

CAPITOLO 8. Rischio relativo alle Grandi dighe

ARGOMENTI TRATTATI

TEMA 8.1. SCENARIO DI EVENTO

UNITÀ 8.1.1. INTRODUZIONE

- 8.1.1.1. Generalità
- 8.1.1.2. Le grandi dighe
- 8.1.1.3. Norme riguardanti la pianificazione
- 8.1.1.4. I piani di laminazione

UNITÀ 8.1.2. LA DIGA DI TREZZO SULL'ADDA

- 8.1.2.1. Generalità
- 8.1.2.2. Ulteriori dati caratteristici
- 8.1.2.3. Portate caratteristiche degli scarichi
- 8.1.2.4. Inquadramento dello scenario di evento
- 8.1.2.5. Caratteristiche essenziali dello scenario

UNITÀ 8.1.3. LA DIGA DI PUSIANO

- 8.1.3.1. Generalità
- 8.1.3.2. Ulteriori dati caratteristici
- 8.1.3.3. Portate caratteristiche degli scarichi
- 8.1.3.4. Inquadramento dello scenario di evento

TEMA 8.2. MODELLO DI INTERVENTO

- 8.2.1.1. Approccio alla definizione del modello

Tema 8.1. Scenario di evento

Unità 8.1.1. Introduzione

8.1.1.1. Generalità

Per il rischio dighe, la pianificazione si svolge ai sensi della Direttiva PCM 8 luglio 2014³⁴. I piani di riferimento sono i Documenti di Protezione Civile delle singole dighe, redatti dalle Prefetture - Uffici Territoriali del Governo, ed i successivi Piani emergenza diga (PED), redatti dalla Regione per ogni grande diga sul proprio territorio.

Il tema è discusso in questa sede ai fini del raccordo tra le pianificazioni di protezione civile. Le maggiori criticità derivanti dall'esercizio delle dighe di ritenuta riguardano le variazioni repentine del regime fluviale dovute alle manovre sugli scarichi e lo scenario catastrofico derivante dal collasso della struttura.

Il Piano regionale ricomprende lo scenario di rischio e il modello di intervento. Oltre all'inquadramento territoriale, nei PED vengono infatti descritte e mappate le aree a rischio inondazione, evidenziando gli elementi esposti a rischio, tra i quali le strutture e le infrastrutture strategiche. Nella definizione del modello d'intervento, sono coinvolti tutti i soggetti direttamente interessati, primo tra tutti il gestore della diga.

Non si tratta dunque di pianificazione di specifica competenza di Città metropolitana, sebbene sia indispensabile farne ai fini del raccordo tra gli atti di pianificazione, in particolare per le porzioni di territorio potenzialmente soggette a criticità.

Le dighe di interesse per il territorio di Città metropolitana sono 2. Quella di Trezzo sull'Adda (ricompresa nel territorio) e quella di Pusiano (in provincia di Como, fa risentire i suoi effetti sui comuni a valle). I relativi Piani di Emergenza, comprensivi degli allegati e degli atti approvativi sono disponibili in rete³⁵.

8.1.1.2. Le grandi dighe

Le "grandi dighe" nel nostro Paese sono soggette ad uno stretta vigilanza da parte della competente direzione generale del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti MIT che, tra le altre cose, ne cura costantemente la sicurezza. Tale controllo si applica nello specifico alle opere di sbarramento, dighe di ritenuta o traverse, che superano i 15 metri di altezza o che determinano

³⁴ recante "Indirizzi operativi inerenti l'attività di protezione civile nell'ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe"

³⁵<http://regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/istituzione/Giunta/sedute-delibere-giunta-regionale/DettaglioDelibere/delibera-821-legislatura-12> (Pusiano)

e <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/istituzione/Giunta/sedute-delibere-giunta-regionale/DettaglioDelibere/delibera-1459-legislatura-12> (Trezzo sull'Adda)

un volume d'invaso superiore a 1.000.000 di metri cubi, definizione appunto, di “grandi dighe”. La legislazione di riferimento è il DL 8 agosto 1994, n. 507³⁶. La norma è stata poi aggiornata con il DM 14 maggio 2024, n. 94³⁷. Le altre strutture, minori per altezza o volume di invaso, sono di competenza regionale.

Le grandi dighe sul territorio lombardo sono 77. Di queste soltanto una è nel territorio di Città metropolitana e soltanto una ulteriore, pur essendo ricompresa nell'ambito della provincia di Como, propaga i suoi effetti nel territorio metropolitano milanese. Per il primo caso, si tratta della diga di Trezzo sull'Adda, sita nell'estremo lembo nordoccidentale del territorio metropolitano, e della diga di Pusiano, posta invece nella provincia di Como. I dati principali, sono tratti dai rispettivi Piani di emergenza (PED)³⁸

Tabella 52. Principali dati delle dighe di interesse per la pianificazione di Città metropolitana

	Trezzo sull'Adda	Pusiano
Numero di archivio della diga	1276	1839
Comune ove è ubicato lo sbarramento	Trezzo sull'Adda	Merone
Provincia/Città metropolitana	Città metropolitana di Milano	Como
Corso d'acqua sbarrato	Fiume Adda	Emissario Lago di Pusiano
Corso d'acqua a valle	Fiume Adda, Fiume Po	Fiume Lambro, Fiume Po
Bacino idrografico	Fiume Po	Fiume Po
Superficie del bacino direttamente sotteso	4646 km ²	94.3 km ²
Tipologia diga	Traversa fluviale	Traversa fluviale
Altezza diga	10 m	6.95 m
Volume di invaso	1.9 Mm ³	15.4 Mm ³
Utilizzazione prevalente	Idroelettrica	Laminazione delle piene
Gestore	ENEL	Parco della Valle del Lambro
Quota massima di regolazione	149.09 m s.l.m.	261.50 m s.l.m.
Quota di massimo invaso	149,79 m s.l.m.	261.75
Stato dell'invaso	Esercizio sperimentale	Esercizio sperimentale
Estremi atto di approvazione PED	DGR XII/1459 del 27/11/2023	DGR XII/821 del 31/07/2023

8.1.1.3. Norme riguardanti la pianificazione

Le caratteristiche della pianificazione relative a questa tipologia di opere riguardano l'emergenza e, in particolare, due aspetti. Si tratta delle criticità indotte delle onde di piena conseguenti alla manovre degli scarichi e quelle derivanti dal collasso della struttura. La seconda questione, di ordine catastrofico ed è rarissima. Più subdoli invece sono i casi di cui alla prima fattispecie ove, per operazioni programmate ovvero per diverse necessità, vengono operate manovre sugli scarichi. Queste provocano bruschi aumenti di portata che, sebbene di intensità drasticamente inferiore a quelle immaginabili per un disastro maggiore e per quanto preceduti da avvisi acustici, possono cogliere di sorpresa persone presenti nella fascia riparia. Si tratta difatti di variazioni repentine del regime fluviale che avvengono in assenza di alcun segnale premonitore di carattere meteorologico e, dunque, imprevedibili per i cittadini.

³⁶ convertito con modificazioni dalla L. 21 ottobre 1994, n. 584

³⁷ Rubricato “Regolamento recante la disciplina del procedimento di approvazione dei progetti e del controllo sulla costruzione e l'esercizio degli sbarramenti di ritenuta (digue e traverse).”

³⁸ Regione Lombardia, Piano emergenza diga PED, diga di Pusiano (CO), Aprile 2023, Piano emergenza diga PED Diga Di Trezzo sull'Adda (MI)



La pianificazione è regolata dalla Direttiva PCM 8 luglio 2018³⁹. La Regione, in accordo con le Prefetture-UTG territorialmente competenti, predisponde ed approva, per ogni grande diga presente nel proprio territorio, il Piano di emergenza dighe (PED). Non si tratta dunque di pianificazione di specifica competenza di Città metropolitana, sebbene sia estremamente opportuno farne cenno nell'ottica di un sostanziale raccordo tra gli atti di pianificazione.

Il Piano regionale ricomprende lo scenario di rischio e il modello di intervento. Oltre all'inquadramento territoriale, nei PED vengono infatti descritte e mappate le aree a rischio inondazione, evidenziando gli elementi esposti a rischio, tra i quali le strutture e le infrastrutture strategiche.

Nella definizione del modello d'intervento, sono coinvolti tutti i soggetti direttamente interessati, primo tra tutti il gestore della diga e poi, tra gli altri, la Regione, l'ARPA, la Prefettura, i Comuni, la Città metropolitana e le Province, i Consorzi di Bonifica, i Vigili del Fuoco, i soggetti gestori dei servizi essenziali, le Associazioni di Volontariato di protezione civile.

La Direttiva stabilisce che i PED recepiscono i Documenti di Protezione Civile (DPC) approvati dalla Prefettura, nonché i Piani di Laminazione (PDL), qualora predisposti dall'Ufficio Tecnico Dige competente per territorio⁴⁰ (UTD), e approvati dalla Prefettura. Nel Documento di Protezione Civile vengono definite le specifiche condizioni tecniche per assicurare, in caso di criticità, l'attivazione del sistema ovverosia della catena di allertamento.

L'approvazione del PED con Delibera di Giunta Regionale rappresenta dunque la fase conclusiva di un processo complesso e articolato che coinvolge direttamente e in più fasi, i diversi soggetti interessati. L'attività di impostazione dei PED vede in generale un confronto con il Dipartimento della Protezione Civile, anche rispetto a varie problematiche inerenti:

- gli studi redatti dai Gestori (talvolta molto risalenti e disponibili solo in forma cartacea), in merito alla propagazione delle onde di piena artificiale per manovre volontarie degli organi di scarico e ipotetico collasso dello sbarramento;
- la presenza di rischio idrogeologico che insiste sugli invasi e i relativi manufatti e l'eventualità che riguarda l'effetto domino di una diga sull'altra;
- la partecipazione di più regioni, confinanti tra loro, che presentano il rischio diga sul proprio territorio per lo stesso manufatto;
- la vetustà dei manufatti e i lavori di manutenzione straordinaria approvati dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, di cui alcuni già in corso.

8.1.1.4. I piani di laminazione

Il Piano di laminazione (PDL) è un documento redatto ai sensi delle Direttive P.C.M. 27 febbraio 2004 e 8 febbraio 2013 e nel rispetto degli indirizzi di cui alla Direttiva P.C.M. 8 luglio 2014. Indica le azioni di laminazione da attuare sugli organi di regolazione di un invaso quando vada a prefigurarsi un significativo incremento delle portate in ingresso all'invaso in conseguenza di precipitazioni nel bacino di monte. L'obiettivo è quello di utilizzare il volume disponibile in modo da regolare la portata in uscita per renderla il più possibile compatibile con i valori di officiosità sostenibili nell'alveo a valle. Il piano si basa generalmente su previsioni quantitative delle

³⁹ Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2014, Indirizzi operativi inerenti all'attività di protezione civile nell'ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe.

⁴⁰ Si tratta degli uffici periferici della DG competente del MIT, Milano nel nostro caso.

precipitazioni e della conseguente produzione del deflusso attesa all'invaso, nonché sulla base del volume al momento stoccatto.

Le Regioni, con il concorso dei Centri Funzionali Decentrali, della Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche del MIT, dell'Autorità di Bacino, d'intesa con i gestori delle opere, sia di ritenuta che di regolazione, e sotto il coordinamento del Dipartimento della protezione civile, predispongono ed approvano il Piano.

La Regione Lombardia, con la DGR 1038/2018 individua gli invasi su cui è prioritario valutare la redazione del PL e approva il documento di indirizzo, vere e proprie linee guida, per la redazione dei Piani. In effetti la Direttiva PCM 08/02/2013⁴¹, ha istituito presso l'Autorità di bacino del fiume Po un Tavolo tecnico con il compito di valutare, attraverso studi specifici, l'influenza che possono esercitare i volumi accumulabili negli invasi regolati dalle grandi dighe ed individuare quelli effettivamente utili alla laminazione delle piene.

Tale Tavolo tecnico ha prodotto nell'aprile 2015 una relazione finale che, tra le altre cose, ricorda che sono già in atto, o comunque previste, funzioni di laminazione per le dighe Olona⁴², la traversa lago Pusiano, traversa lago d'Idro. Il documento del Tavolo tratta di ricondurre auspicabilmente in un piano di laminazione tali azioni. Il Piano di laminazione per la traversa del lago di Idro è stato approvato nel dicembre del 2023⁴³. Quello per Pusiano non risulta invece al momento approvato.

Unità 8.1.2. La diga di Trezzo sull'Adda

8.1.2.1. Generalità

La diga è ubicata nel territorio del Comune di Trezzo sull'Adda nel territorio della Città metropolitana, immediatamente a monte dell'ansa del Fiume Adda determinata da un promontorio roccioso sul quale sorgono i resti del castello visconteo e al cui piede, in destra idraulica, sorge la storica centrale idroelettrica "Taccani" (Figura 42). Il centro abitato visibile nell'immagine è appunto quello di Trezzo sull'Adda.



Figura 42. La diga di Trezzo sull'Adda e la Centrale Taccani (Immagine Google)

La realizzazione dell'impianto è avvenuta nel 1904 in sostituzione di un precedente sbarramento storico realizzato tramite una soglia fissa in calcestruzzo, dotata di panconcelli in legno. Era anche presente una conca di navigazione.

⁴¹ al punto 6.rubricato "Piani di laminazione"

⁴² Si tratta di quella di Ponte Gurone a Malnate in provincia di Varese, realizzata per regolare le piene dell'Olona

⁴³ DGR 1501 del 4 dicembre 2023

L'opera di ritenuta, nella configurazione odierna, è costituita da una traversa basata sulla soglia originaria e dal sovrastante scivolo sul quale sono presenti 6 pile con le interposte paratoie a settore. Alle estremità sono posizionate le spalle, per uno sviluppo complessivo del coronamento di circa 150 metri. A valle della traversa, lo scivolo prosegue con vasca di dissipazione dotata di controbriglia. Lo scarico di fondo, presidiato da paratoie piane, è ubicato in sponda destra.

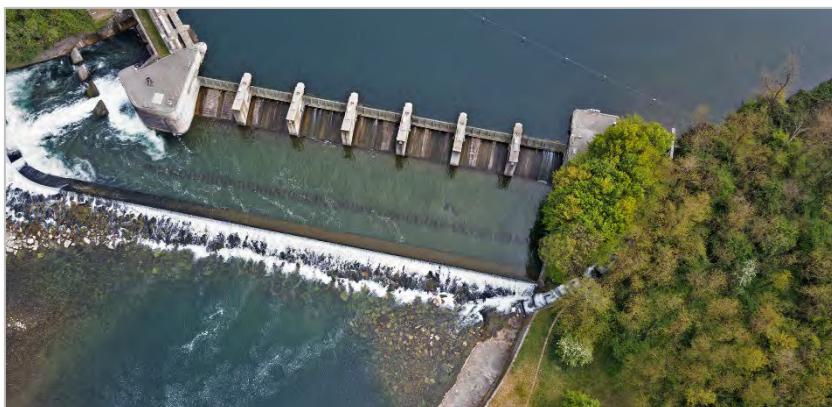


Figura 43. Il corpo centrale della diga di Trezzo sull'Adda. Si notano le sei paratoie a settore, la casca di dissipazione e la controbriglia. In destra il manufatto dello scarico di fondo.

Gli organi di movimentazione delle paratoie a settore sono alloggiati nei vani delle pile ed accessibili dal cunicolo che attraversa lo scivolo. Gli organi di comando delle paratoie a settore dell'adiacente scarico di fondo.

8.1.2.2. *Ulteriori dati caratteristici*

Il volume di laminazione a tergo di una grande diga, laddove non specificatamente allocato dalla regola di gestione, è il quello compreso tra la quota di massima regolazione e quella di massimo invaso. La prima è la quota massima normalmente utilizzabile, appunto, per la regolazione dell'invaso da parte del gestore (da qui il nome). Quote superiori implicano difatti l'attivazione degli scarichi di superficie per il ripristino al livello precedente.

La quota di massimo invaso è invece quella corrispondente al massimo livello operativo effettivamente raggiungibile nell'invaso secondo progetto. Se ad esempio consideriamo un impianto dotato di un semplice scarico di superficie a soglia libera, la quota di massimo invaso è quella che garantisce il battente necessario a scaricare a valle la portata di progetto.

Nella diga di Trezzo sull'Adda il volume di Regolazione è pari a 100'000 m³. Si tratta di un valore modesto, considerata l'entità del bacino idrografico a monte e il regime fluviale dell'Adda. Questo deriva dalle intrinseche caratteristiche dell'opera, specificamente pensata e realizzata come traversa fluviale ad uso idroelettrico.

8.1.2.3. *Portate caratteristiche degli scarichi*

Le portate degli scarichi della traversa sono riportate nella seguente Tabella 53. In particolare sono riportate le portate massime esitabili dagli scarichi di superficie e di fondo e la portata massima compatibile con l'alveo a valle. La portata di attenzione può essere definita come il valore del deflusso in uscita dalla diga oltre la quale il gestore è obbligato ad attivare specifiche procedure di allerta, perché tali valori possono avere effetti significativi sul corso d'acqua a valle (innalzamenti rapidi del livello, rischio per persone o opere, interferenze con attraversamenti, ecc...).

Tabella 53. Portate caratteristiche degli organi di scarico e dell’alveo a valle della diga di Trezzo sull’Adda

Portata massima scarico di superficie (alla quota di massimo invaso)	1.021 m ³ /s
Portata massima scarico di fondo (alla quota di massimo invaso)	331 m ³ /s
Portata massima transitabile in alveo contenuta nella fascia di pertinenza idraulica	600 m ³ /s
Portata di attenzione scarico diga	450 m ³ /s
Soglie incrementali portata di attenzione scarico diga	150 m ³ /s

8.1.2.4. Inquadramento dello scenario di evento

Lo Scenario Rischio Diga fa riferimento ad “eventi, temuti o in atto, coinvolgenti l’impianto di ritenuta o una sua parte e rilevanti ai fini della sicurezza della diga e dei territori a valle⁴⁴”, tali quindi da compromettere, anche solo parzialmente, la stabilità e la sicurezza dell’opera.

Il potenziale collasso della struttura può essere attribuito a diversi fattori e/o circostanze. In prima analisi le principali cause associate al Rischio Diga sono:

- Collasso, anche parziale, o comparsa di danni all’impianto di ritenuta o a specifiche opere costituenti l’impianto stesso, o di fenomeni franosi che determinino il rilascio incontrollato di acqua o che inducano ragionevolmente ad ipotizzare l’accadimento di un evento catastrofico, con rischio di perdite di vite umane o di ingenti danni a valle dell’opera.
- Comportamenti anomali, presunti o rilevati, dello sbarramento, compresa la fondazione, o delle opere complementari e accessorie o delle sponde del serbatoio o significativi malfunzionamenti degli organi di scarico.
- Infiltrazioni, spostamenti, lesioni o movimenti franosi o ogni altra manifestazione interessante lo sbarramento (comprese le fondazioni), gli organi di scarico o altre parti dell’impianto di ritenuta che facciano temere o presumere la compromissione della tenuta idraulica o della stabilità delle opere stesse, o comunque la compromissione delle funzioni di regolazione dei livelli dell’invaso.
- Movimenti franosi interessanti le sponde dell’invaso, compresi i versanti sovrastanti, che possano preludere alla formazione di onde con repentinii innalzamenti del livello dell’invaso.
- Eventi sismici che, per magnitudo e distanza epicentrale, comportino la necessità di effettuare specifici controlli che mettano in evidenza anomalie o danni “lievi o riparabili”, che non comportino pericolo di rilascio incontrollato di acqua o di compromissione delle funzioni di tenuta idraulica o di regolazione o della stabilità delle opere e delle sponde, o danni “severi e non riparabili” che, pur senza rilascio incontrollato di acqua, facciano temere, anche a causa della loro progressione, la compromissione delle funzioni di tenuta idraulica o di regolazione o della stabilità delle stesse.
- Apporti al serbatoio, in atto o prevedibili, tali da causare il superamento della quota di massima regolazione dell’invaso pari a 149,09 m s.l.m.;
- Apporti al serbatoio tali da far temere o presupporre il superamento della quota di massimo invaso, pari a 149,79 m s.l.m.
- Per ragioni previste nel piano dell’organizzazione della difesa militare o su disposizione del Prefetto per esigenze di ordine pubblico o di difesa civile, o in caso di accadimento di altri eventi, anche di origine antropica, che possano avere conseguenza, anche potenziali, sulla sicurezza della diga.

⁴⁴ Documento di Protezione Civile della Diga di Trezzo sull’Adda (MI). Approvato dalla Prefettura-UTG di Milano il 6 settembre 2023 con decreto n. 272980 (Revisione 2023).



Le ipotesi alla base dei calcoli di simulazione sono riportate in studi di riferimento svolti dal gestore⁴⁵ e i risultati dei calcoli sono ampiamente descritti nel PED. Nel successivo paragrafo si vanno a delineare i principali risultati.

8.1.2.5. Caratteristiche essenziali dello scenario

I calcoli di propagazione sono stati sviluppati lungo una estensione del tratto fluviali a valle della diga di circa 9,3 km, da Trezzo fino alla traversa di Cassano d'Adda, utilizzando complessivamente 22 sezioni trasversali sulla base di rilievi condotti su cartografia regionale in scala 1:10.000, in molti casi ubicate in corrispondenza di ponti, fabbricati e manufatti.

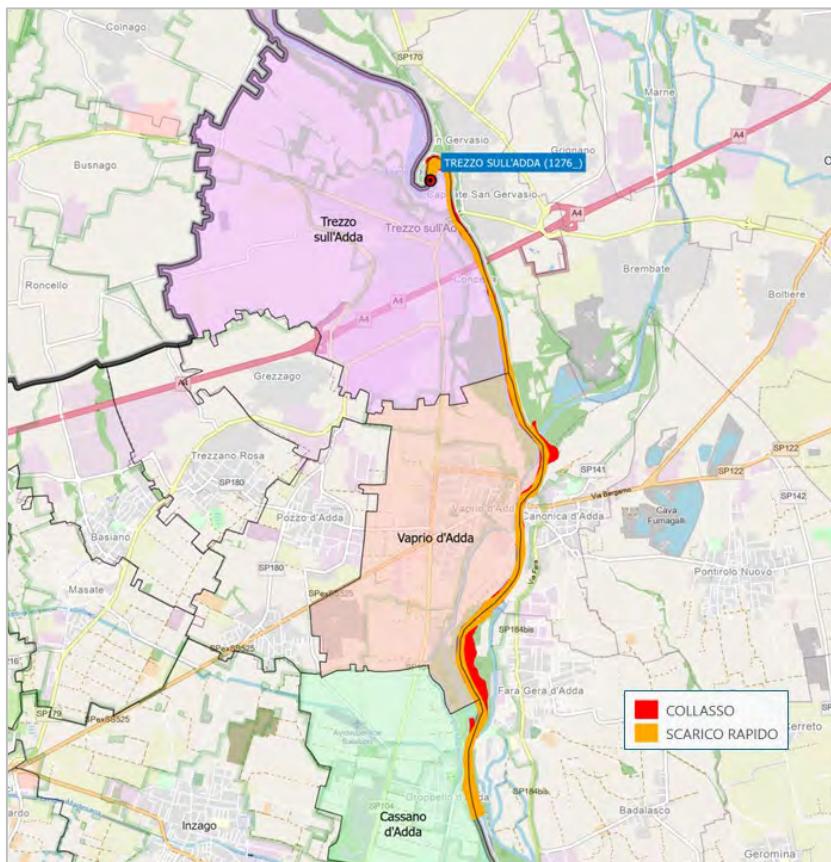


Figura 44. Aree interessate dall'onda di piena relativa all'ipotesi di collasso della diga (rosso) e dalla manovra degli scarichi (giallo).

La Figura 44 mostra le aree interessate dallo scenario come elaborato da Regione Lombardia. I territori interessati dalle aree di allagamento conseguenti ad ipotetico collasso della Diga di Trezzo sull'Adda ovvero da manovre di emergenza di apertura degli scarichi sono

- Trezzo sull'Adda
- Vaprio d'Adda
- Cassano d'Adda

⁴⁵ Studi onda di piena per apertura degli scarichi e per collasso ai sensi delle Circ. Min. LL.PP. 1125/86, Circ. Min. LL.PP. 352/87 e Circ. Pres. Cons. Min. DSTN/2/22806. Enel Ricerca – Polo Idraulico e Strutturale per conto di ENEL DPI Alpi Nord (1999)

per quanto attiene al territorio della Città metropolitana. Vi sono poi Capriate San Gervasio, Canonica d'Adda e Fara Gera d'Adda su la provincia di Bergamo.

Dall'immagine si osserva come si tratti dell'estremo lembo orientale del territorio metropolitano. La fascia interessata dall'inondazione dovuta a manovre di scarico rapido ovvero al collasso ha una larghezza dell'ordine di 150 metri.



Figura 45. Dettaglio dell'inviluppo delle aree a rischio diga (scarico rapido e collasso, in arancio) per il territorio dei due comuni di Trezzo sull'Adda (a sinistra) e Vaprio d'Adda (a destra). La linea bianca indica i limiti comunali.

Si tratta di un dato, questo della larghezza della fascia interessata che, se come nel nostro caso, è esteso alla maggior parte dell'alveo studiato dal modello numerico, risulta ragionevolmente confortante rispetto al potenziale impatto di questi tipi di fenomeni che si estendono, alle volte per chilometri sulla pianura ai due lati dell'alveo.

I risultati della simulazione evidenziano in sostanza come il deflusso della corrente di piena conseguente al collasso della diga risulti sostanzialmente contenuto entro le sponde o che interessi al più le aree naturali prospicienti le rive. Solo localmente gli allagamenti risultano più estesi, coinvolgendo sia zone boscate, come alla confluenza del Brembo tra Comuni di Capriate e Canonica d'Adda (in provincia di Bergamo).

I centri abitati metropolitani più direttamente interessati sono Trezzo e Vaprio. Dalla sovrapposizione dello strato informativo disponibile sul geoportale della Regione, sulle foto aree della zona, si osserva come l'interazione sia in effetti modestissima.

Per ogni ulteriore informazione specifica e per il modello di intervento, si rimanda al PED reperibile, con tutti i relativi allegati, al seguente link

<https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/istituzione/Giunta/sedute-delibere-giunta-regionale/DettaglioDelibere/delibera-1459-legislatura-12>.

Unità 8.1.3. La diga di Pusiano

8.1.3.1. Generalità

La Diga di Pusiano o Cavo Diotti, si trova nel comune di Merone, in provincia di Como.

Le caratteristiche della Diga di Pusiano sono state descritte in questa relazione nel paragrafo dedicato alla idrografia del Lambro. Ricordiamo qui che l'opera, una delle più antiche grandi dighe italiane, risale al 1811 e presenta caratteristiche del tutto particolari. Per lungo tempo ha svolto una funzione prevalentemente irrigua, garantendo le portate necessarie all'agricoltura lungo il corso del Lambro nei territori a valle del Lago, oltre che di alimentazione dei numerosi mulini presenti lungo la l'asta fluviale.



A partire dal secolo scorso, seguendo la crescente urbanizzazione del territorio, il “Cavo Diotti” ha iniziato ad assumere una funzione strategica in termini di mitigazione del rischio idraulico attraverso la laminazione delle piene. In particolare si tratta delle aree di valle più densamente abitate, inclusi gli insediamenti urbani di Monza, Cologno Monzese e Milano.

Abbiamo più sopra accennato che la regolazione del Lago di Pusiano mediante il “Cavo Diotti” è stata individuata da Regione Lombardia nel 1999 come opera prioritaria per la protezione idraulica dei territori a valle⁴⁶ e l’intera opera è stata successivamente inserita nell’assetto di progetto del Fiume Lambro sia da AIPO⁴⁷ che dall’Autorità di bacino del Fiume Po⁴⁸.

La Diga ha sostanzialmente la funzione di “cassa di espansione in linea”, laminando le portate in ingresso al lago attraverso la regolazione delle paratoie. Conviene, a Figura 46 tal proposito, analizzare brevemente le caratteristiche del nodo idraulico centrato sulla diga.



Figura 46. Schema del noto idraulico del Cavo Diotti. In azzurro il corso naturale del Lambro. In arancio il tratto artificiale regolato dalla Diga.

La Figura 46 mostra il sistema idraulico del “Cavo Diotti” evidenziato sull’immagine Google. Si osserva sulla sinistra il percorso dell’emissario naturale del Cavo. Con il tratto di colore arancio, è invece evidenziato il tratto artificiale che è intercettato e regolato dalla diga attraverso la movimentazione delle due paratoie piane. A valle della Diga il Cavo procede in galleria per un tratto di circa 100 metri per poi confluire nell’alveo storico.

⁴⁶ Progetto preliminare di sistemazione idraulica del Fiume Lambro, dalle sorgenti a Villasanta. Regione Lombardia (1999)

⁴⁷ Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d’acqua naturali e artificiali all’interno dell’ambito idrografico di pianura Lambro – Olona. AIPO (2001).

⁴⁸ “Variante Al Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) approvato con DPCM 24 maggio 2001 – Fasce fluviali del Fiume Lambro nel tratto dal Lago di Pusiano alla confluenza con il deviatore Redefossi (art. 17 comma 6ter legge 18 maggio 1989, n. 183).” Approvata con Deliberazione 2/2004 del 3 marzo 2004



Figura 47. La diga di Pusiano, col Cavo Diotti, il manufatto di regolazione e la casa di guardia.

Dal Documento di protezione civile⁴⁹ ricaviamo ulteriori informazioni sul funzionamento idraulico dei due trami che alimentano il nodo.

Il ramo naturale è privo di possibilità di regolazione o gestione. La sua scala di deflusso, ovverosia la formulazione algebrica che lega il livello nel lago alla portata in transito, è determinata dalla stessa geometria dell'alveo nei circa 3 km a valle del lago, con valori di portata compresi tra 0 e 20 m³/s, entro i livelli ordinari dell'invaso.



Figura 48. Lo sbocco della galleria del Cavo Diotti a valle della Diga e confluenza con l'emissario naturale in località Stallo di Merone.

⁴⁹ Documento di Protezione Civile della Diga di Pusiano. Comune di Merone (CO). Approvato dalla Prefettura di Como il 24 marzo 2023 con protocollo n. 0021892 (Revisione 2023)

La diga del Cavo Diotti è dotata di paratoie in grado di consentire, a livelli del lago pari o poco superiori all'incile naturale, una derivazione di portata tra 10 e 25 m³/s, entro i livelli ordinari dell'invaso.

A tal proposito vale la pena di ricordare che il battente che si forma a valle della galleria del Cavo Diotti, alla confluenza con il ramo naturale del Lambro che aggira lo sbarramento, è tale da determinare fenomeni di rigurgito che riducono il deflusso effettivo lungo il Cavo. Già per un valore di battente di monte prossimo a 261,50 m s.l.m. (quota massima di regolazione) la portata effettivamente transitabile nel cavo risulta prossima ad un valore asintotico di 25 m³/s. Per portate in ingresso allago dell'ordine di 230 m³/s (piena duecentennale) tale valore risulta incrementato fino a circa 30 m³/s.

Il manufatto di sbarramento che ospita le paratoie è realizzato in calcestruzzo e ha un'altezza complessiva (pari peraltro all'altezza della diga) di 6,95 m corrispondente al dislivello tra il piano del coronamento (quota 263,75 m s.l.m.) e la soglia del tratto tobinato immediatamente a valle della paratoia (quota 256,80 m s.l.m.). Il manufatto di guardia, posto sopra il corso del Cavo e immediatamente a monte degli organi di regolazione, è costituito da un edificio a due piani: il piano inferiore, a quota 261,45 m s.l.m., allagabile e il piano superiore, a quota 264,35 m s.l.m., superiore al coronamento, destinato ufficio, cabina di regolazione ed eventuale pernottamento del personale di guardia.

8.1.3.2. *Ulteriori dati caratteristici*

Abbiamo parlato, a proposito della diga di Trezzo sull'Adda, del volume di laminazione a tergo di una grande diga, laddove non specificatamente allocato dalla regola di gestione. Si tratta di quello compreso tra la quota di massima regolazione e quella di massimo invaso. La prima è la quota massima normalmente utilizzabile, appunto, per la regolazione dell'invaso da parte del gestore (da qui il nome). Quote superiori implicano difatti l'attivazione degli scarichi di superficie per il ripristino al livello precedente.

La quota di massimo invaso è invece quella corrispondente al massimo livello operativo effettivamente raggiungibile nell'invaso secondo progetto. Se ad esempio consideriamo un impianto dotato di un semplice scarico di superficie a soglia libera, la quota di massimo invaso è quella che garantisce il battente necessario a scaricare a valle la portata di progetto.

Nella diga di Pusiano si tratta di 15.4 milioni di metri cubi, un dato comunque molto significativo. La stima della portata millenaria in entrata nel Lago di Pusiano è dell'ordine di 280 m³/s. Il deflusso attraverso il Cavo Diotti, anche in occasione di innalzamenti significativi del livello dell'invaso, risulta modesto e significativamente inferiore rispetto ai valori massimi in ingresso. Esso svolge tuttavia una funzione fondamentale nella prevenzione dei fenomeni di piena ordinaria del lago dal momento che permette di regolare il livello dell'invaso nei giorni antecedenti gli eventi, sempre ove la previsione lo consenta, con portate stimabili tra 10 e 30 m³/s che risultano sostenibili con la generale dinamica del deflusso del Lambro nell'alveo sub lacuale.

L'evento alluvionale del novembre 2002 in occasione del quale, pur con diversa configurazione rispetto agli attuali scarichi e con un massimo livello pari a 262,98 m s.l.m., la portata complessiva in uscita data da emissario naturale e artificiale ha raggiunto il valore massimo di 45 m³/s a fronte di un picco in ingresso pari a circa 175 m³/s⁵⁰.

⁵⁰ Foglio per le Condizioni di Esercizio e Manutenzione della Diga di Pusiano in Comune di Merone (CO). Approvato dalla Direzione Generale per le Digue il 25 ottobre 2016 con protocollo n. 23024

8.1.3.3. Portate caratteristiche degli scarichi

Le opere di scarico sono costituite da una galleria di sezione policentrica di base 4,00 m, altezza 2,50 m e lunghezza 98 m, regolata all'imbocco mediante due paratoie piane di dimensioni 1.70 m x 2. m. Le paratoie possono essere movimentate mediante un impianto oleodinamico a comando manuale e alimentazione da rete elettrica e gruppo elettrogeno.

Le portate degli scarichi della traversa sono riportate nella seguente Tabella 54. Portate caratteristiche degli organi di scarico e dell'alveo a valle. In particolare sono riportate le portate massime esitabili dagli scarichi di superficie e di fondo e la portata massima compatibile con l'alveo a valle. La portata di attenzione può essere definita come il valore del deflusso in uscita dalla diga oltre la quale il gestore è obbligato ad attivare specifiche procedure di allerta, perché tali valori possono avere effetti significativi sul corso d'acqua a valle (innalzamenti rapidi del livello, rischio per persone o opere, interferenze con attraversamenti, ecc..

Tabella 54. Portate caratteristiche degli organi di scarico e dell'alveo a valle della diga di Pusiano

Portata massima scarico di superficie	Non pertinente
Portata massima scarico di fondo (alla quota di massimo invaso)	25 m ³ /s
Portata massima transitabile in alveo contenuta nella fascia di pertinenza idraulica	30 m ³ /s
Portata di attenzione scarico diga	15 m ³ /s
Soglie incrementali portata di attenzione scarico diga	4 m ³ /s

La quota massima di operatività è pari a 261.50 m³/s, superata la quale la regolazione controllata del Cavo Diotti risulta inefficace in quanto la portata rilasciata risulta prossima ad un limite asintotico di circa 25 m³/s anche determinato dal rigurgito determinato dal controbattente a valle.

La quota di massimo invaso è pari a 261.75 m³/s e risulta prossima alla quota raggiunta nel corso dell'evento del 2014 (261.95 s.l.m.) in occasione del quale si è verificata la parziale esondazione della piazza di Pusiano (piena con tempo di ritorno stimato tra 30 e 50 anni). In tale condizione, ed in sintesi per quanto detto sinora, per i due rami distinti del nodo idraulico di Pusiano le portate massime esitabili sono:

- Cavo Diotti, con paratoie completamente aperte: 25 m³/s;
- naturale emissario del Fiume Lambro: 25 m³/s.

8.1.3.4. Inquadramento dello scenario di evento

Lo Scenario Rischio Diga (come abbiamo già ricordato per il caso di Trezzo sull'Adda) fa riferimento ad “eventi, temuti o in atto, coinvolgenti l'impianto di ritenuta o una sua parte e rilevanti ai fini della sicurezza della diga e dei territori a valle⁵¹”, tali quindi da compromettere, anche solo parzialmente, la stabilità e la sicurezza dell'opera.

Il potenziale collasso della struttura può essere attribuito a diversi fattori e/o circostanze. In prima analisi le principali cause associate al Rischio Diga sono:

- a) Collasso, anche parziale, o comparsa di danni all'impianto di ritenuta o a specifiche opere costituenti l'impianto stesso, o di fenomeni franosi che determinino il rilascio incontrollato di acqua o che inducano ragionevolmente ad ipotizzare l'accadimento di un evento catastrofico, con rischio di perdite di vite umane o di ingenti danni a valle dell'opera.

⁵¹ Documento di Protezione Civile della Diga di Trezzo sull'Adda (MI). Approvato dalla Prefettura-UTG di Milano il 6 settembre 2023 con decreto n. 272980 (Revisione 2023).



- b) Comportamenti anomali, presunti o rilevati, dello sbarramento, compresa la fondazione, o delle opere complementari e accessorie o delle sponde del serbatoio o significativi malfunzionamenti degli organi di scarico.
- c) Infiltrazioni, spostamenti, lesioni o movimenti franosi o ogni altra manifestazione interessante lo sbarramento (comprese le fondazioni), gli organi di scarico o altre parti dell'impianto di ritenuta che facciano temere o presumere la compromissione della tenuta idraulica o della stabilità delle opere stesse, o comunque la compromissione delle funzioni di regolazione dei livelli dell'invaso.
- d) Movimenti franosi interessanti le sponde dell'invaso, compresi i versanti sovrastanti, che possano preludere alla formazione di onde con repentini innalzamenti del livello dell'invaso.
- e) Eventi sismici che, per magnitudo e distanza epicentrale, comportino la necessità di effettuare specifici controlli che mettano in evidenza anomalie o danni "lievi o riparabili", che non comportino pericolo di rilascio incontrollato di acqua o di compromissione delle funzioni di tenuta idraulica o di regolazione o della stabilità delle opere e delle sponde, o danni "severi e non riparabili" che, pur senza rilascio incontrollato di acqua, facciano temere, anche a causa della loro progressione, la compromissione delle funzioni di tenuta idraulica o di regolazione o della stabilità delle stesse.
- f) Apporti al serbatoio, in atto o prevedibili, tali da causare il superamento della quota pari a 261.25 m s.l.m. (quota inferiore di 0.25 m rispetto alla quota di massima regolazione) o comunque il superamento della quota di massima regolazione dell'invaso pari a 261.50 m s.l.m.;
- g) Apporti idrici tali da far temere o presupporre il superamento della quota di massimo invaso, pari a 261.75 m s.l.m.
- h) Per ragioni previste nel piano dell'organizzazione della difesa militare o su disposizione del Prefetto per esigenze di ordine pubblico o di difesa civile, o in caso di accadimento di altri eventi, anche di origine antropica, che possano avere conseguenza, anche potenziali, sulla sicurezza della diga.

La pericolosità derivante dallo Scenario Rischio fa riferimento studi idraulici regressi oltreché ai documenti di pianificazione provinciale di emergenza redatti in occasione dei lavori di ristrutturazione del manufatto della Diga.

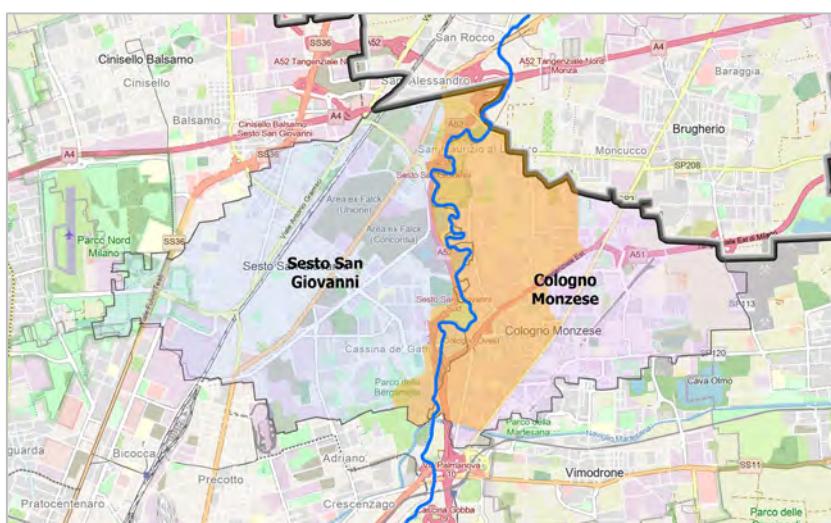


Figura 49. I Comuni metropolitani interessati dallo scenario di collasso della diga di Pusiano.

Gli effetti che deriverebbero da un ipotetico collasso della diga sulle le aree a valle dello sbarramento, risultano confrontabili con quelli relativi evento alluvionale di riferimento del 2002

e, pertanto, assolutamente assimilabili alla piena di progetto con tempo di ritorno di 200 anni utilizzata per la definizione della fascia B del PAI e del corrispondente scenario di pericolosità del PGRA. In sostanza, le aree soggette ad allagamento lungo l'asta fluviale a valle dello sbarramento coincidono con l'areale relativo alla fascia di pericolosità media, corrispondente ad eventi duecentennali, mappato ai sensi della Direttiva Alluvioni.

Conviene innanzitutto considerare che la distanza tra la diga di Pusiano e il limite settentrionale della Città metropolitana è di poco meno di 40 chilometri misurati lungo il corso del Lambro. Questa distanza si traduce, in termini di preannuncio, all'ordine di qualche ora. Se, ad esempio consideriamo una velocità della corrente di piena dell'ordine di 3 m/s, si stima circa 3.45 ore di tempo di propagazione che sale a 5 ore e mezza con velocità medie lungo l'asta di 2 m/s.

Lo scenario si estende nel territorio metropolitano da nord verso sud seguendo il perimetro dell'area a pericolosità media del PGRA fino al limite comunale di Sesto San Giovanni e Cologno Monzese.



Figura 50. Il nodo infrastrutturale nella parte nordorientale del Comune di Sesto San Giovanni. Le aree interessate dallo scenario sono rettangolari in arancio. La linea azzurra evidenzia il corso del Lambro.

I comuni interessati dallo scenario sono dunque Sesto San Giovanni E Cologno Monzese.

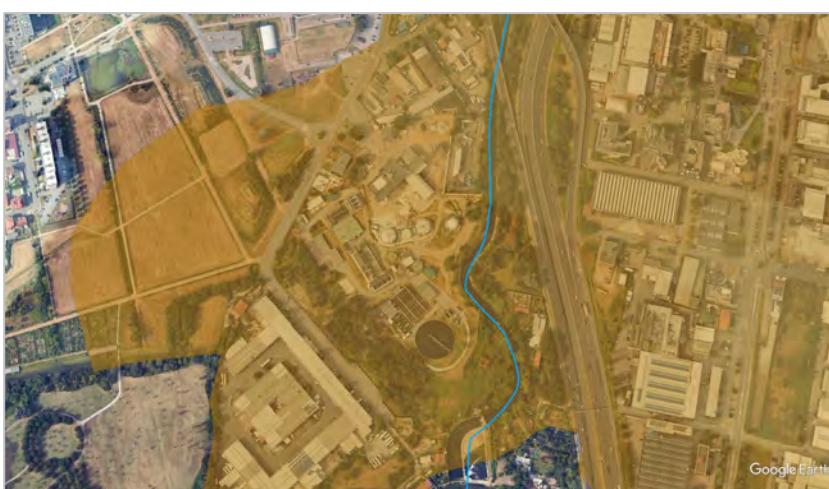


Figura 51. L'impianto Bio-Piattaforma di CAP in comune di Sesto San Giovanni. Le aree interessate dallo scenario sono rettangolari in arancio. La linea azzurra evidenzia il corso del Lambro.

Il territorio di Sesto è interessato essenzialmente sulla fascia perifluviale. È tuttavia da segnalare il coinvolgimento territoriale del nodo infrastrutturale che vede l'intersezione tra la A52 Tangenziale Nord (con il relativo casello) e l'Autostrada A4/E64 con la barriera di Milano est. Il dettaglio è riportato in Figura 50. Anche rilevante è l'impatto sulla bio-piattaforma di CAP, ubicata sul lembo meridionale del territorio sestese che unisce due linee produttive: la prima dedicata al trattamento dei fanghi derivanti dalla depurazione delle acque; la seconda di digestione anaerobica per il trattamento dei rifiuti umidi (FORSU).

L'impatto potenziale sul territorio di Cologno Monzese è di carattere più generale. Risulta particolarmente vulnerabile la zona residenziale ed industriale di San Maurizio al Lambro che tende a subire inondazioni ricorrenti in occasione di eventi di piena del fiume.



Figura 52. L'area di San Maurizio al Lambro nel territorio di Cologno monzese. Le aree interessate dallo scenario sono retinare in arancio. La linea azzurra evidenzia il corso del Lambro.

Per ogni ulteriore informazione specifica e per il modello di intervento, si rimanda al PED reperibile, con tutti i relativi allegati, al seguente link

<https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/istituzione/Giunta/sedute-delibere-giunta-regionale/DettaglioDelibere/delibera-821-legislatura-12>

Tema 8.2. Modello di intervento

8.2.1.1. Approccio alla definizione del modello

La tematica degli eventi relativi alle dighe di ritenuta è strettamente connessa a quella del rischio idraulico di cui al capitolo 3 di questa relazione. Non tanto per l'evento forzante che non necessariamente è connesso alle condizioni meteo-idrologiche e che, anzi, è di carattere prettamente antropico. Ciò che connette i due scenari sono gli effetti, dati dalla propagazione di onde di piena lungo ed i relativi effetti al suolo.

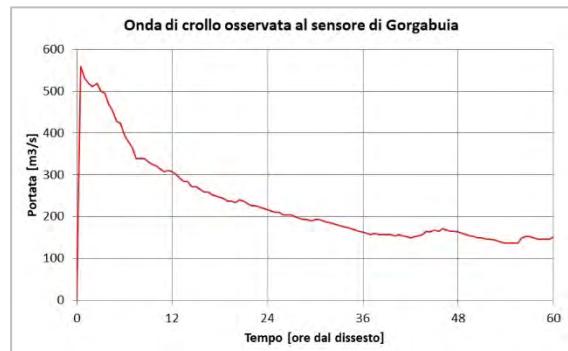


Figura 53. Crollo del muro dello scarico di superficie della diga di Montedoglio sul fiume Tevere e contestuale svuotamento del lago verso il canale fugatore (a sinistra, l'immagine è ripresa diverse ore dopo il collasso). A destra l'idrogramma di piena registrato a Gorgabuia, qualche km a valle della diga. L'evento è del 29 dicembre 2010.

In realtà si tratta di due tipi di fenomeno: Il primo riguarda le onde di piena determinate dalla manovra sugli scarichi, eseguite per verifiche, controlli di funzionalità, ovvero in condizioni di emergenza e un malfunzionamento strutturale dell'opera. Il secondo riguarda casi di malfunzionamento strutturale dell'impianto e il contestuale rilascio impulsivo di rilevanti quantitativi di acqua.



Figura 54. Immagine del dissesto sull'impianto di Montedoglio. L'immagine è ripresa dal coronamento della diga, con il livello di invaso sensibilmente abbassato. Al centro dell'immagine i tre conci del muro dello sfioratore ribaltati sotto l'azione della pressione idrostatica durante il collaudo dell'opera.

Un esempio è quanto occorso presso la Diga di Montedoglio, in alta Val Tiberina quando l'impianto era in corso di collaudo. Una volta raggiunto il livello di massima regolazione, il 29 dicembre 2010, si verificò un importante dissesto del muro in sponda destra dello scarico di

superficie con il ribaltamento di tre conci, il rilascio di circa 55 milioni di metri cubi nell'alveo del Tevere con una portata al picco dell'onda di crollo stimata nell'ordine di $700 \text{ m}^3/\text{s}$.

I punti in comune sono dunque sostanzialmente i seguenti:

- gli effetti temibili al suolo che, fatta salva la dinamica più repentina nel caso delle criticità relative alle dighe, sono sostanzialmente sovrapponibili
 - l'attività di monitoraggio e la relativa infrastruttura sono le stesse;
 - le azioni in capo ai diversi soggetti del Sistema della Protezione civile sono analoghe per le due classi di rischio;

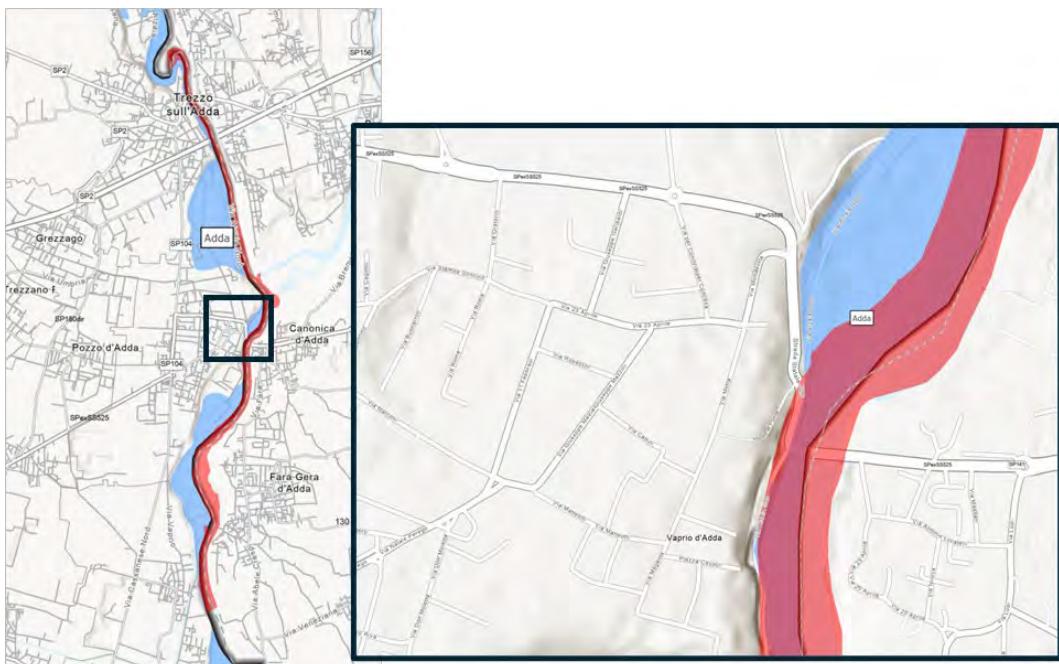


Figura 55. La porzione di territorio presso il Ponte di Via Giacomo Matteotti in Vaprio D'Adda dove lo scenario da collasso della Diga di Trezzo eccede quello del PGRA per una larghezza massima di circa 20 metri e una lunghezza di 60 metri

A questo si aggiunge il fatto che:

- per quanto attiene alla diga di Trezzo sull'Adda, conviene osservare le aree potenzialmente interessate dagli scenari del PED. Per quanto attiene al territorio della Città metropolitana, tali aree, oltre ad avere scarso rilievo sui territori rivieraschi, sono contenute per intero nell'ambito dello scenario "L" del PGRA. Questo salvo un tratto di 60 metri della sede stradale in destra idraulica nei pressi del Ponte di Via Giacomo Matteotti in Vaprio d'Adda.
 - Per quanto avviene invece per gli scenari della diga di Pusiano, lo stesso PED li fa coincidere con le medesime aree con quelle relative alla pericolosità "L" del PGRA.

Lo scenario quindi, per quanto attiene al rapporto tra pericolosità ed esposto, è ampiamente trattato nell'ambito dei macroscenario 3 e 5 del rischio idraulico oltreché, ovviamente, nello stesso PED.

Per quanto riguarda il dettaglio degli attivatori delle fasi e dei compiti delle diverse amministrazioni, ivi compresa la Città metropolitana di Milano, si fa riferimento al PED, al finire di evitare ambiguità e duplicazioni di indicazioni operative.