Studio delle zone a rischio idraulico assoggettate alla normativa del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

Relazione Tecnica Idraulica

Per conto: COMUNE DI SESTO SAN GIOVANNI

Settore Pianificazione Territoriale

Redatto da:	Dott. Ing. Ramon Galindo Pacheco	
Verificato da:	Dott. Ing. Ramon Galindo Pacheco	
Approvato da:	Dott. Ing. Ramon Galindo Pacheco	

Via Friuli 8/A 20135 Milano (MI) Tel. +39 02 36554875 / +39 02 303 125547 – Fax 02 700532123 ramon.pacheco@studiopacheco.it
www.studiopacheco.it

LISTA DI DISTRIBUZIONE

Nominativo	Riferimento
Comune di Sesto San Giovanni	Assessorato al Territorio – Settore Pianificazione Territoriale

STORIA DELLE MODIFICHE

Data	Versione	Descrizione cambiamenti	Riferimento
07/07/2009	V01		
20/10/2009	V02	Correzione di errori tipografici	

RIFERIMENTI

[1] Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona. Attività: Valutazione delle condizioni attuali di sicurezza del sistema difensivo e definizione dell'assetto di progetto del sistema fluviale. Elaborato 5.3.1 – 5.4.1./2/1R/LA: Relazione descrittiva. C. Lotti e Associati per conto dell'Autorità di Bacino del fiume Po, dicembre 2003.

[2] Studio di fattibilità dell'assetto idraulico del fiume Lambro nell'ambito della riconversione della ex cava Melzi sita all'interno delle aree ex Falck nel comune di Sesto San Giovanni. Etatec s.r.l. per conto dell' Immobiliare Cascina Rubina s.r.l.

[3] Rapporto idraulico di supporto alla predisposizione dello studio di dettaglio per la riperimetrazione delle zone a rischio idraulico di elaborazione delle carte di rischio assoggettate alla normativa del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.). Studio Pacheco per conto del Comune di Monza.

[4] Relazione Tecnica Idraulica dello studio di approfondimento finalizzato alla definizione di soluzioni di mitigazione del rischio idraulico. Studio Pacheco per conto del Comune di Monza.

[5] Prima fase nella definizione di un piano di intervento sulla base dell'identificazione di opere di mitigazione temporanee per l'abbattimento delle piene nel tessuto urbano della città di Monza. Studio Pacheco per conto del Comune di Monza.

[6] http://www.studiopacheco.it/index.php/it/mod-mate/107-basilisk-2d

NORMATIVA

[1] Legge 18 maggio 1989, n. 183 – Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.

[2] Autorità di Bacino del Fiume Po: Piano stralcio per la realizzazione degli interventi necessari al ripristino dell'assetto idraulico, alla eliminazione delle situazioni di dissesto idrogeologico e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché per il ripristino delle aree di esondazione, maggio 1995.

[3] Autorità di Bacino del Fiume Po: Piano Stralcio delle fasce fluviali.

[4] Autorità di Bacino del Fiume Po: Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI).

[5] L.R. 41/97: Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti.

[6] NTA del PAI dell'Autorità di Bacino del fiume Po (DPCM 24/05/2001).

[7] DGR 7/7365 dell' 11/12/2001: Attuazione del Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (P.A.I.) in campo urbanistico.

[8] Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12" Bollettino Ufficiale Regione Lombardia2° Supplemento Straordinario al n. 24, 12 giugno 2008.

RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

[1] Aereofotogrammetrico 2001. Comune di Sesto San Giovanni.

[2] Aereofotogrammetrico 2009. Comune di Sesto San Giovanni.

[3] Fasce PAI, sezioni e opere d'arte rilevate nel contesto dello studio PAI. Autorità di Bacino del fiume Po.

[4] Carta tecnica regionale, CTR 1:10000. Regione Lombardia.

[5] Rilievo topografico di giugno 2009 nel contesto dello studio delle zone a rischio idraulico del comune di Sesto Sani Giovanni.

INDICE

1. Premesse dello studio: finalità, consistenza e struttura 6
1.1 Finalità dello studio 6
1.2 Consistenza dello studio 6
1.3 Struttura del documento 7
2. Definizione delle portate di piena e loro tempi di ritorno 8
3. Simulazione bidimensionale 12
3.1 Geometria della valle. 13
3.2 Caratteristiche idrauliche 15
3.3 Condizioni iniziali e al contorno 15
3.4 Condizioni interne associate alle singolarità 16
3.5 Approssimazione del calcolo 17
4. Risultati delle simulazioni idrauliche 18
4.1 Simulazione evento novembre 2002 (con tempo di ritorno di circa 80 anni) 19
4.2 Simulazione con TR 200 anni nella condizione di stato di fatto 21
4.3 Simulazione con TR 200 anni con due condizioni di progetto. 24
5. Studio di fattibilità nell'ambito della riconversione della ex cava Melzi sita all'interno delle aree ex Falck nel Comune di Sesto San Giovanni. 27
5.1 Descrizione dell'intervento 27
5.2 Benefici attesi 27
5.3 Considerazioni 28

TAVOLE

Tavola 1: identificazione planimetrica delle sezioni rilevate come supporto allo studio di dettaglio di carattere modellistico numerico.

Tavola 2: identificazione planimetrica delle sezioni del PAI.

Tavola 3: rappresentazione cromatica dei tiranti idrici sovrapposti ai vettori velocità riportati in forma adimensionale per l'evento del novembre 2002. Portata ricostruita Q = 240 $m^{3/}$s.

Tavola 4: rappresentazione cromatica dei moduli delle velocità sovrapposti ai vettori velocità riportati in forma adimensionale per l'evento del novembre 2002. Portata ricostruita Q = 240 $m^{3/}$s.

Tavola 5: rappresentazione cromatica dei livelli idrici per l'evento del novembre 2002 e sovrapposizione planimetrica delle sezioni rilevate. Portata ricostruita Q = 240 $m^{3/}$s.

Tavola 6: rappresentazione cromatica dei tiranti idrici sovrapposti ai vettori velocità riportati in forma adimensionale per l'evento bicentenario. Q = 295 m^3/s

Tavola 7: rappresentazione cromatica dei moduli delle velocità sovrapposti ai vettori velocità riportati in forma adimensionale per l'evento bicentenario. Q = 295 m^3/s

Tavola 8: rappresentazione cromatica dei livelli idrici per l'evento bicentenario e sovrapposizione planimetrica delle sezioni rilevate. Q = 295 m^3/s

Tavola 9: rappresentazione cromatica dei tiranti idrici sovrapposti ai vettori velocità riportati in forma adimensionale per l'evento bicentenario. Prima condizione di stato di progetto. Q = 295 m^3/s

Tavola 10: rappresentazione cromatica dei moduli delle velocità sovrapposti ai vettori velocità riportati in forma adimensionale per l'evento bicentenario. Prima condizione di stato di progetto. Q = 295 m^3/s

Tavola 11: rappresentazione cromatica dei livelli idrici per l'evento bicentenario e sovrapposizione planimetrica delle sezioni rilevate. Prima condizione di stato di progetto. Q = 295 m^3/s

Tavola 12: rappresentazione cromatica dei tiranti idrici sovrapposti ai vettori velocità riportati in forma adimensionale per l'evento bicentenario. Seconda condizione di stato di progetto. Q = 295 m^3/s

Tavola 13: rappresentazione cromatica dei moduli delle velocità sovrapposti ai vettori velocità riportati in forma adimensionale per l'evento bicentenario. Seconda condizione di stato di progetto. Q = 295 m^3/s

Tavola 14: rappresentazione cromatica dei livelli idrici per l'evento bicentenario e sovrapposizione planimetrica delle sezioni rilevate. Seconda condizione di stato di progetto. Q = 295 m^3/s

Tavola 15: determinazione delle classi di rischio associate alla piena con TR 200 anni.

Tavola 16: definizione delle zone di rischio associate alla piena con TR 200 anni.

FIGURE

Figura 1 – idrogrammi di piena per tempo di ritorno 10 anni [1]. Gli idrogrammi relativi alle sezioni LA 85.1 e LA 87 fanno riferimento all'alveo inciso negli intorni della ex cava Melzi 9

Figura 2 – idrogrammi di piena per tempo di ritorno 200 anni [1]. Gli idrogrammi relativi alle sezioni LA 85.1 e LA 87 fanno riferimento all'alveo inciso negli intorni della ex cava Melzi 9

Figura 3 – idrogrammi di piena per tempo di ritorno 500 anni [1]. Gli idrogrammi relativi alle sezioni LA 85.1 e LA 87 fanno riferimento all'alveo inciso negli intorni della ex cava Melzi 10

Figura 4 – rapporto tra la portata al colmo e il tempo di ritorno per diverse sezioni del fiume Lambro tra la sezione LA 91 e la sezione LA 82. 11

Figura 5 – rappresentazione assonomometrica del tratto di Lambro di Sesto San Giovanni utilizzata per la modellazione bidimensionale, visto da monte 14

Figura 6 - rappresentazione assonomometrica del tratto di Lambro a Sesto San Giovanni utilizzata per la modellazione bidimensionale, visto da valle 14

Figura 7 – scala delle portate nella sezione LA 82 [1] e adottata come condizione al contorno nella modellistica bidimensionale. 16

Figura 8 – proposta generale con incremento del volume di invaso e taglio dei meandri 30

Figura 9 – eliminazione del meandro tra via Barcellona e via Guernica 30

Figura 10 –intervento puntuale di correzione planimetrica del Thalweg nel meandro tra via Barcellona e via Guernica 30

QUADERNO

Quaderno 1: tavole in formato A3 per la portata bicentenaria; tiranti, velocità e livelli idrici cromatici, campo dei vettori delle velocità adimensionali, *mesh* di calcolo e tavole di rischio. Inoltre un tabulato di tutti i valori calcolati dal modello di calcolo.

TABELLE

Tabella 1 - celle interessate dai ponti lungo l'asta del fiume Lambro considerata nello studio 17

Tabella 2 – caratteristiche idrauliche nelle sezioni del fiume Lambro per la simulazione dell'evento del 2002. 20

Tabella 3 – caratteristiche idrauliche nelle sezioni del fiume Lambro per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni. 23

Tabella 4 – caratteristiche idrauliche nelle sezioni del fiume Lambro per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni, scenario di progetto. 25

Tabella 5 – caratteristiche idrauliche nelle sezioni del fiume Lambro per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni, secondo scenario di progetto. 26

1. Premesse dello studio: finalità, consistenza e struttura

1.1 Finalità dello studio

Il Comune di Sesto San Giovanni, per conto del settore Urbanistica, ha conferito all' ing. Ramon Galindo Pacheco l'incarico professionale per la redazione delle zone a rischio idraulico assoggettate alla normativa del piano di assetto idrogeologico (PAI).

La finalità dello studio è di definire, tramite un'analisi idraulica di dettaglio, la classificazione del territorio in classi di rischio per le quali sono definite specifiche norme di uso del suolo. L'indagine basata sull'analisi delle aree esondabili desunte dalla modellistica bidimensionale idraulica di un evento idrologico di carattere bicentenario, ha permesso di suddividere e mappare l'area in quattro zone di rischio. In conformità a tale analisi sono state costruite le tavole di zonazione di rischio per aree omogenee di territorio. I criteri adottati seguono le indicazioni della DGR 8/7374 del 28/05/2008.

1.2 Consistenza dello studio

Nel contesto dello studio sono state sviluppate le seguenti attività:

- rilievo topografico di 20 sezioni trasversali e/o arginali lungo il fiume Lambro nella tratta d'interesse nei comuni di Sesto San Giovanni e Cologno Monzese. Le sezioni e le opere d'arte sono state integrate con quelle rilevate nel contesto dello studio di fattibilità della sistemazione idraulica del sistema Lambro – Olona, Autorità di Bacino del fiume Po[1];
- definizione delle portate di piena e loro probabilità di occorrenza desunta dallo studio idrologico condotto in [1];
- costruzione del modello digitale del terreno a partire dall'aerofotogrammetrico del 2009 fornito dal Comune di Sesto San Giovanni e integrato con:
    - aerofotogrammetrico di Cologno Monzese;
    - aerofotogrammetrico di Brugherio;
    - sezioni trasversali rilevate e adottate nello studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Lambro - Olona [1];
    - sezioni trasversali rilevate nel giugno 2009;
    - carta tecnica regionale 1:10000.
- ricostruzione *in loco* dell'evento del novembre 2002 tramite la simulazione numerica di carattere bidimensionale nel tronco di corrente interessato che si estende tra il Ponte dell'Autostrada A4 fino al sistema di interconnessione idraulico Lambro-Martesana per una lunghezza complessiva di circa 7.5 km;
- modellistica idraulica bidimensionale del tratto di interesse con la portata di piena bicentenaria nella condizione di assetto attuale del territorio. La portata di riferimento è pari a 295 m^3/s nella sezione di ingresso dell'area di studio.
- modellistica idraulica bidimensionale del tratto di interesse con la portata di piena bicentenaria; l'analisi considera l'innalzamento dell'argine sulla sponda sinistra in modo tale

da contenere l'esondazione verso il comune di Cologno Monzese. Inoltre, è stata considerata la messa in sicurezza del ponte di San Maurizio al Lambro.

- modellistica idraulica bidimensionale con la portata di piena bicentenaria; l'analisi prevede la messa in sicurezza del ponte di San Maurizio al Lambro, l'innalzamento dell'argine sulla sponda sinistra e il rialzo dell'argine destro nel tratto compreso tra l'autostrada A4 e il ponte di San Maurizio al Lambro. Infine, nel modello è stata prevista anche l'intercettazione della roggia Molinara, evitando la sua immissione nel Lambro nel punto attuale.
- a seguito dell'analisi delle aree esondabili, in funzione dei tiranti e delle velocità desunte dalla modellistica bidimensionale, sono state elaborate le mappe di rischio idraulico facendo riferimento a 4 classi di rischio: moderato, medio, elevato e molto elevato (vedi il documento "Definizione delle aree a rischio e indirizzi normativi").
- individuazione delle zone da assoggettare a normativa specifica ed elaborazione del documento normativo (vedi il documento "Definizione delle aree a rischio e indirizzi normativi").

1.3 Struttura del documento

Il presente documento è articolato in cinque capitoli.

Nel capitolo 2 viene presentata l'analisi di carattere idrologico riguardante le portate di piena e la loro probabilità di occorrenza desunte da [1].

Nel capitolo 3 vengono presentati tutti i criteri adottati nella modellistica bidimensionale 2D.

Nel capitolo 4 vengono illustrati i risultati relativi alla modellistica 2D per la ricostruzione dell'evento del novembre 2002, per le simulazioni con tempo di ritorno 200 anni e per i due scenari di progetto considerati.

Nel capitolo 5 è descritto e commentato lo studio di fattibilità dell'assetto idraulico del fiume Lambro nell'ambito della riconversione della ex cava Melzi.

Infine, in allegato vengono fornite le indicazioni generali sul rilievo topografico e indicati i capisaldi di riferimento adottati nel presente studio.

Nelle tavole allegate sono rappresentati in forma cromatica: le aree allagate, i tiranti idrici, le velocità, i livelli idrici e l'andamento delle linee di flusso in forma vettoriale adimensionale risultante dalla modellistica bidimensionale per i 4 eventi simulati. Infine, vengono presentate la mappa del rischio idraulico, determinato sulla base della modellistica bidimensionale, e la tavola della perimetrazione delle classi di rischio idraulico considerando le indicazioni del B.U.R.L. 12 giugno 2008, Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio", vedi Normativa [8].

2. Definizione delle portate di piena e loro tempi di ritorno

La determinazione delle portate di piena è sicuramente un problema piuttosto complesso dal punto di vista idraulico e idrologico, data sia l'antropizzazione del bacino imbrifero del fiume Lambro che la mancanza di una buona informazione idrometrica che supporti la corretta taratura dei modelli di calcolo di natura idrologica. Inoltre, l'area analizzata è caratterizzata dalla presenza di interconnessioni con il sistema di drenaggio urbano e di numerose singolarità e opere d'arte, le quali condizionano la capacità di portanza dell'alveo in presenza di piene con tempi di ritorno anche non particolarmente elevati.

Per quanto riguarda le aree a monte del comune di Sesto San Giovanni, è evidente come l'orografia del territorio e l'alto livello di antropizzazione provochino vaste aree di allagamento. Tali aree attenuano in parte gli eventi di piena transitanti nel tratto di Lambro che interessa i comuni di Sesto San Giovanni e di Cologno Monzese.

Inoltre, i processi di esondazione urbana indotti in parte dalle opere d'arte presenti all'inizio del tratto di alveo analizzato permettono che le portate di piena transitanti lungo il Lambro siano in generale idraulicamente compatibili nel tratto che interessa il Comune di Sesto San Giovanni. Queste aree di esondazione urbana contribuiscono alla laminazione dei picchi e fanno sì che la coda della piena che sollecita l'area in studio venga ad essere sostenuta dai volumi potenzialmente rientranti in alveo all'interno dei limiti comunali del comune di Sesto San Giovanni.

Occorre sottolineare che la concomitanza di eventi di piena sull'asta del Lambro con le portate defluenti dai bacini scolanti può provocare delle esondazioni localizzate non sempre trascurabili. Tutte queste problematiche rendono complesso il trattamento idrologico ed idraulico dell'area di interesse e in particolare l'identificazione delle portate di riferimento per una trattazione di carattere modellistico idraulico.

Com'è noto, il comportamento idraulico dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona è stato già affrontato ampiamente in precedenza; gli studi condotti hanno fornito delle indicazioni da ritenersi compatibili con lo scopo del presente progetto. Per tale ragione si è fatto riferimento allo studio idrologico disponibile e coordinato dall'Autorità di Bacino del fiume Po, "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona", [1], il quale si basa sulla costruzione di un modello afflussi – deflussi abbinato ad un modello di rete di canali di propagazione delle piene che fornisce in diverse sezioni gli idrogrammi delle portate e dei livelli per tempi di ritorno TR 10, 200 e 500 anni. Tali risultati sono stati adottati dall'Autorità di Bacino del fiume Po per la definizione delle Fasce A, B, C secondo le direttive normative.

Nelle Figure 1, 2 e 3 vengono presentati gli idrogrammi delle portate di piena in diverse sezioni e per tempi di ritorno 10, 200 e 500 anni desunti da [1].

Per l'identificazione del codice delle sezioni trasversali e il loro posizionamento planimetrico si rimanda alla Tavola 2 ("Identificazione planimetrica delle sezioni rilevate dal PAI").

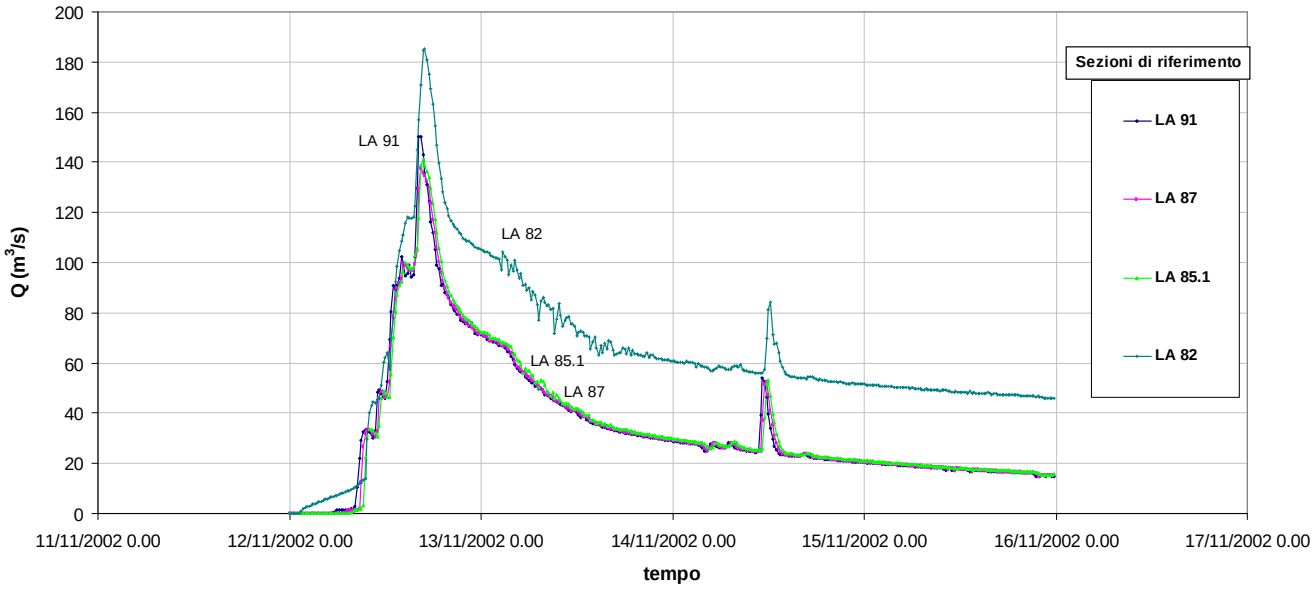

Figura 1 – idrogrammi di piena per tempo di ritorno 10 anni [1]. Gli idrogrammi relativi alle sezioni LA 85.1 e LA 87 fanno riferimento all'alveo inciso negli intorni della ex cava Melzi

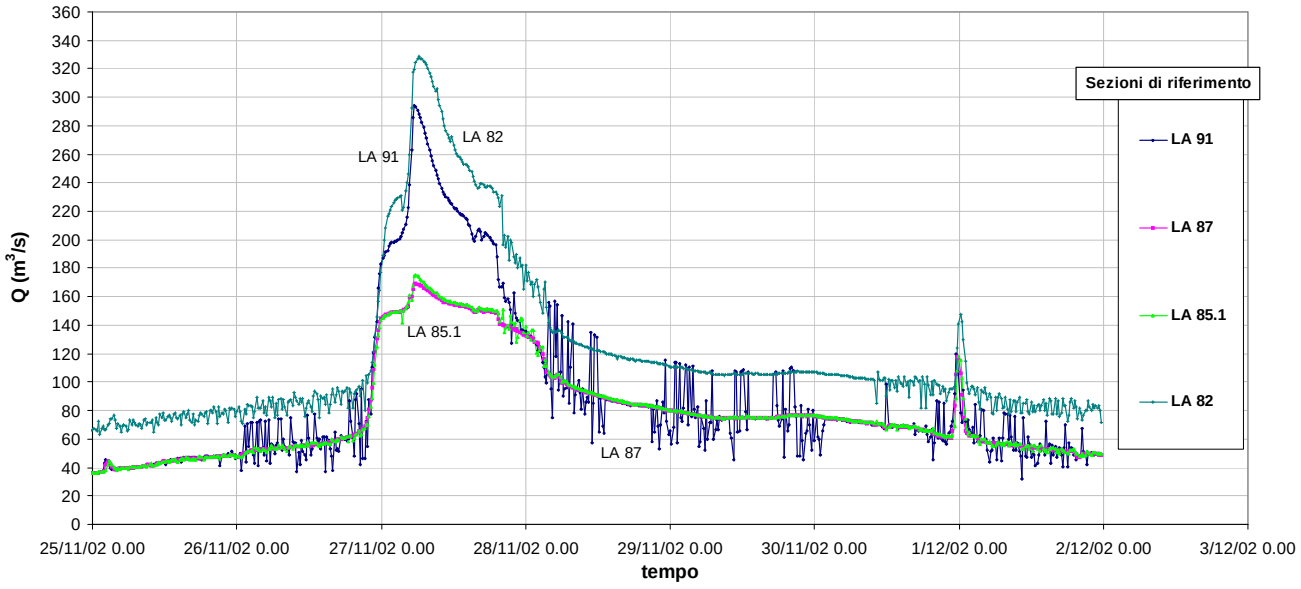

Figura 2 – idrogrammi di piena per tempo di ritorno 200 anni [1]. Gli idrogrammi relativi alle sezioni LA 85.1 e LA 87 fanno riferimento all'alveo inciso negli intorni della ex cava Melzi

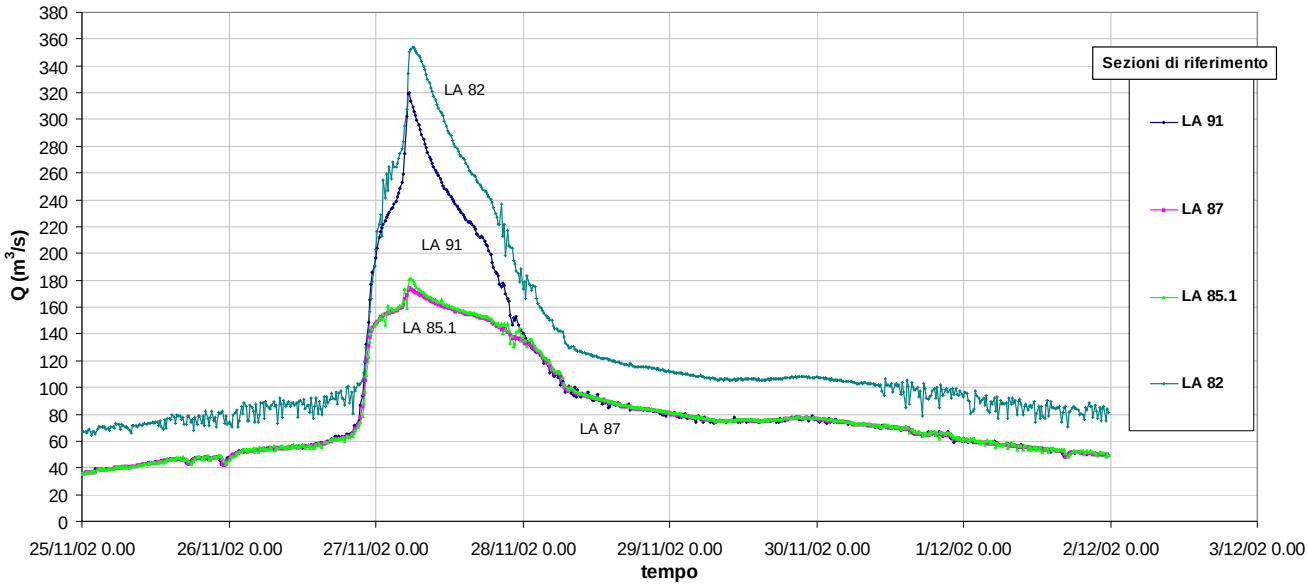

Figura 3 – idrogrammi di piena per tempo di ritorno 500 anni [1]. Gli idrogrammi relativi alle sezioni LA 85.1 e LA 87 fanno riferimento all'alveo inciso negli intorni della ex cava Melzi

Alcuni accorgimenti sugli idrogrammi di piena lungo l'asta del Lambro

Le Figure precedenti mostrano che tra la sezione LA 91, corrispondente al Ponte sull'Autostrada A4 e la sezione LA 82, a valle del ponte canale Lambro - Martesana, la portata al colmo si è incrementata del 20% per l'idrogramma con tempo di ritorno 10 anni. Per gli idrogrammi con 200 e 500 anni di tempo di ritorno, l'incremento corrisponde al 10%. Tali incrementi di portata lungo l'asta sono imputabili a due immissioni puntuali, una localizzata sulla sponda destra che corrisponde allo scaricatore di piena della rete fognaria di Cologno Monzese, posto intorno alla sezione LA 85.5, mentre l'altra corrisponde allo scaricatore di piena della rete fognaria di Sesto San Giovanni a monte del ponte di via di Vittorio sulla sponda destra.

Per quanto riguarda invece le portate transitanti lungo l'alveo inciso, le medesime Figure 1, 2 e 3 mostrano come non avvenga nessuna laminazione rilevante per tutti i tempi di ritorno esaminati. Occorre sottolineare che per l'idrogramma con 10 anni di tempo di ritorno la percentuale della portata di piena che transita in alveo a valle del ponte di San Maurizio al Lambro corrisponde al 90% della portata di picco che arriva al ponte della Autostrada A4, mentre per gli idrogrammi duecentennale e cinquecentennali la portata transitante lungo l'alveo è pari all'incirca al 58%.

Da quanto sopra si può affermare che l'ipotesi di condurre lo studio in condizioni stazionarie e con portata variabile lungo l'alveo inciso è il criterio maggiormente compatibile con la dinamica del fenomeno nel tratto di Lambro che interessa il comune di Sesto San Giovanni. Infatti, per lo studio idrodinamico, è stato assunto, in ingresso alla sezione dell'autostrada A4, il valore della portata al picco dell'idrogramma bicentenario. Tale valore corrisponde a 295 m^3/s. Inoltre sono state considerate le immissioni localizzate degli scaricatori di piena dei comuni di Sesto San Giovanni e Cologno Monzese con punto di erogazione nell'alveo inciso e con portate pari a 20 m^3/s e 5 m^3/s rispettivamente.

A partire dai valori di portata al picco indicati dall'Autorità di Bacino nel tronco di Lambro tra la sezione LA 91 (ponte Autostrada A4) e la sezione LA 82 (a valle della Martesana), in Figura 4 si è

condotta un' interpolazione che aggiusta i pochi dati e dà una linea di tendenza dei dati disponibili. Tale interpolazione permette, in forma esplicita, di abbinare ad ogni valore di portata il suo tempo di ritorno e quindi la probabilità di occorrenza.

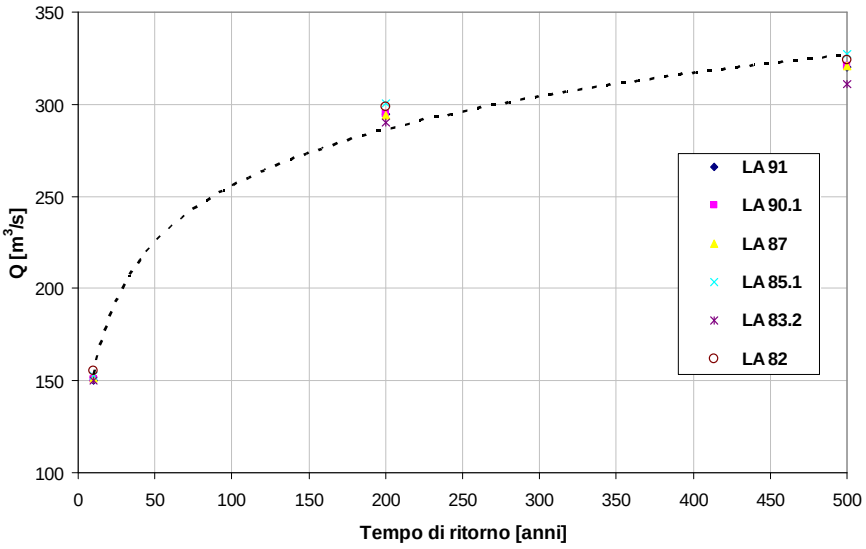

Figura 4 – rapporto tra la portata al colmo e il tempo di ritorno per diverse sezioni del fiume Lambro tra la sezione LA 91 e la sezione LA 82.

Come sopra menzionato, le simulazioni numeriche sono state condotte per l'evento idrometeorico del novembre 2002 e per tre scenari con tempo di ritorno 200 anni. Nel primo caso, ove la portata al picco e di conseguenza il tempo di ritorno non sono noti a priori, si è proceduto ad un processo di taratura che ha permesso di ricostruire sia la dinamica dell'allagamento che l'ordine di grandezza dell'evento in termine di tiranti e di velocità lungo il tratto del fiume Lambro e delle aree di espansione che interessano i comuni di Cologno Monzese e Sesto San Giovanni.

Sulla base di una serie di sopralluoghi e con il supporto dei tecnici del Comune di Sesto San Giovanni e delle informazioni idrologiche e idrauliche pregresse si è tentato, per quanto possibile, di ricostruire con il massimo dettaglio i livelli idrici, le altezze e le velocità che risultano dalla memoria storica dell'evento del novembre 2002. Tale studio, condotto a portata costante, ha permesso di identificare, per l'evento del novembre 2002, il valore della portata al colmo, Q = 240 m^3/s, ed il tempo di ritorno, desunto dalla curva riportata dalla Figura 4, che in forma molto approssimata è indicativamente di 80 anni.

La portata con tempo di ritorno 200 anni, pari a 295 m^3/s e con immissione concentrate dell'ordine di 25 m^3/s, è stata adottata come sopra menzionato allo scopo di supportare l'elaborazione delle carte di fattibilità.

3. Simulazione bidimensionale

Nella prima parte dello studio, per una corretta valutazione delle problematiche e criticità idrauliche del Bacino del fiume Lambro nel Comune di Sesto San Giovanni, si è eseguita una verifica idraulica di carattere bidimensionale adottando il codice Basilisk 2D [6], allo scopo di riprodurre l'evento del novembre 2002.

Tale simulazione si prefigge di ricostruire, in termini di aree di allagamento, tiranti, velocità e perimetrazione, le caratteristiche dell'evento, ricorrendo alle informazioni di campo esistenti, le quali hanno fornito delle indicazioni sull'estensione dell'area di inondazione e sulla dinamica del fenomeno.

E' evidente che la conformazione dell'area in esame e le vaste aree urbane interessate dall'allagamento inducono nella corrente un campo di moto caratterizzato da componenti della velocità locale trasversali all'asse della fascia fluviale. In una simile situazione, l'impiego di una rappresentazione di tipo monodimensionale 1-D o quasi – bidimensionale ai fini del calcolo delle aree allagate dalle piene di riferimento può non essere sufficiente.

Nel primo caso, è evidente che il fenomeno non può essere rappresentato tramite una modellistica monodimensionale, data l'interazione tra l'alveo inciso e il piano golenale e la dinamica di allagamento attraverso il centro abitato, la quale avviene attraverso la rete stradale, interagendo con le opere viarie d'arte presenti in alveo e con la struttura urbanistica che caratterizza il centro abitato. Per quanto riguarda la modellistica quasi – bidimensionale, che sicuramente rappresenta un approccio concettuale e teorico superiore al precedente, essa ha come limite il fatto che occorre definire o indicare a priori le linee preferenziali di flusso, in particolare sul piano golenale, che in questo caso è il centro abitato.

Le linee di flusso sul piano golenale e sulla rete viaria del centro abitato non sono affatto conosciute a priori, tranne che per l'evento di taratura del novembre 2002 e pertanto tecnicamente non è lecito assumere la stessa struttura della rete di flusso nel caso che le simulazioni vengano effettuate con portate superiori o inferiori alla portata relativa all'evento di calibrazione.

In conformità a quanto sopra detto è da ritenersi che la dinamica del fenomeno sia correttamente interpretabile solamente superando lo schema monodimensionale e quasi-bidimensionale e adottando un approccio bidimensionale completo, in grado di cogliere la reale natura del fenomeno fisico. Infatti il modello 2D a equazioni complete, assunto nel presente studio, è in grado di trattare le singolarità e le opere d'arte presenti sul piano inciso e sull'alveo golenale e di simulare la dinamica del fenomeno, dal momento che esso permette la simulazione su fondo asciutto senza richiedere a priori le linee preferenziali di flusso. Questa caratteristica del codice di calcolo lo rende perfettamente compatibile con gli scopi dello studio.

Come è evidente per l'evento del 2002, non esiste una conoscenza diretta e precisa dell'idrogramma o delle portate transitanti, quindi lo studio ha previsto la simulazione 2D in condizioni stazionarie, adottando diversi valori di portata fino ad ottenere il valore di portata al colmo che riproduce nella forma più accertata la dinamica del fenomeno, il perimetro dell'area di allagamento, i tiranti idrici e le velocità della corrente che si desumono dai sopralluoghi effettuati e dalla memoria storica dell'evento.

Identificata la portata che riproduce nella forma più accertata l'evento del novembre 2002, si sono adottati i medesimi parametri idraulici che hanno permesso la ricostruzione dell'evento (perdite di carico nelle singolarità, scabrezze sull'alveo inciso e sul piano golenale, portate di immissione degli

scaricatori di piena, ecc.) e si sono effettuate le simulazioni in moto stazionario con tempo di ritorno 200 anni atte alla riperimetrazione delle fasce fluviali di esondazione.

3.1 Geometria della valle.

Le caratteristiche topografiche dell'area interessata sono state assunte sulla base dell'aerofotogrammetrico di dettaglio del 2009 del Comune di Sesto San Giovanni, dell'aerofotogrammetrico di Cologno Monzese e dell' aerofotogrammetrico di Brugherio.

All'interno del modello digitale del terreno sono state inserite le sezioni trasversali, con i manufatti e le singolarità presenti in alveo rilevati nel presente studio e nel contesto dello studio di fattibilità della sistemazione idraulica del sistema Lambro – Olona, Autorità di Bacino del fiume Po [1].

A causa della particolare morfologia del territorio oggetto di studio, si è scelto di adottare una griglia bidimensionale dal passo ridotto, per poter integrare le quote di tutti gli edifici nella geometria del terreno. Sono stati inoltre aggiunti al modello i "muri pieni", intesi come muri di recinzione, presenti nel territorio, ai fini del calcolo del deflusso nell'area urbana.

La schematizzazione della superficie del terreno interessata dal deflusso delle piene è stata definita mediante un modello digitale del terreno di tipo TIN (Triangulate Irregular Network) in grado di rispettarne tutte le particolarità, come le linee di struttura (canali, rogge, ecc.), le linee di rottura (strade, rilevati, argini, ecc.) e altri tipi di ostacoli come cave o avvallamenti. Nei punti in cui il modello digitale del terreno non era in grado di riprodurre la reale conformazione del terreno, si è ricorso all'inserimento manuale delle quote sulla base di un rilievo di massima effettuato nel corso di successivi sopralluoghi dell'area in esame.

Come sopra menzionato, l'alveo inciso del fiume Lambro, risultante sia dal rilievo di dettaglio che dalle sezioni topografiche disponibili, è stato automaticamente inserito all'interno del modello digitale del terreno.

La modellazione bidimensionale adotta elementi di calcolo (celle) di forma quadrata, pertanto il TIN è stato convertito in un modello di tipo raster, con passo di 4 metri. La procedura di conversione del modello del terreno da triangolazione a raster è stata effettuata con una tecnica che permette di preservare la continuità degli elementi rilevanti del terreno, come l'alveo inciso, gli argini, i muri perimetrali, le strade urbane, al fine di calcolare correttamente la dinamica del fenomeno.

Ciò è stato possibile anche grazie alla disponibilità nel SIT comunale di un grafo stradale, che è stato integrato nella procedura di rasterizzazione e ha consentito di preservare la continuità delle strade nel centro abitato, dove la rasterizzazione avrebbe facilmente portato gli edifici troppo vicini a "chiudere" il passaggio facendo scomparire le strade più strette.

La rappresentazione adottata, per quanto riguarda la geometria dell'alveo, la piana di allagamento e il centro abitato, è da ritenersi adeguata agli scopi del presente studio. E' bene sottolineare che ad essa possono sfuggire dettagli di un certo rilievo per il deflusso locale, ma ciò è in linea generale compatibile con l'approssimazione fisico-matematica adottata per affrontare il fenomeno.

In Figura 5 e Figura 6 viene presentata una schematizzazione del centro abitato utilizzata per la modellazione bidimensionale con riferimento ai comuni di Sesto San Giovanni e Cologno Monzese.

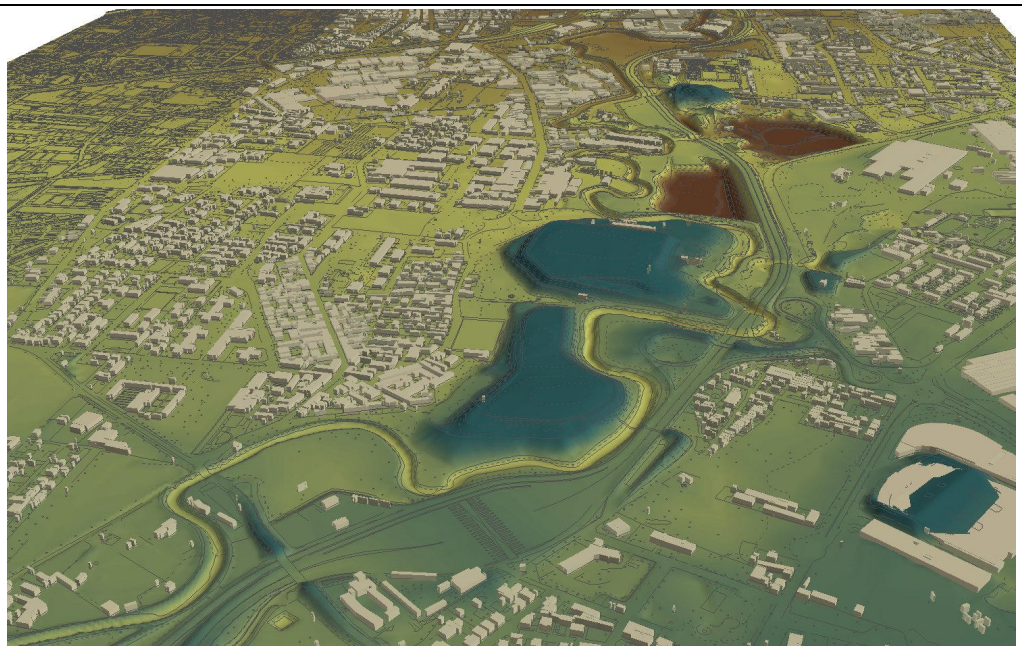

Figura 5 – rappresentazione assonomometrica del tratto di Lambro di Sesto San Giovanni utilizzata per la modellazione bidimensionale, visto da monte

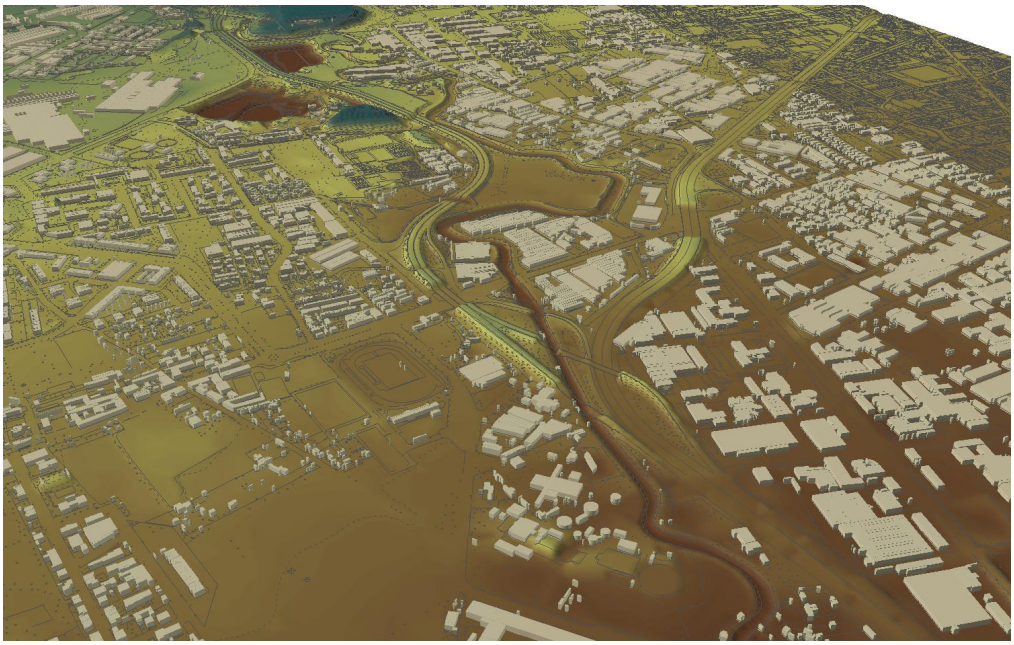

Figura 6 - rappresentazione assonomometrica del tratto di Lambro a Sesto San Giovanni utilizzata per la modellazione bidimensionale, visto da valle

Ottenuto in base a quanto sopra esposto il modello digitale del terreno, si è proceduto alla generazione di un reticolo di calcolo georeferenziato per tutte le simulazioni idrauliche di carattere bidimensionale condotte nella presente analisi. Si è adottato un reticolo di calcolo composto da celle rettangolari omogenee di dimensioni 4 m per 4 m, utilizzando così circa 660.000 celle per la rappresentazione di tutto il dominio di calcolo; la sua schematizzazione è presentata, sovrapposta alla base cartografica, in tutte le tavole dei quaderni riassuntivi dei risultati per la modellazione con tempo di ritorno 200 anni adottata nella definizione delle mappe di pericolosità.

3.2 Caratteristiche idrauliche

Come è noto, la risposta idraulica di un'area interessata da una qualunque sollecitazione di deflusso è influenzata dagli eventuali ostacoli presenti, dalla copertura dei terreni e in questo caso in particolare anche delle costruzioni presenti nel centro abitato. La determinazione delle specifiche caratteristiche della resistenza del suolo in termini di scabrezza idraulica è fondamentale per la ricostruzione e riproduzione dei fenomeni di allagamento del tratto del fiume Lambro che interessa il territorio del Comune di Sesto San Giovanni.

Nel caso in esame, la taratura dei parametri idraulici intesi in termini dei valori della scabrezza da adottare sia sull'alveo inciso che sul piano golenale è stata eseguita tramite la ricostruzione dell'evento del novembre 2002.

In un primo tentativo i valori adottati sono stati desunti sulla base di accurate classificazioni disponibili in letteratura, dai dati forniti dai rilievi fotografici effettuati e dalla conoscenza del comportamento della piena dell'evento di riferimento.

La taratura ha previsto, inoltre, la ricostruzione del pelo libero a monte delle singolarità sulla base dell'informazione disponibile e della memoria storica dei protagonisti dell'evento del 2002. Questo ha permesso di identificare anche i valori di scabrezza che consentono di riprodurre nella miglior forma l'evento avvenuto nel novembre 2002.

Per l'area in studio si sono desunti distinti valori del coefficiente di scabrezza di Manning: per l'alveo del fiume si è adottato normalmente un valore di n = 0.025 $s/m^{1/3}$, mentre per le sponde si è adottato un valore medio pari a n = 0.035 $s/m^{1/3}$. I valori di scabrezza adottati sulle linee stradali sono dell'ordine di n = 0.035 $s/m^{1/3}$.

Nell'ansa del fiume tra via Barcellona e via Guernica, è stata assunta una scabrezza dell'ordine di 0.07 $s/m^{1/3}$ al fine di considerare l'effetto della curva.

I valori di scabrezza identificati in fase di taratura per l'evento del 2002 sono stati adottati per la modellistica bidimensionale relativa al tempo di ritorno 200 anni.

3.3 Condizioni iniziali e al contorno

Le condizioni iniziali sono rappresentate in termini di profondità h e delle componenti della velocità u e v prima dell'arrivo dell'onda di piena. Nella simulazione effettuata è stata assunta l'ipotesi d'alveo inizialmente asciutto e quindi all'istante **t = 0** si ha **h = u = v = 0** in tutte le celle del dominio di calcolo.

Poiché la dinamica del fenomeno non è di interesse agli scopi della presente indagine (in questa fase le valutazioni sono orientate in particolare alla redazione delle carte delle fasce di inondabilità e di pericolosità), si è ritenuto cautelativo condurre lo studio con condizioni di moto stazionario. La condizione assegnata al contorno di monte, per tutte le simulazioni effettuate è stata eseguita tramite un idrogramma sintetico che raggiunge la portata di riferimento dopo 2 ore. Raggiunta la portata al picco, l'idrogramma si conserva costante nel tempo durante le 8 ore successive, finché si raggiunge una condizione di stazionarietà in tutto il dominio di calcolo.

Gli idrogrammi sintetici vengono posizionati nei contorni del dominio di calcolo nelle celle intorno alla sezione LA 91. Ai contorni laterali del dominio è stata assegnata, per tutte le simulazioni effettuate, una condizione di efflusso nullo. Tale assunzione ha riguardato anche tutte le celle nel contorno superiore, dal momento che la corrente resta contenuta all'interno del contorno della *mesh* di calcolo.

Per quanto riguarda il contorno di valle, la condizione al contorno imposta nella modellistica bidimensionale per la sezione LA 82, che corrisponde all'ultima sezione del dominio di calcolo, è stata ricavata dai risultati riportati in [1]. Nella figura viene riportata la scala delle portate utilizzata nella modellistica 2D.

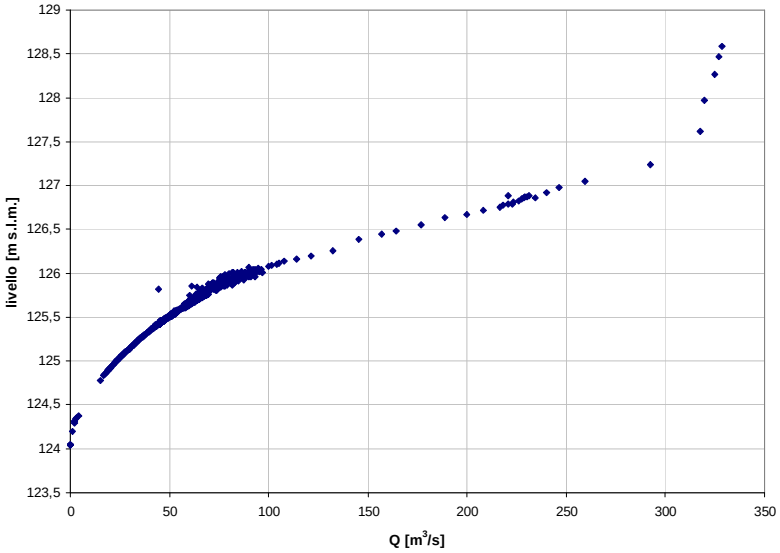

Figura 7 – scala delle portate nella sezione LA 82 [1] e adottata come condizione al contorno nella modellistica bidimensionale.

3.4 Condizioni interne associate alle singolarità

Per valutare l'effetto delle strutture idrauliche singolari presenti nel dominio di calcolo (in particolare i ponti) si è fatto ricorso a una modellazione *ad hoc* che è consentita dal modello bidimensionale Basilisk 2D [6], in quanto attraversando tale struttura il deflusso può teoricamente discostarsi dall'ipotesi di moto gradualmente variato che è alla base delle equazioni delle *shallow - water* adottata nella simulazione bidimensionale. Questa difficoltà è stata superata applicando le leggi della foronomia e collegandole in forma integrata alla soluzione del sistema d'equazioni caratteristiche del modello bidimensionale.

Le pile dei ponti, gli impalcati, il profilo superiore degli estradossi delle singolarità presenti in alveo sono stati inseriti puntualmente sui lati celle del dominio di calcolo ove presenti. Di seguito vengono definite le celle della *mesh* di calcolo in cui sono state inserite tutte le singolarità presenti nel tratto di Lambro esaminato.

Sezione	***Nome ponte***	***Quota intradosso (m.s.l.m.)***	***Quota estradosso (m.s.l.m.)***
LA 90.1	Ponte San Maurizio al Lambro	144.00	145.5
LA 88.1.1	Ponte tangenziale	142,40	144,3
LA 88.1	Ponte tangenziale	142,30	144,1
LA 87.1	Ponte accesso cava	142,49	144,14
LA 87	Ponte accesso cava	141,40	144,1
LA 84.1	Ponte di via Di Vittorio	132,20	133,8
LA 83.4	Ponte svincolo tangenziale	133,67	135,15
LA 83.3	Ponte svincolo tangenziale	138,80	141,8
LA 83.2.1	Ponte svincolo tangenziale	135,40	138,3

Tabella 1 - celle interessate dai ponti lungo l'asta del fiume Lambro considerata nello studio

L'effetto di rigurgito e in particolare le perdite di carico concentrate provocate dal passaggio della corrente attraverso le singolarità sono stati calibrati sulla base dell'evento del novembre del 2002. Infatti è stato identificato il tipo di funzionamento di ogni struttura sulla base dei sopralluoghi effettuati adottando l'informazione di campo fornita dagli abitanti (funzionamento a pelo libero, a battente rigurgitato o no da valle e funzionamento in pressione con o senza tracimazione dell'estradosso). Un altro riferimento ha riguardato lo studio quasi – bidimensionale fornito dall'Autorità di bacino e riportato in [1].

3.5 Approssimazione del calcolo

Le equazioni di base, *shallow water* – codice di calcolo Basilisk 2D, impiegate per simulare il moto bidimensionale indotto dalle piene di riferimento nell'area in studio sono affette da alcune approssimazioni di seguito ricordate.

Innanzitutto, le due equazioni del moto si basano sull'ipotesi che la corrente sia lineare e che quindi la pressione abbia una distribuzione verticale idrostatica. Un'approssimazione del modello di calcolo risiede nella formula adottata per la resistenza idraulica del fondo, che viene fatta dipendere dal quadrato del modulo della velocità e dal coefficiente di scabrezza di Manning supposto costante. Se sulla prima dipendenza non ci sono particolari dubbi, dato il carattere turbolento della corrente, sulla dipendenza da un valore costante del coefficiente di Manning esistono non poche incertezze, specialmente per le profondità minori e in presenza di un forte trasporto di materiale solido. L'unico modo per superare tali incertezze è quello di assegnare un valore elevato al coefficiente di Manning in modo da ottenere risultati comunque cautelativi.

Un'altra importante semplificazione adottata riguarda l'ipotesi di propagazione su alveo asciutto ed inerodibile, che pone la celerità del fronte d'onda uguale alla velocità critica e quindi assume che l'onda si propaghi con l'altezza critica. Tale approssimazione è comunque priva di importanza nelle presenti simulazioni, dal momento che i risultati di riferimento riguardano la condizione degli inviluppi dei valori massimi ed escludono la rilevanza dei tempi di arrivo delle onde che si propagano lungo le aste dei fiumi.

Infine, bisogna sottolineare che la trattazione della geometria complessa segue in linea di massima l'approccio proposto da Molinaro e altri, ampiamente verificato su modelli fisici a grande scala in applicazione a casi reali.

4. Risultati delle simulazioni idrauliche

Mediante l'applicazione del modello idrodinamico Basilisk 2D secondo le ipotesi e le modalità sopra illustrate, sono state realizzate quattro simulazioni del campo di moto conseguente al deflusso degli idrogrammi di piena, adottando per tali simulazioni una sola condizione al contorno di valle relativa alla scala delle portate riportata al punto 3.3. Di seguito viene presentato l'elenco delle simulazioni con il richiamo agli elaborati presentati in allegato al documento:

- **Simulazione 1**: scenario relativo al novembre 2002; tempo di ritorno di circa 80 anni. (Tavole in scala 1:4000 su A0 dei tiranti idrici, modulo di velocità, livelli idrici: **TAV 3**, **TAV 4, TAV 5**);
- **Simulazione 2**: scenario relativo all'evento bicentenario. (Tavole in scala 1:4000 su A0 dei tiranti idrici, modulo di velocità, livelli idrici: **TAV 6**, **TAV 7, TAV 8**); in allegato viene presentato anche un quaderno di 55 tavole che riassume in scala 1:2000 il modello digitale del terreno e i vettori delle velocità in forma adimensionale, i tiranti idrici, il modulo delle velocità, i livelli idrici in forma cromatica, la *mesh* di calcolo e la tavola di pericolosità idraulica;
- **Simulazione 3**: scenario relativo all'evento bicentenario. L'analisi considera l'innalzamento dell'argine sulla sponda sinistra in modo tale da contenere l'esondazione verso il comune di Cologno Monzese. Inoltre è stata considerata la messa in sicurezza del ponte di San Maurizio al Lambro. (Tavole in scala 1:4000 su A0 dei tiranti idrici, modulo di velocità, livelli idrici : **TAV 9**, **TAV 10, TAV 11**);
- **Simulazione 4**: scenario relativo all'evento bicentenario. L'analisi prevede la messa in sicurezza del ponte di San Maurizio al Lambro, l'innalzamento dell'argine sulla sponda sinistra per contenere l'esondazione verso il comune di Cologno Monzese e il rialzo dell'argine destro nel tratto compreso tra l'autostrada A4 e il ponte di San Maurizio al Lambro. Infine nel modello è stata prevista l'ipotetica intercettazione della roggia Molinara evitando la sua immissione nel Lambro nel punto attuale. (Tavole in scala 1:4000 su A0 dei tiranti idrici, modulo di velocità, livelli idrici: **TAV 12**, **TAV 13, TAV 14**).

Come si è già precisato, il modello descrive il dominio di calcolo, di forma rettangolare composita e avente dimensioni di circa 2.4 Km per 4.4 Km, per mezzo di un reticolo a celle quadrate di dimensione 4 m per 4 m costituito da 660.000 celle. Ai fini di un preciso riferimento dei risultati all'area in studio si è riportato in allegato nel quaderno per la simulazione 2 lo schema del reticolo di calcolo, sovrapposto allo stralcio dell'area studiata, con la numerazione delle celle.

Come sopra menzionato, per ciascuna delle simulazioni effettuate sono stati illustrati in scala 1:4000 le tavole riassuntive dei tiranti idrici, dei moduli delle velocità, e dei livelli idrici assoluti in m s.l.m e, per la portata bicentenaria, viene presentata la tavola delle classi di rischio e zonazione. Le grandezze idrauliche sono indicate mediante una scala di gradazioni cromatiche, con la rappresentazione vettoriale adimensionale del campo di moto. Nel quaderno di dettaglio, per la simulazione di riferimento, vengono rappresentati il centro abitato e le aree di interesse nel contesto della pianificazione del territorio.

I risultati numerici relativi a ciascuna simulazione sono stati presentati in forma digitale tramite dati GIS vettoriali e raster, in formato compatibile con il software di gestione in uso presso il Comune di Sesto San Giovanni. In tali progetti compaiono, per ciascuna simulazione: il numero della cella, la quota di fondo, il tirante idrico, la quota del pelo libero, le due componenti della velocità nelle

direzioni x e y, la velocità espressa con modulo e azimut, la spinta idrodinamica e la classe di rischio desunta dai valori di tirante, velocità e spinta.

4.1 Simulazione evento novembre 2002 (con tempo di ritorno di circa 80 anni)

Le tavole riassuntive per la simulazione dell'evento del novembre 2002 sono le **TAV 3, 4 e 5** in scala 1:4.000. Le tavole riassumono tutti i parametri idraulici desunti dalla modellistica bidimensionale per una portata di 240 m^3/s identificata come la portata che riproduce, dal punto di vista idraulico, la dinamica dell'evento del 2002, in termini di tiranti, velocità, perimetrazione dell'area di allagamento e livelli idrici a monte delle singolarità.

Le costruzioni presenti nel dominio di calcolo sono state inserite come "oggetti topografici" che occupano l'area reale all'interno del dominio di calcolo. In alcune situazioni sono state considerate aperte se il loro contorno permetteva l'ingresso della portata, come constatato nei diversi sopralluoghi effettuati. Le strade e le loro dimensioni, oltre a tutti gli interventi adottati per il controllo dell'emergenza, sono stati introdotti nella simulazione allo scopo di riprodurre con il maggiore dettaglio possibile la dinamica dell'evento del novembre 2002.

Per quanto riguarda l'espansione dell'area di allagamento nel centro urbano, è stata adottata come riferimento la perimetrazione dell'area interessata dall'inondazione ricostruita dopo l'evento dai tecnici del Comune di Cologno Monzese. Tale perimetrazione di massima coincide con i risultati ottenuti dalla simulazione numerica.

La taratura adottata, oltre a considerare la dinamica della propagazione lungo le strade nel centro abitato, fornisce anche l'innalzamento del pelo libero a monte delle singolarità. Nello studio di taratura si è fatto ricorso alle informazioni di campo ricostruite in diversi sopralluoghi, mettendo a confronto i risultati raggiunti con la memoria storica dei cittadini che hanno vissuto l'evento del 2002.

Nella Tabella 2 viene riportato il livello del pelo libero per le sezioni trasversali rilevate e disponibili per l'elaborazione dello studio. Nella medesima tabella vengono presentate le caratteristiche geometriche delle singolarità o opere d'arte e le quote delle sponde destra e sinistra. Non sono riportate le velocità medie, data la natura bidimensionale della simulazione.

Occorre sottolineare che il processo di taratura, oltre a fornire i valori di scabrezza sull'alveo inciso e sul piano stradale, ha permesso di identificare i coefficienti di perdite di carico attraverso le singolarità. Sulla base di tale informazione si è potuto constatare, dal modello matematico bidimensionale, che la portata in arrivo di 240 m^3/s alla sezione LA 91 dell'Autostrada A4 permette di ricostruire l'evento di 2002 in termini di tiranti, velocità e perimetro di allagamento.

Inoltre, di enorme rilevanza è il valore dell'entità della divisione delle portate al ponte di San Maurizio al Lambro. La portata che defluisce verso l'alveo principale del Lambro corrisponde all'82 % della portata in arrivo, pari a 197 m^3/s, mentre 43 m^3/s è la portata che esonda sulla sponda sinistra interessando il comune di Brugherio e Cologno Monzese.

Codice	Sezione	Progressiva	Livello [m slm]	Intradosso [m slm]	Estradosso [m slm]	Franco [m]	Funzionamento	Argine Destro [m slm]	Argine Sinistro [m slm]
LA90.3		60653	146,45					146,28	146,3
LA90.2		61036	145,72					146,57	146,28
LA90.1	Ponte San Maurizio	61279	145,38	144,00	145,50	-1,38	In pressione	145,27	145,45
LA90		61354	144,57					144,52	144,56
LA89		61411	144,48					143,17	144,8
S5		61513	144,38					144,14	145,61
LA88.4		61737	144,04					145,02	144,26
S7		61917	143,86					143,25	143,2
LA88.3		62148	143,67					143,18	143,01
LA88.2		62311	143,53					144,35	143,5
S8		62452	143,45					144,07	143,63
LA88.1.1	Ponte tangenziale	62639	143,34	143,40	144,30	0,06	Pelo libero	144,2	144,1
LA88		62754	142,16					142,72	144,66
LA88.1	Ponte tangenziale	62818	141,77	142,30	144,10	0,53	Pelo libero	142,05	144,1
LA87.1	Ponte accesso cava	62948	141,61	142,49	144,14	0,88	Pelo libero	144,1	144,31
S13		63201	140,82					143,13	148,25
LA87		63436	140,41	141,40	144,10	0,99	Pelo libero	144	144,3
LA86.1		63750	139,61					140,9	140,96
S15		63901	139,41					141,75	139,94
LA86		64386	137,12					140,5	138,35
LA85.5		64551	136,54					139,5	136,8
LA85.4		64826	136,02					138,52	136,91
LA85.3		65373	134,73					136,95	137,12
LA85.2		65859	133,96					135,06	135,42
LA85.1		65944	133,88					135,31	135,27
S17		66184	133,72					135,27	135,31
LA85		66275	133,69					134,33	134,22
LA84.1	Ponte via Di Vittorio	66548	133,54	132,2	133,8	-1,34	In pressione	133,78	133,73
LA84		66602	131,96					133,7	135,28
LA83.4	Ponte ingresso T Est Sesto verso sud	66678	131,94	133,7	135,16	1,76	Pelo libero	135,18	135,15
LA83.3		66800	131,16					138,8	132,26
LA83.2.1		66944	130,66						
LA83.2		66987	130,50					140	132,22
LA83.1.1		67256	129,40					131,68	131,65
LA83.1		67292	129,35					131,95	131,54
S20		67394	129,09					130,76	130,94
LA83		67455	128,60					129,53	129,64
LA82.3		67539	127,07						
LA82.2		67558	126,93						
LA82.1.1		67605	126,97					128,58	128,41
LA82.1		67678	126,76					127,48	127,32

Tabella 2 – caratteristiche idrauliche nelle sezioni del fiume Lambro per la simulazione dell'evento del 2002.

E' importante sottolineare che in fase di taratura si è constatato che nella realtà il ponte in via Di Vittorio nel 2002 non è stato tracimato dalla corrente. Viceversa, nella simulazione numerica del medesimo evento, effettuata in condizioni di moto stazionario, la portata in arrivo al ponte

attraverso l'alveo del Lambro (197 m^3/s), risulta concomitante con l'arrivo della portata esondata e defluita attraverso Cologno Monzese (43 m^3/s), pertanto il livello a valle del ponte è quello associato a una portata di 240 m^3/s . Questa condizione conduce, nella simulazione numerica, alla tracimazione dell'estradosso dell'impalcato per effetto del rilevante rigurgito da valle, cosa che nel 2002 non si è verificata, in quanto le due portate non sono effettivamente concomitanti nella realtà.

Per superare questo limite, si sono inserite a valle del ponte delle scabrezze non rappresentative delle effettive condizioni del Lambro allo scopo di abbassare i livelli a valle del ponte e ricostruirne in forma corretta il funzionamento. A causa di questo accorgimento i risultati a valle della sezione del ponte all'interno dell'alveo inciso non sono rigorosamente rappresentativi del fenomeno.

I valori puntuali delle grandezze idrauliche sono allegati al presente studio in forma digitale in formato GIS.

4.2 Simulazione con TR 200 anni nella condizione di stato di fatto

Le tavole per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni, adottate per la definizione delle mappe di pericolosità idraulica, sono le **Tavole 6, 7 e 8**. Per questo caso viene anche presentato il quaderno di dettaglio, che, in 55 fogli in scala 1:2.000, riporta tutte le grandezze idrauliche nelle diverse aree interessate dalla piena fluviale.

La simulazione riproduce il campo di moto, in termini di tiranti, velocità, perimetrazione dell'area di allagamento per l'evento bicentenario.

Anche in questo caso le costruzioni presenti nel dominio di calcolo sono state inserite come "oggetti topografici" che occupano l'area reale all'interno del dominio di calcolo. Il dominio di calcolo è il medesimo adottato per l'evento del 2002.

Per quanto riguarda l'espansione dell'area di allagamento, nelle tavole vengono riportate le fasce B e C proposte dall'Autorità di Bacino. E' importante sottolineare che lo studio bidimensionale adotta molta più informazione sul territorio di quella utilizzata dal modello dell'Autorità di Bacino per la perimetrazione delle aree di allagamento. Occorre osservare poi che i risultati in termini di livelli (m.s.l.m.) si discostano da quelli riportati dall'Autorità di Bacino per la portata bicentenaria; nonostante ciò, si può affermare che il livello di dettaglio modellistico della presente analisi è superiore a quello proposto dall'Autorità di Bacino, basato sulla modellistica monodimensionale che schematizza una rete di canali.

Lo studio è stato effettuato con gli stessi valori dei parametri idraulici, scabrezze e coefficienti di perdita di carico attraverso le singolarità, desunti dalla modellazione relativa all'evento del novembre 2002.

Nella Tabella 3 viene riportato il livello del pelo libero per le sezioni trasversali rilevate e disponibili per l'elaborazione dello studio. Nella medesima tabella viene illustrato il valore di livello del pelo libero desunto dallo studio PAI [1], insieme alle quote dell'intradosso e dell'estradosso delle singolarità o opere d'arte.

Anche in questo caso, alla sezione del ponte di San Maurizio al Lambro si verifica una divisione della portata: parte defluisce nell'alveo principale del Lambro, mentre la parte rimanente esonda verso sinistra interessando i comuni di Brugherio e Cologno Monzese e in misura minore verso destra interessando Sesto San Giovanni, subito a valle dell'autostrada A4.

La percentuale che defluisce nell'alveo principale del Lambro corrisponde al 70 %, ed è pari a 210 m^3/s, mentre 85 m^3/s è la portata che esonda, sia sulla sponda destra a valle dell'Autostrada A4 che sulla sponda sinistra verso i comuni di Cologno Monzese e Brugherio.

Il quaderno relativo all'evento bicentenario mostra, in forma dettagliata, l'andamento sul territorio di tutte le grandezze idrauliche. I valori puntuali dei tiranti, delle velocità e dei livelli si trovano in un tabulato allegato al medesimo quaderno, oltre ad essere disponibili in forma digitale tramite i materiali digitali GIS forniti al Comune di Sesto San Giovanni.

Codice	Sezione	Progressiva	Livello [m slm]	Livello PAI [m slm]	Intradosso [m slm]	Estradosso [m slm]	Franco [m]	Funzionamento	Argine Destro [m slm]	Argine Sinistro [m slm]
LA90.3	LA90.3	60653	146,64	146,77					146,28	146,3
LA90.2	LA90.2	61036	145,84	146,46					146,57	146,28
LA90.1	Ponte San Maurizio	61279	145,46	146,10	144,00	145,50	-1,46	In pressione	145,27	145,45
LA90	LA90	61354	144,65	144,27					144,52	144,56
LA89	LA89	61411	144,57	143,99					143,17	144,8
S5	S5	61513	144,47						144,14	145,61
LA88.4	LA88.4	61737	144,15	143,25					145,02	144,26
S7	S7	61917	143,98						143,25	143,2
LA88.3	LA88.3	62148	143,80	142,45					143,18	143,01
LA88.2	LA88.2	62311	143,66	142,00					144,35	143,5
S8	S8	62452	143,58						144,07	143,63
LA88.1.1	Ponte tangenziale	62639	143,47	140,91	143,40	144,30	-0,07	In pressione	144,2	144,1
LA88	LA88	62754	142,25	140,80					142,72	144,66
LA88.1	Ponte tangenziale	62818	141,85	140,80	142,30	144,10	0,45	Pelo libero	142,05	144,1
LA87.1	Ponte accesso cava	62948	141,69	140,80	142,49	144,14	0,80	Pelo libero	144,1	144,31
S13	S13	63201	140,89						143,13	148,25
LA87	LA87	63436	140,48	140,19	141,40	144,10	0,92	Pelo libero	144	144,3
LA86.1	LA86.1	63750	139,66	138,94					140,9	140,96
S15	S15	63901	139,46						141,75	139,94
LA86	LA86	64386	137,18	136,86					140,5	138,35
LA85.5	LA85.5	64551	136,62	136,63					139,5	136,8
LA85.4	LA85.4	64826	136,11	136,04					138,44	136,91
LA85.3	LA85.3	65373	134,90	134,94					136,95	137,12
LA85.2	LA85.2	65859	134,29	134,53					135,06	135,42
LA85.1	LA85.1	65944	134,23	134,46					135,31	135,27
S17	S17	66184	134,11						135,27	135,31
LA85	LA85	66275	134,09	134,32					134,33	134,22
LA84.1	Ponte via Di Vittorio	66548	133,97	134,02	132,2	133,80	-1,77	Tracimazione	133,78	133,73
LA84	LA84	66602	132,82						133,7	135,28
LA83.4	Ponte ingresso T Est Sesto verso sud	66678	132,78	133,47	133,7	135,16	0,92	Pelo libero	135,18	135,15
LA83.3	LA83.3	66800	132,26	132,93					138,8	132,26
LA83.2.1	LA83.2.1	66944	131,73	132,67						
LA83.2	LA83.2	66987	131,58	132,88					131,13	132,22
LA83.1.1	LA83.1.1	67256	130,44	132,54					131,68	131,65
LA83.1	LA83.1	67292	130,36	132,66					131,95	131,54
S20	S20	67394	129,91						130,76	130,94
LA83	LA83	67455	129,00	132,26					129,53	129,64
LA82.3	LA82.3	67539	127,92	130,19						
LA82.2	LA82.2	67558	127,84	128,59						
LA82.1.1	LA82.1.1	67605	127,82	128,76					128,58	128,41
LA82.1	LA82.1	67678	127,62	128,82					127,48	127,32

Tabella 3 – caratteristiche idrauliche nelle sezioni del fiume Lambro per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni.

La simulazione bicentenaria è stata effettuata assumendo come condizione al contorno a valle alla sezione LA82 il livello desunto dalla scala delle portate indicato nel paragrafo 3.3.

4.3 Simulazione con TR 200 anni con due condizioni di progetto.

Le simulazioni con tempo di ritorno di 200 anni negli scenari definiti come condizione di progetto hanno lo scopo di fornire delle indicazioni di massima sul comportamento dell'evento bicentenario in presenza di ipotetici interventi in grado di mettere in sicurezza idraulica le aree localizzate sulla sponda sinistra del tratto di Lambro. I risultati sono riportati dalla **Tavola 9** alla **Tavola 14** in scala 1:4000. Le tavole riassumono tutti i parametri idraulici desunti dalla modellistica bidimensionale (tiranti, velocità, livelli e campo di moto) per la portata di 295 m^3/s in due scenari:

- *Scenario 1*: innalzamento dell'argine sulla sponda sinistra tra la sezione LA 91, in corrispondenza dell'Autrostrada A4, fino alla sezione LA 82, a valle dell'interconnessione idraulica Lambro – Martesana e messa in sicurezza del ponte di San Maurizio al Lambro con innalzamento dell'impalcato. **Tavole 9**, **10** e **11**.
- *Scenario 2:* messa in sicurezza del ponte di San Maurizio al Lambro, innalzamento dell'argine sulla sponda sinistra tra la sezione LA 91 corrispondente al ponte dell'autostrada A4 e la sezione LA 82 e rialzo dell'argine destro compreso tra la sezione LA 91 e il ponte di San Maurizio al Lambro. Inoltre nel modello è stata prevista anche l'ipotetica intercettazione della roggia Molinara evitando la sua immissione nel Lambro nel punto attuale. **Tavole 12**, **13** e **14**.

Anche in questo caso, per lo studio sono stati assunti gli stessi parametri idraulici, scabrezze sul piano golenale e alveo inciso e coefficiente di perdita di carico attraverso le singolarità, desunti dalla modellazione relativa all'evento bicentenario.

Nella Tabella 4 vengono riportati i livelli idrici per tutte le sezioni trasversali rilevate e disponibili per l'elaborazione dello studio. Nella medesima tabella vengono presentati, per il Lambro, i livelli delle sponde destra e sinistra nella condizione attuale.

Le medesime tabelle mostrano, per la sponda sinistra e destra, l'innalzamento necessario rispetto alle quote attuali delle sponde (a franco nullo) per contenere la portata transitante nel caso degli interventi sopra descritti.

Nel primo scenario considerato, il Lambro esonda verso Cologno Monzese e Brugherio attraverso l'immissione della Roggia Molinara, seppure in misura minore rispetto allo stato di fatto. La portata transitante lungo l'alveo principale, 263 m^3/s, è superiore a quella della condizione di stato di fatto , e a causa della ridotta laminazione dell'alveo inciso, l'esondazione verso Sesto San Giovanni è aumentata. E' evidente l'incremento della velocità nell'alveo inciso.

Nel secondo scenario, che prevede l'intercettazione e riduzione della portata scaricata dalla roggia Molinara, la portata transitante lungo il Lambro è di 287 m^3/s, generando un incremento dell'area di inondazione verso Sesto San Giovanni, con il conseguente incremento delle velocità nell'alveo principale.

Tutti i valori puntuali delle grandezze sono allegati in formato GIS al presente studio.

Codice	Progressiva	Livello [m slm]	Intradosso [m slm]	Estradosso [m slm]	Franco [m]	Funzionamento	Argine Destro [m slm]	Argine Sinistro [m slm]	Differenza di quota ZL - Argine destro [m]	Differenza di quota ZL - Argine sinistro [m]
LA90.3	60653	146,71					146,28	146,3	-0,43	-0,41
LA90.2	61036	145,85					146,57	146,28	0,72	0,43
LA90.1	61279	145,36	144	145,5	-1,36	In pressione	145,27	145,45	-0,09	0,09
LA90	61354	145,26					144,52	144,56	-0,74	-0,70
LA89	61411	145,22					143,17	144,8	-2,05	-0,42
S5	61513	145,20					144,14	145,61	-1,06	0,41
LA88.4	61737	145,06					145,02	144,26	-0,04	-0,80
S7	61917	144,91					143,25	143,2	-1,66	-1,71
LA88.3	62148	144,76					143,18	143,01	-1,58	-1,75
LA88.2	62311	144,66					144,35	143,5	-0,31	-1,16
S8	62452	144,60					144,07	143,63	-0,53	-0,97
LA88.1.1	62639	144,52	143,4	144,3	-1,12	Tracimazione	144,2	144,1	-0,32	-0,42
LA88	62754	143,17					142,72	144,66	-0,45	1,49
LA88.1	62818	142,43	142,3	144,1	-0,13	In pressione	142,05	144,1	-0,38	1,67
LA87.1	62948	142,25	142,49	144,14	0,24	Pelo libero	144,1	144,31	1,85	2,06
S13	63201	141,52					143,13	148,25	1,61	6,73
LA87	63436	141,14	141,4	144,1	0,26	Pelo libero	144	144,3	2,86	3,16
LA86.1	63750	140,45					140,9	140,96	0,45	0,51
S15	63901	140,26					141,75	139,94	1,49	-0,32
LA86	64386	137,89					140,5	138,35	2,61	0,46
LA85.5	64551	137,22					139,5	136,8	2,28	-0,42
LA85.4	64826	136,63					138,44	136,91	1,81	0,28
LA85.3	65373	135,39					136,95	137,12	1,56	1,73
LA85.2	65859	134,75					135,06	135,42	0,31	0,67
LA85.1	65944	134,69					135,31	135,27	0,62	0,58
S17	66184	134,55					135,27	135,31	0,72	0,76
LA85	66275	134,51					134,33	134,22	-0,18	-0,29
LA84.1	66548	134,35	132,2	133,8	-2,15	Tracimazione	133,78	133,73	-0,57	-0,62
LA84	66602	133,33					133,7	135,28	0,37	1,95
LA83.4	66678	133,28	133,7	135,16	0,42	Pelo libero	135,18	135,15	1,90	1,87

Tabella 4 – caratteristiche idrauliche nelle sezioni del fiume Lambro per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni, primo scenario di progetto.

Il valore negativo nelle colonne della differenza tra il livello idrico e la quota dell'argine indica un superamento dell'argine esistente. Nella sezione corrispondente deve essere previsto un rialzo dell'argine delle dimensioni specificate.

Codice	Progressiva	Livello [m slm]	Intradosso [m slm]	Estradosso [m slm]	Franco [m]	Funzionamento	Argine Destro [m slm]	Argine Sinistro [m slm]	Differenza di quota ZL - Argine destro [m] *	Differenza di quota ZL - Argine sinistro [m] *
LA90.3	60653	146,80					146,28	146,3	-0,52	-0,50
LA90.2	61036	146,02					146,57	146,28	0,55	0,26
LA90.1	61279	145,58	144	145,5	-1,58	Tracimazione	145,27	145,45	-0,31	-0,13
LA90	61354	145,48					144,52	144,56	-0,96	-0,92
LA89	61411	145,44					143,17	144,8	-2,27	-0,64
S5	61513	145,43					144,14	145,61	-1,29	0,18
LA88.4	61737	145,31					145,02	144,26	-0,29	-1,05
S7	61917	145,16					143,25	143,2	-1,91	-1,96
LA88.3	62148	145,01					143,18	143,01	-1,83	-2,00
LA88.2	62311	144,92					144,35	143,5	-0,57	-1,42
S8	62452	144,86					144,07	143,63	-0,79	-1,23
LA88.1.1	62639	144,79	143,4	144,3	-1,39	Tracimazione	144,2	144,1	-0,59	-0,69
LA88	62754	143,50					142,72	144,66	-0,78	1,16
LA88.1	62818	142,66	142,3	144,1	-0,36	In pressione	142,05	144,1	-0,61	1,44
LA87.1	62948	142,48	142,49	144,14	0,01	Pelo libero	144,1	144,31	1,62	1,83
S13	63201	141,76					143,13	148,25	1,37	6,49
LA87	63436	141,37	141,4	144,1	0,03	Pelo libero	144	144,3	2,63	2,93
LA86.1	63750	140,69					140,9	140,96	0,21	0,27
S15	63901	140,49					141,75	139,94	1,26	-0,55
LA86	64386	138,09					140,5	138,35	2,41	0,26
LA85.5	64551	137,41					139,5	136,8	2,09	-0,61
LA85.4	64826	136,80					138,44	136,91	1,64	0,11
LA85.3	65373	135,54					136,95	137,12	1,41	1,58
LA85.2	65859	134,88					135,06	135,42	0,18	0,54
LA85.1	65944	134,82					135,31	135,27	0,49	0,45
S17	66184	134,66					135,27	135,31	0,61	0,65
LA85	66275	134,63					134,33	134,22	-0,29	-0,41
LA84.1	66548	134,45	132,2	133,8	-2,25	Tracimazione	133,78	133,73	-0,67	-0,72
LA84	66602	133,49					133,7	135,28	0,21	1,79
LA83.4	66678	133,44	133,7	135,16	0,26	Pelo libero	135,18	135,15	1,74	1,71

Tabella 5 – caratteristiche idrauliche nelle sezioni del fiume Lambro per la simulazione con tempo di ritorno 200 anni, secondo scenario di progetto.

Il valore negativo nelle colonne della differenza tra il livello idrico e la quota dell'argine indica un superamento dell'argine esistente. Nella sezione corrispondente deve essere previsto un rialzo dell'argine delle dimensioni specificate.

5. Studio di fattibilità nell'ambito della riconversione della ex cava Melzi sita all'interno delle aree ex Falck nel Comune di Sesto San Giovanni.

5.1 Descrizione dell'intervento

La società "Immobiliare Cascina Rubina srl", proprietaria delle aree oggetto di bonifica ambientale site nell'ex ambito produttivo Falck, ha commissionato nel corso del 2006 la realizzazione di uno studio mirato alla valutazione di un intervento di sistemazione idraulica-ambientale dell'asta del fiume Lambro nel tratto di attraversamento della cava [2].

L'area oggetto di intervento ricade all'interno della fascia B in sponda destra del fiume ed è localizzata, indicativamente, tra la sezione LA 87.1 e la sezione LA 86 del PAI.

Il progetto di ripristino idraulico-ambientale prevede la realizzazione di un by-pass del fiume Lambro e l'utilizzo dell'area libera da insediamenti, destinata a verde fruitivo, quale area di laminazione controllata delle piene. Questi interventi strutturali di difesa idraulica rispondono all'obiettivo del Piano di bacino di sfruttare la capacità di laminazione delle aree libere disponibili lungo l'asta fluviale e di aumentare la capacità di deflusso con evidenti benefici in termini di livelli nelle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Il progetto di intervento si può riassumere in 4 punti principali:

1. realizzazione di un ramo secondario di deflusso del fiume Lambro avente le seguenti caratteristiche:
   - fondo e sponde in terra rivestiti con massi;
   - lunghezza complessiva di circa 430 metri;
   - larghezza della sezione alla base di 15 metri;
   - altezza del canale nell'area di espansione pari a 2 metri;
   - opera di alimentazione costituita da soglia fissa larga 15 metri attivabile per portate in alveo pari a 5 m^3/s.
2. formazione di un'area di espansione all'interno della cava attivabile in corrispondenza di piene con Tr = 200 anni con capacità di laminazione di circa 50.000 m^3.
3. rimozione delle arginature e risagomatura del piano campagna compreso tra l'attuale area di cava e il fiume Lambro fino ad una quota pari al piano campagna del territorio di Cologno Monzese.
4. formazione di un manufatto di invaso per la laminazione delle portate meteoriche provenienti dalle reti di drenaggio urbano. Tale intervento consiste nella posa all'interno dell'area di cava, in prossimità della recinzione della tangenziale, di manufatti tubolari in lamiera d'acciaio tipo ARMCO del diametro di 6 metri. La conformazione dell'area consente la posa di quattro file di tubi pari ad uno sviluppo complessivo di circa 1100 metri lineari. La capacità d'invaso ottenibile è di circa 30.000 m^3, sfruttabile per laminare la rete di drenaggio delle acque meteoriche di Sesto S. Giovanni o del depuratore consortile.

5.2 Benefici attesi

Le simulazioni idrauliche effettuate con l'assetto attuale e quello di progetto per eventi con tempo di ritorno variabile tra 10 e 500 anni evidenziano un abbassamento dei livelli fino a circa 1 metro

nel tratto della cava che si protrae in modo graduale verso monte fino ad una distanza di 800 metri; oltre tale distanza, i livelli idrici del fiume non sembrano risentire della presenza del nuovo manufatto. Un'ulteriore verifica, svolta rispetto ai livelli idrici dell'evento del novembre 2002, dimostra che la presenza del by-pass renderebbe il tratto dell'ansa in cui è localizzato uno dei punti di esondazione, compatibile senza franco di sicurezza.

L'inserimento di quest'opera di difesa idraulica non aggrava le condizioni idrauliche di valle, dove non si riscontrano apprezzabili variazioni di livello e portata.

5.3 Considerazioni

L'intervento in progetto comporta sicuramente un beneficio dal punto di vista ambientale dovuto alla bonifica e alla riqualificazione di una vasta area fortemente manomessa dalle attività antropiche; in merito all'obiettivo di restituire questa porzione di territorio alla fruizione dei cittadini si esprimono solo osservazioni positive. Tuttavia, si ritiene, in questa sede, di poter fare alcune considerazioni sul progetto per quanto concerne l'aspetto idraulico e i presunti vantaggi che vengono ad esso associati.

Premesso che ogni intervento che implica un aumento della capacità di laminazione delle piene deve essere considerato sempre come un contributo positivo al miglioramento delle problematiche di rischio idraulico, si evidenzia che la realizzazione del by-pass nella cava non è l'unica soluzione percorribile nell'ambito del territorio oggetto di studio soprattutto in termini di costi e benefici. Pertanto sarebbe necessario supportare, tramite un'analisi delle alternative, qualunque scelta si volesse intraprendere, attività che al momento non sembra sia stata condotta.

Inoltre, è opportuno sottolineare che il volume di laminazione proposto nello studio di fattibilità, pari 50.000 m^3, è sicuramente irrilevante rispetto ai volumi di piena coinvolti nei fenomeni eccezionali in corrispondenza del tratto del Lambro nel comune di Sesto San Giovanni. A titolo di esempio si ricorda che il volume prodotto per Km^2 nel bacino idrografico del Lambro chiuso a Sesto San Giovanni per un evento con TR 200 anni è all'incirca di 0.2 milioni di m^3 (per una superficie di 419 Km^2, con i dati idrologici desunti dallo studio PAI [1]).

Considerato che la realizzazione sia del by-pass che dell'area di espansione della cava ha tra gli obiettivi la mitigazione delle condizioni di rischio del tratto dell'ansa contenuta tra via Barcellona e via Guarnica, punto individuato idraulicamente critico, e non esplicitamente la difesa idraulica del territorio di Sesto San Giovanni in sponda destra, si ritiene opportuno, come già espresso in precedenza, proporre e indagare altri scenari di intervento.

Per quanto riguarda l'area di espansione nella cava, con stimata capacità di laminazione di 50.000 m^3, si evidenzia la possibilità di realizzarla in un tratto più a valle, in una posizione idraulicamente più favorevole alla difesa delle zone industriali di Sesto San Giovanni e con costi di intervento minori. Ad esempio, l'area libera sita a nord della aree industriali di via Di Vittorio ed attualmente destinata a parco costituisce una valida alternativa economicamente sostenibile.

Qualora, invece, si volesse mantenere la localizzazione indicata e incrementare il volume di invaso, si sottolinea la possibilità di realizzare la vasca di laminazione anche in assenza del by-pass proposto, prevedendo l'allagamento attraverso la realizzazione dei tagli dei meandri nel tratto del Lambro tra le sezioni LA 87 e LA 85.5, abbinando tali interventi alla realizzazione di sfioratori laterali, vedi Figura 8.

Una ulteriore soluzione progettuale che prescinde dall'area di laminazione ma contribuisce alla difesa della sponda sinistra nel tratto all'altezza di via Barcellona è la sola rettifica del tracciato dell'alveo, riformulando un andamento che rispecchi la naturale evoluzione morfologica del corso

d'acqua, vedi Figura 9. Altre alternative riguardano la rettifica puntuale dell'ansa mediante l'inserimento di apposite strutture sommerse finalizzate alla stabilizzazione e ricostruzione morfologica del *thalweg* lungo la curva, vedi Figura 10.

Un altro aspetto che merita di essere valutato è quello degli effetti indotti dagli interventi proposti; a tal proposito, si riscontra che lo studio di fattibilità non ha approfondito, ad esempio, in modo adeguato la problematica della sedimentazione in alveo che, accentuata da un minor deflusso delle acque nel tratto naturale, potrebbe portare, ad un graduale innalzamento del fondo e ridurre i benefici indotti dal by-pass per quanto riguarda l'abbattimento dei livelli idrici a monte dell'intervento. Occorre sottolineare che l'abbattimento del pelo libero a monte dell'opera di presa del by-pass non è particolarmente rilevante dal punto di vista del rischio idraulico dal momento che non si estende fino ai punti di criticità idraulica localizzati a monte.

Infine, si può considerare la possibilità di intervenire in modo puntuale sulle arginature della sponda sinistra; ad oggi, come risulta dai sopralluoghi effettuati nell'ambito del presente studio, emerge che gli argini in questo tratto sono stati rialzati in modo discontinuo e disomogeneo da parte dei proprietari frontisti; pertanto sarebbe necessario indagare i benefici e i danni che questi interventi provocano, allo scopo di inserirli in un progetto di intervento più ampio da considerarsi quale valida alternativa alla realizzazione del by-pass, con costi evidentemente più contenuti.

In conclusione, a fronte dei risultati dello studio di fattibilità di sistemazione idraulica dell'ex cava Melzi, dal quale non è possibile desumere se tale intervento corrisponde alla migliore soluzione dal punto di vista tecnico ed economico, lo scrivente è del parere che solo tramite un'adeguata analisi socio-economica delle diverse alternative di soluzione, che comprendano non solo l'ipotesi di by-pass ma anche ulteriori scenari di intervento di diversa tipologia e localizzazione sul territorio come quelli sopra descritti, si possa arrivare ad una scelta efficace.

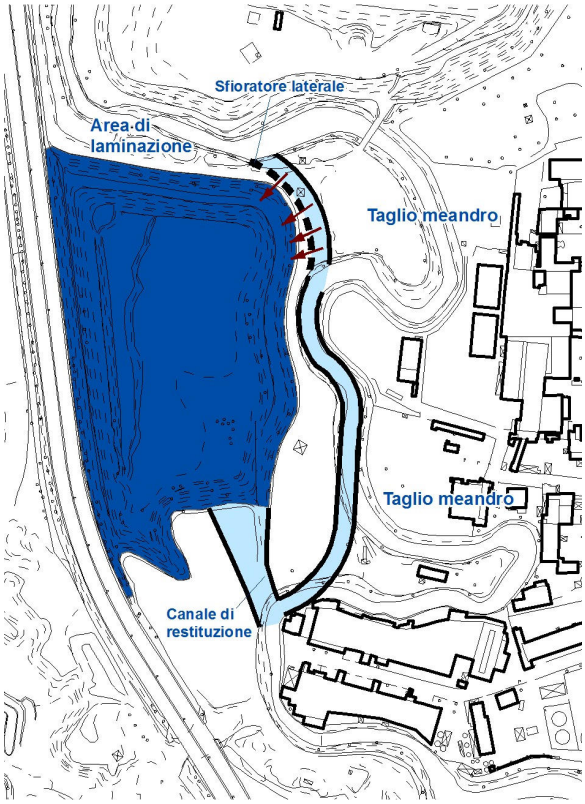

Figura 8 – proposta generale con incremento del volume di invaso e taglio dei meandri

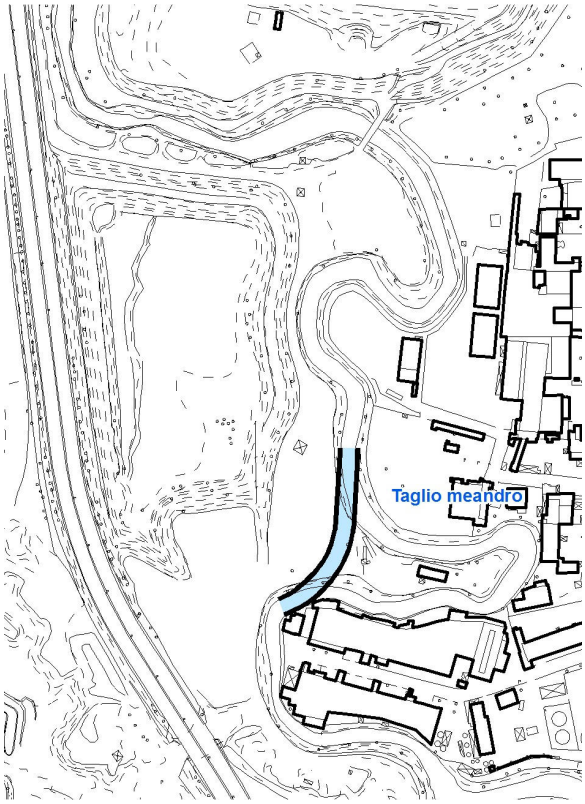

Figura 9 – eliminazione del meandro tra via Barcellona e via Guernica

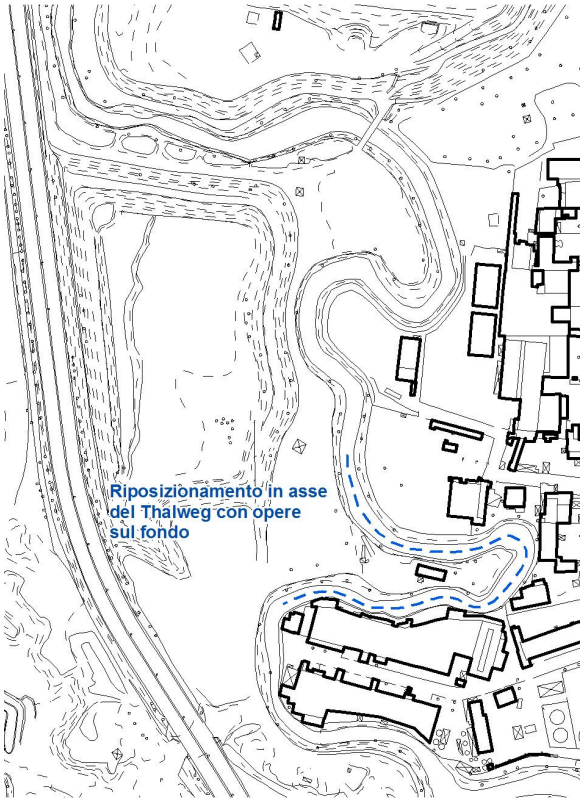
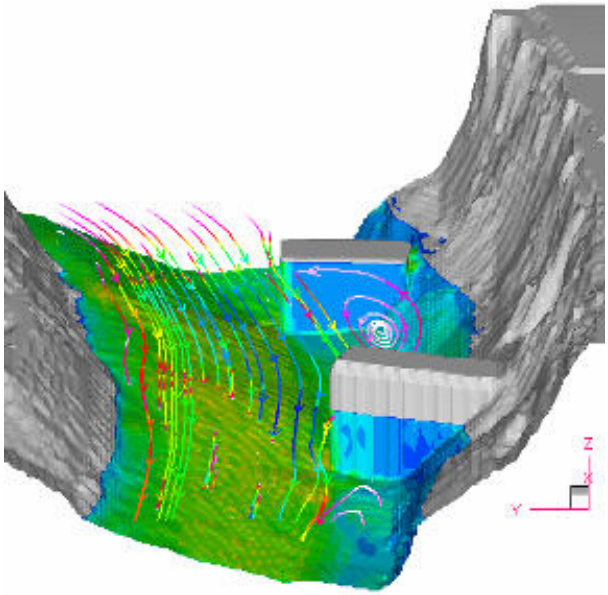
Figura 10 –intervento puntuale di correzione planimetrica del Thalweg nel meandro tra via Barcellona e via Guernica