell'ambito del presente progetto risulta di fondamentale importanza, infatti, l'adeguamento delle vasche dal punto di vista ambientale al fine di creare un sito con valenze naturali di pregio e possa al contempo costituire un polmone verde all'interno del nucleo urbanizzato circostante.

Come spiegato in modo più dettagliato nella relazione specialistica, l'intervento di inserimento paesaggistico ed ambientale non vuole stravolgere l'attuale assetto urbanistico con un elemento spiccatamente naturale (in modo da favorire la connettività ecologica e la fauna locale) che cerchi di contrastare il tessuto urbano di Varedo, Paderno Dugnano e Limbiate, ma piuttosto di inserirlo in continuità con esso, cercando di creare un parco verde integrato in un contesto quasi totalmente antropizzato.

Pertanto, oltre naturalmente alla funzione idraulica dell'opera, si darà priorità alle funzioni "sociali" delle vasche di laminazione, creando zone fruibili dal pubblico con la possibilità per le Amministrazioni comunali di utilizzare tali enormi spazi per la pubblica utilità.

7.6 Relazione tecnica impianti

La Relazione riporta le specifiche tecniche e i dati di dimensionamento di tutte le opere elettromeccaniche previste in progetto, in particolare:

- le elettropompe per lo svuotamento della vasca;

- la pompa di sentina a servizio dello sgrigliatore;
- lo sgrigliatore oleodinamico semovente di tipo telescopico;
- la paratoia di regolazione a settore;
- la paratoia di esclusione della vasca;
- le paratoie di scarico della vasca;
- la centralina oleodinamica di azionamento delle paratoie;
- gli impianti di illuminazione interna ed esterna;
- l'impianto di terra;
- l'impianto di telecontrollo;
- la cabina di trasformazione MT/BT;
- i quadri elettrici di bassa e media tensione;
- l'impianto PLC.

7.7 Relazione storica, architettonica ed archeologica

Il contesto territoriale in cui è inserito l'intervento ed a cui è connesso attraverso percorsi, aree di sosta, affacci e viste panoramiche d'insieme, ha una antica formazione storica di cui restano tracce in alcune dimore signorili come l'ottocentesca Villa Bagatti Valsecchi a Varedo, costruita su pre-esistenze rurali settecentesche.

Il paesaggio agrario storico è stato progressivamente insediato, a partire dai primi decenni del '900, da edificazione di tipo industriale. Nel 1927 viene realizzato l'enorme (430.000 mq.) complesso produttivo della SNIA Viscosa, a Sud del centro storico di Varedo, allora poco più di un borgo, ed in prossimità del Torrente Seveso, ma soprattutto in stretta connessione con le Ferrovie Nord Milano.

Il complesso sarà oggetto di progressivi allargamenti e integrazioni, fino al completo abbandono nel 2003. Nell'area tra il complesso ed il Canale Villoresi, dismessa e liberata da edifici e strutture di servizio, verrà realizzato l'intervento in progetto. La struttura urbanistica del complesso industriale non è interessata dall'intervento né le originali cinte murarie. Resta tuttavia un rapporto visivo intenso tra i nuovi bacini di laminazione ed i profili di torri e ciminiere che caratterizzano l'orizzonte settentrionale dell'area.

Nei cartelli didattici previsti, saranno comprese anche informazioni relative alla evoluzione del sito per dare senso a quanto è ancora visibile nell'intorno e per relazionare la storia agli elementi naturali ed artificiali ancora presenti.

Il confine meridionale dell'area di intervento si affaccia sul Canale Villoresi, ultimato nel 1890, canale di irrigazione e grande opera ingegneristica proveniente dal Ticino e diretto verso il Naviglio della Martesana, che diventa parte integrante e caratterizzante del progetto.

I percorsi ciclopeditoni condurranno i visitatori all'interno del complesso sistema di infrastrutture per la gestione dell'acqua (di cui le vasche di laminazione sono l'intervento più recente) che qui, ai confini tra i tre comuni, si arricchisce di importanti episodi di tipo storico e ingegneristico, ma che conduce alla fruizione e comprensione di un territorio molto più ampio tra Ticino, Seveso e Olona.

7.8 Relazione naturalistica-ambientale

L'influenza, seppur localizzata, che il progetto potrà avere sul corso d'acqua e la mancanza di dati aggiornati sulla qualità delle acque del T. Seveso hanno reso necessaria un'indagine conoscitiva sullo stato delle acque T. Seveso. La presente relazione rappresenta un aggiornamento dei dati disponibili sulla qualità delle acque del T. Seveso, integrati con i dati biologici sitospecifici ed ecomorfologici, risultato di una apposita campagna di monitoraggio effettuata nell'aprile 2017.

I risultati hanno messo in evidenza il perdurare di una situazione di compromissione per la maggior parte della lunghezza di questo corso d'acqua, e in particolare, per il tratto a valle di Lentate sul Seveso, dove per effetto dell'intensa urbanizzazione aumenta notevolmente il carico inquinante di origine civile. In particolare, durante gli eventi piovosi si assiste tipicamente ad un peggioramento della qualità delle acque che poi va a migliorare per l'effetto della diluzione dovuta all'aumento delle portate. Bisogna considerare che nelle vasche di laminazione saranno intercettate solamente le portate in eccesso (al di sopra 30 m³/s), quindi caratterizzate da una qualità migliore rispetto a quelle di *first flush*.

Il nuovo intervento dai caratteri paesaggistici fortemente artificiali sintetizza l'evoluzione storica del territorio in cui si inserisce: dall'alveo semi-naturale del Torrente Seveso, ai paesaggi agrari delle cascine dell'alta pianura lombarda, alle infrastrutture territoriali per l'irrigazione, alle opere ingegneristiche necessarie per armonizzare la presenza delle infrastrutture per il trasporto ed i diversi livelli delle vie d'acqua.

8 Infrastrutture e servizi interferenti con l'opera

In base agli elaborati del progetto preliminare, le opere in progetto interferiscono con le seguenti infrastrutture:

1. gasdotto SNAM;
2. collettore fognario CAP Holding S.p.A.;
3. linea ferroviaria Milano–Camnago–Lentate.

8.1 Gasdotto SNAM

La tubazione del gas è collocata in adiacenza alla sponda destra del T. Seveso (vedi Figura 20).

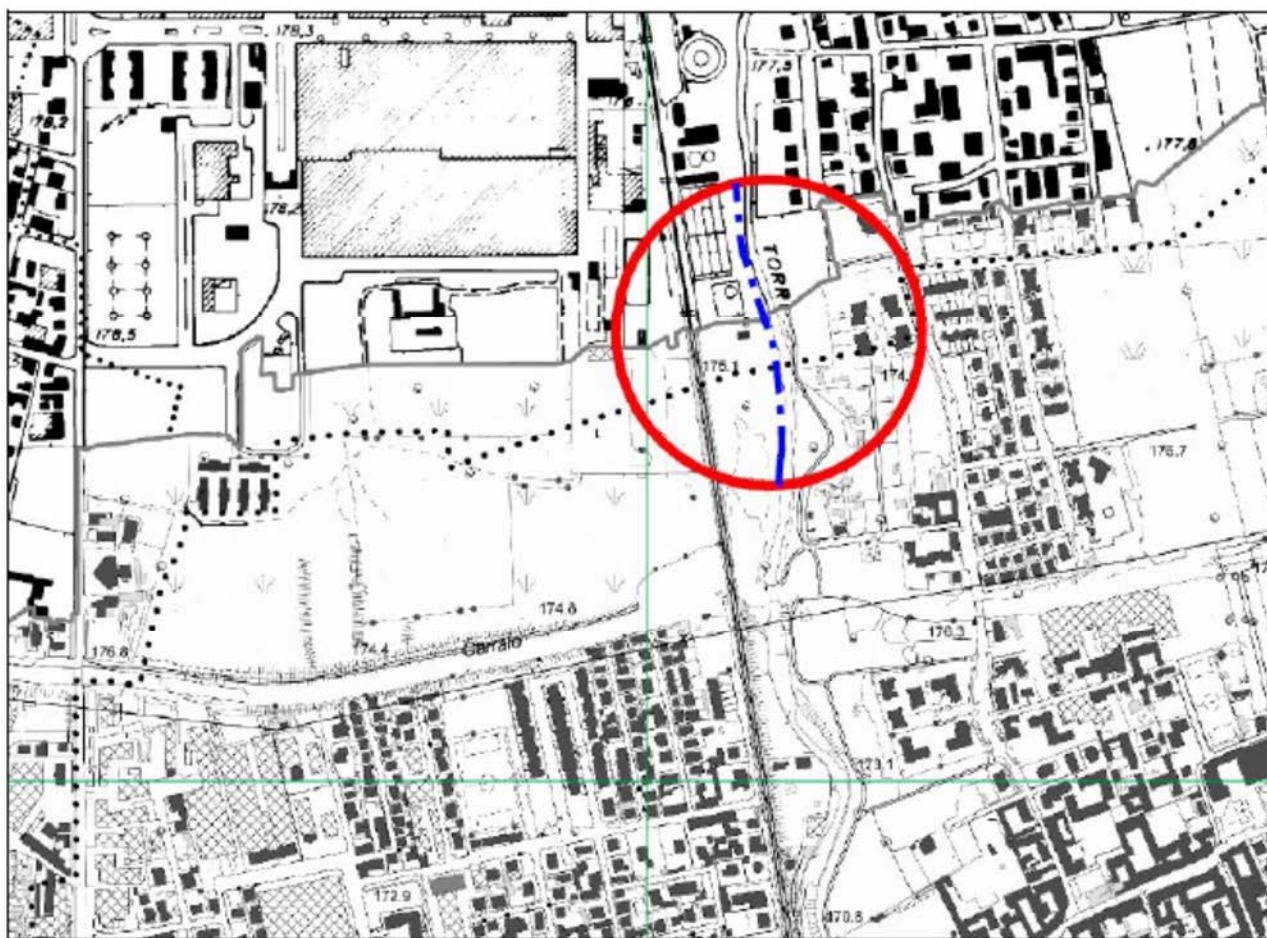


Figura 20. Ubicazione della tubazione del gas posta in sponda destra al torrente Seveso (fonte: SNAM).

Per risolvere l'interferenza tra la tubazione del gas e le opere in progetto si prevede di realizzare lo spostamento di un tratto di tubazione, compreso tra l'area del depuratore e il ponte canale del Villoresi, arretrandone l'allineamento verso ovest.

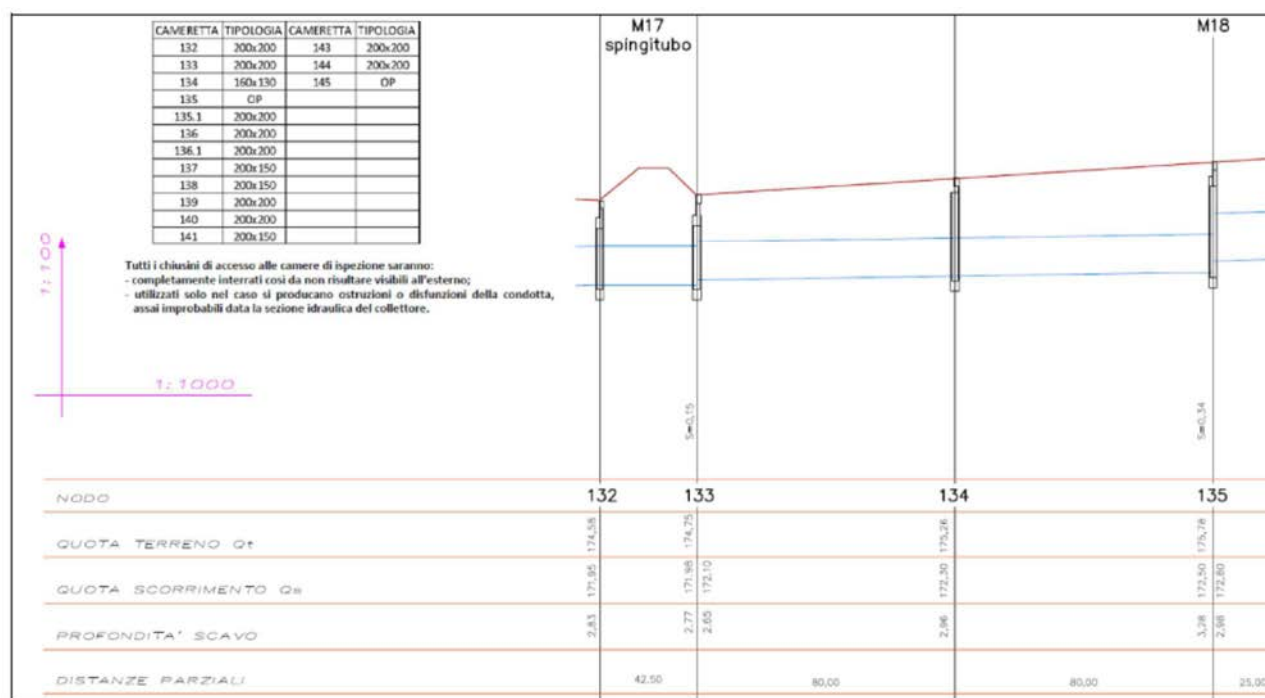
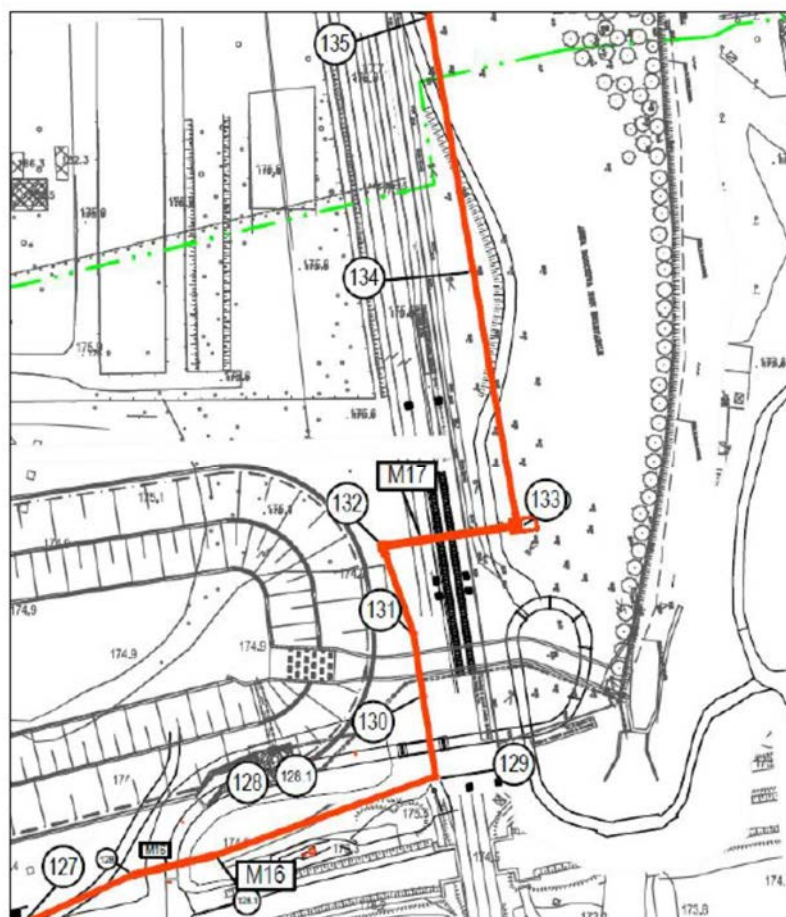
In tal modo non si avrà più l'interferenza con il manufatto di presa e la nuova tubazione verrà posata al di sopra del canale di alimentazione in progetto.

8.2 Collettore fognario CAP Holding

Il collettore consortile ha la funzione di convogliare i reflui in arrivo al depuratore di Varedo (attualmente in fase di dismissione) al depuratore di Pero. Il tracciato planimetrico ed il profilo altimetrico del collettore, ricostruiti sulla base degli elaborati disponibili, sono quelli indicati in Figura 21, Figura 22e Figura 23.



Figura 21. Tracciato del collettore CAP Holding (fonte: CAP Holding S.p.A.).



Come mostrato nelle tavole di progetto (Tavv. 2, 3.1, 4), il tracciato del collettore, posto in sponda destra del Seveso, interseca ortogonalmente i canali di alimentazione e svuotamento dell'invaso tra la cameretta 135 e la cameretta 133; la quota di scorrimento del collettore in tale tratto è compresa tra 172,10 e 172,50 m slm.

Dopo aver attraversato la linea ferroviaria, il collettore fognario prosegue lungo la strada alzaia in sponda sinistra al Canale Villoresi, senza interferire direttamente con la parte in scavo dell'invaso di laminazione in progetto, ma solo con il margine sud dell'area di intervento, dove sono previsti interventi di tipo paesaggistico.

Per risolvere l'interferenza tra la tubazione fognaria e l'opera di derivazione delle portate dal Seveso, i canali di alimentazione all'invaso saranno posti ad una profondità tale per cui l'estradosso del canale più alto risulterà posto ad una quota di 167,50 m slm, circa 4,8 m inferiore alla quota di scorrimento del collettore CAP.

Il tratto di canale di alimentazione che passerà al di sotto del collettore fognario verrà realizzato mediante la tecnica dello spingitubo, unitamente al tratto che deve sottopassare la linea ferroviaria, in modo tale da non interrompere la funzionalità del collettore.

Per il dettaglio relativo alla risoluzione dell'interferenza sopra descritta si rimanda alle sezioni del manufatto di collegamento Seveso-vasca (Tav. 7.3).

8.3 Linea ferroviaria Milano-Lentate

Come mostrato nelle planimetrie di progetto (Tavv. 2, 3.1, 4), anche il tracciato ferroviario interseca ortogonalmente i canali di alimentazione e svuotamento dell'invaso; la quota del ferro nel punto di intersezione è pari a circa 175,60 m slm.

Analogamente a quanto previsto nel progetto preliminare, per risolvere l'interferenza tra la ferrovia e l'opera di derivazione delle portate dal Seveso, i canali di alimentazione all'invaso saranno posti ad una profondità tale per cui la quota di estradosso del canale più alto risulterà pari a 167,50 m slm, circa 8 m inferiore al piano del ferro, in conformità con il D.M. 4 aprile 2014 (*Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto*) che prevede una distanza verticale minima di 2 m tra piano del ferro ed estradosso del manufatto. L'installazione dei canali al di sotto della ferrovia avverrà mediante spinta.

Ogni altra opera prevista in progetto sarà posta ad una distanza dai binari pari o superiore alla fascia di rispetto prevista, pari a 10 m.

9 Atti del progetto definitivo

Oltre alla presente relazione generale fanno parte del progetto definitivo gli elaborati elencati nel seguito.

Elaborati di testo

- 2 . Relazione geologica, geotecnica e sismica
- 3 . Relazione idrologica ed idraulica
- 4 . Relazione sulle strutture
- 5 . Relazione geotecnica - opere in terra
- 6 . Relazione geotecnica - stabilità dei manufatti in c.a.
- 7 . Relazione geotecnica - analisi dell'interferenza con il rilevato ferroviario
- 8 . Relazione sulle opere di inserimento paesaggistico ed ambientale
- 9 . Relazione tecnica impianti
- 10 . Relazione sulla gestione delle materie
- 11 . Relazione sull'interferenze
- 12 . Relazione storica, architettonica ed archeologica
- 13 . Relazione naturalistica-ambientale
- 14 . Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici
- 15 . Elenco prezzi unitari
- 16 . Analisi nuovi prezzi
- 17 . Computo metrico
- 18 . Stima delle Opere
- 19 . Quadro economico
- 20 . Aggiornamento delle prime indicazioni per il piano di sicurezza
- 21 . Piano particellare di occupazione temporanea, servitù ed esproprio

Elaborati grafici

- Tav. 1 Corografia
- Tav. 2 Planimetria generale
- Tav. 3.1.1 Asta Seveso: planimetria di dettaglio nord
- Tav. 3.1.2 Asta Seveso: planimetria di dettaglio sud
- Tav. 3.2 Asta Seveso: profilo longitudinale
- Tav. 3.3.1÷3.3.5 Asta Seveso: sezioni trasversali
- Tav. 3.4 Asta Seveso: particolari costruttivi

Tav. 4	Opera di interconnessione: planimetria
Tav. 5.1	Manufatto di regolazione: stralcio planimetrico e pianta a quota 171.10 m s.l.m.
Tav. 5.2	Manufatto di regolazione: sezioni
Tav. 5.3.1	Manufatto di regolazione: particolari - ponte
Tav. 5.3.2	Manufatto di regolazione: particolari - pozzetti di calma
Tav. 5.3.3	Manufatto di regolazione: particolari costruttivi
Tav. 6.1	Manufatto di imbocco e sollevamento: piante
Tav. 6.2	Manufatto di imbocco e sollevamento: sezioni longitudinali
Tav. 6.3.1÷6.3.2	Manufatto di imbocco e sollevamento: sezioni
Tav. 6.4.1÷6.4.3	Manufatto di imbocco e sollevamento: fasi costruttive
Tav. 7.1	Manufatto di collegamento Seveso - area di laminazione: stralcio planimetrico e sbocco
Tav. 7.2	Manufatto di collegamento Seveso - vasca: area di laminazione a quota 161.50 e 167.00 m s.l.m.
Tav. 7.3	Manufatto di collegamento Seveso - area di laminazione: sezioni
Tav. 7.4	Manufatto di collegamento Seveso - area di laminazione: opere provvisionali
Tav. 8.1	Edificio servizi - piante
Tav. 8.2	Edificio servizi - sezioni, prospetti e particolari
Tav. 8.3	Edificio servizi -impianto elettrico
Tav. 9.1	Area di laminazione: planimetria di dettaglio
Tav. 9.2.1÷9.2.2	Area di laminazione: sezioni
Tav. 9.2.3	Area di laminazione: sezioni tipo
Tav. 9.3	Area di laminazione: Argine intermedio e manufatti di interconnessione vasche
Tav. 9.4.1	Area di laminazione: opere di inserimento paesaggistico - planimetria opere a verde
Tav. 9.4.2÷9.4.3	Area di laminazione: opere di inserimento paesaggistico - dettaglio sesti d'impianto
Tav. 10	Collegamenti elettrici, automazione, controllo e misura
Tav. 11	Planimetria ubicazione indagini geognostiche
Tav. 12	Sezioni geologiche
Tav. 13	Sezioni geotecniche

Milano, giugno 2017

Responsabile Progettazione Generale

Dott. Ing. Fulvio Bernabei