



# Flood-IMPAT+

*an Integrated Meso & Micro Scale Procedure to Assess Territorial Flood Risk*



**Del.4: Linee guida sull'uso delle mappe di danno per i PGRA: l'analisi costi benefici e multi criteri delle opere di mitigazione strutturale della città di Lodi**

*Settembre 2019*

[www.floodimpatproject.polimi.it](http://www.floodimpatproject.polimi.it)

## Premessa

Un'efficace gestione del rischio alluvionale richiede la programmazione di opportune strategie di mitigazione del rischio (siano esse di tipo strutturale o meno), la cui identificazione e prioritizzazione deve avvenire sulla base di un'analisi comparata dei vantaggi, in termini di miglioramento del benessere collettivo, e dei costi (per la collettività) legati alla realizzazione degli interventi. La Direttiva Alluvioni, ed in particolare il suo decreto attuativo (Dlgs 49/2010), individua nell'analisi costi-benefici lo strumento più idoneo a tale scopo. Tuttavia, le analisi di rischio effettuate nel primo ciclo attuativo della direttiva, e attualmente disponibili, non consentono di effettuare analisi di questo tipo, dal momento che il rischio è valutato soltanto in termini qualitativi e non economici.

Il progetto Flood-IMPAT+ è stato realizzato con l'obiettivo di individuare modalità e strategie di analisi utili per identificare e quantificare le diverse tipologie di danno che si possono produrre in una determinata area territoriale in relazione ad un determinato evento alluvionale. Sono stati privilegiati strumenti per la valutazione quantitativa, e laddove possibile monetaria, dei danni causati dalle alluvioni, in quanto, su questa base, si intendeva sviluppare un modello di analisi del tipo costi-benefici per la valutazione dell'efficacia economica potenziale di strategie di mitigazione della pericolosità degli eventi alluvionali e del danno che ne deriva sui territori interessati. Tali strumenti (descritti nella Del. 3) sono quindi stati applicati all'area di studio di Lodi, al fine di dimostrarne potenzialità e limiti.

## Opera di mitigazione oggetto dell'analisi

Ai fini di verificare l'utilità degli strumenti sviluppati dal progetto per l'analisi costi-benefici delle strategie di mitigazione del rischio, si è scelto di valutare la convenienza economica ovvero l'efficacia del sistema arginale costruito in destra idrografica del fiume Lodi, a seguito dell'alluvione del 2002. Il tracciato dell'opera è rappresentato in Figura 1. Come si evince dalla figura, l'opera è costituita in parte da argini in terra e in parte da muri in calcestruzzo armato sui quali, in alcuni tratti e in caso di evento, vengono montate delle panconature metalliche mobili, allo scopo di raggiungere la quota di arginatura corrispondente ad un evento alluvionale con tempo di ritorno ( $T_R$ ) pari a 200 anni; infatti, per motivi paesaggistici si è deciso di mantenere alcuni dei muri in calcestruzzo armato ad una quota inferiore rispetto a quella di progetto.



Figura 1 – Foto area della città di Lodi con identificazione del tracciato del sistema arginale realizzato in destra idrografica. In giallo sono indicati i tratti in terrapieno, mentre in rosso sono indicati i tratti in calcestruzzo armato

## Approccio metodologico

Per valutare l'efficacia del sistema arginale si è scelto di utilizzare, tra i vari criteri/indici disponibili in letteratura, il rapporto Benefici/Costi (B/C), in quanto il più intuitivo e il più utilizzato nel contesto della mitigazione dei rischi naturali, soprattutto a fini divulgativi.

B/C è definito come il rapporto tra i benefici attesi in seguito alla realizzazione di un progetto e i relativi costi. In particolare, nel campo della mitigazione dei rischi naturali, i costi riguardano tutte le spese necessarie per la realizzazione di un'opera di mitigazione, sia essa strutturale o meno, compresi gli studi preliminari e di progettazione, la realizzazione pratica, la sua manutenzione, i costi indiretti. I benefici consistono invece nella riduzione di danno atteso (ovvero del rischio) legata alla realizzazione dell'opera, e comprendono i danni attesi a tutti gli elementi esposti, sia di tipo diretto che indiretto ovvero di lungo periodo quali, ad esempio, gli impatti sull'attività economica del territorio colpito, i costi legati ad emergenze future, ecc. Per poter essere considerate all'interno di un'analisi costi-benefici, tali voci devono essere quantificabili attraverso unità di misura omogenee di matrice economica. Si ricorre quindi a valutazioni in termini monetari. La valutazione monetaria, peraltro, richiede a sua volta accorgimenti e scelte. Da un lato è relativamente facile quantificare i costi di realizzazione dell'opera di mitigazione, perché i costi dell'intervento (in tutte le sue componenti) sono noti, anche quando si tratti di un progetto. Dall'altro è invece complesso quantificare tutti i benefici, per i quali occorre produrre stime o utilizzare il danno già quantificato durante eventi passati come proxy per realizzare la valutazione monetaria dei benefici attesi per diversi scenari di danno potenziale.

Ai fini del calcolo di B/C, è stata utilizzata la seguente espressione:

$$B/C = \frac{\int D_2 dp - \int D_1 dp}{\frac{C}{T}} \quad [1]$$

dove:

- $D_1$  e  $D_2$  è il danno dovuto ad un evento alluvionale, per differenti probabilità di superamento  $p$  di intensità dell'evento, rispettivamente prima e dopo la realizzazione dell'opera di mitigazione
- $C$  è il costo totale dell'opera
- $T$  è la vita utile dell'opera

L'equazione [1] assume implicitamente un'inflazione pari a zero. Infatti, all'interno di un'analisi costi-benefici sia i costi che i benefici futuri dovrebbero essere attualizzati al momento dell'analisi, attraverso un opportuno tasso di sconto. Tuttavia, secondo l'opinione degli economisti coinvolti nel progetto, è ragionevole assumere che nei prossimi anni l'inflazione si mantenga molto bassa, come ormai accade da diversi anni (si tenga presente che l'eventuale effetto di variazioni del livello di inflazione può essere analizzato mediante analisi di sensitività).

La procedura per il calcolo di B/C prevede in primo luogo di valutare il costo e la vita utile dell'opera; quindi è necessario calcolare il danno nell'area oggetto di studio, in assenza e in presenza dell'opera, per diversi tempi di ritorno ( $T_R$ ) dell'evento alluvionale. Questo consente di calcolare il rischio (ovvero il danno atteso), in assenza e in presenza dell'opera, come l'integrale della curva che si ottiene plottando il danno rispetto alla probabilità di superamento  $1/T_R$ ; maggiore è il numero di scenari considerati, tanto più affidabile sarà la stima del rischio, dato che solo alcuni punti della curva saranno di fatto noti. Il beneficio atteso si ottiene quindi come la differenza tra il rischio in assenza dell'opera e il rischio in presenza dell'opera. Calcolati costi e benefici, è possibile valutare il loro rapporto. Se  $B/C > 1$  i benefici attesi superano i costi e quindi l'opera rappresenta un buon investimento per la collettività; ovviamente tanto maggiore è B/C tanto maggiore sarà la convenienza/efficacia dell'opera.

La stima di B/C richiede quindi i seguenti step:

- valutazione dei costi e della vita utile dell'intervento di mitigazione; in questo caso, l'argine già realizzato ma potrebbe trattarsi anche di un'opera allo stato di progetto esecutivo
- valutazione della pericolosità alluvionale (i.e. estensione dell'area allagata e distribuzione spaziale delle variabili rappresentative l'intensità dell'evento, tipicamente tirante idrico e velocità) per diversi tempi di ritorno, in assenza e in presenza dell'opera
- valutazione del danno in termini monetari, per i diversi scenari di pericolosità considerati, e quindi del beneficio atteso

## **Risultati**

### **La valutazione dei costi**

Come già richiamato in precedenza, l'intervento di mitigazione considerato è l'argine realizzato negli anni seguenti l'evento alluvionale del 2002. Il costo totale dell'intervento, secondo quanto indicato nel progetto esecutivo "Opere di difesa idraulica della città di Lodi sponda destra fiume Adda" (2013), è stato di circa € 4.394.800, di cui € 3.148.400 di spese dirette per l'esecuzione (compresa la spesa di € 66.100 per la realizzazione dei piani di sicurezza). A questo occorre aggiungere € 1.246.400 relativi ad una serie di voci di spesa legate all'insieme delle attività e delle spese accessorie tipiche della realizzazione di opere pubbliche strutturali: attività di supporto alla progettazione, spese e compensazioni per le procedure di espropriazione, interventi di mitigazione/compensazione necessari per la realizzazione dell'opera, direzione lavori e coordinamento della sicurezza, gare d'appalto, ammodernamento servizi esistenti, adeguamento dei prezzi, IVA e costi per eventuali emergenze e voci di spesa non considerate nell'ambito della progettazione.

Ai costi indicati sopra vanno aggiunti quelli necessari per la realizzazione di corsi di qualificazione annuali per il personale assegnato al montaggio del sistema di panconature mobili. Il numero di operatori necessari per assemblare le panconature in tempo utile per evitare l'esondazione è 12 (6 squadre con 2 componenti per squadra). Si è stimato che il corso deve essere frequentato da almeno 18 persone per avere la sicurezza di poter contare su 12 in caso di emergenza. Il costo di ciascun corso di qualifica è stimato in 1.000 € a persona, per un importo totale di 18.000 € / anno. Il totale dei costi annui per la manutenzione è stato stimati in 31.700 € / anno. Ipotizzando una vita utile dell'opera pari a 100 anni, il costo totale annuale dell'opera risulta quindi essere pari a 93.648 €. Non sono stati considerati eventuali costi indiretti.

### **La valutazione della pericolosità alluvionale**

La valutazione della pericolosità alluvionale è stata effettuata tramite modellazione idraulica bidimensionale, mediante il codice di calcolo PARFLOOD (Vacondio et al. 2014, 2017), calibrato sull'evento alluvionale del 2002. Il codice è stato scelto per la sua elevata efficienza computazionale, a fronte di una elevata risoluzione di stima (in questo caso pari a 1 m), in grado di permettere il raggiungimento di un duplice scopo: l'uso di modelli di danno alla micro-scala e la valutazione di un numero significativo di scenari di evento. In particolare, si sono analizzati gli scenari corrispondenti ad un tempo di ritorno pari rispettivamente a 50, 100, 200 e 500 anni, nella condizione con e senza arginatura. Si noti che 200 anni corrispondono al tempo di ritorno di progetto del sistema arginale. A titolo di esempio, la Figura 2 riporta la distribuzione spaziale del tirante idrico ottenuta per  $T_R=200$  anni, nella situazione pre e post realizzazione dell'opera. Dalla figura si evince l'efficacia dell'argine, in termini di riduzione dell'area allagata in destra idrografica, per tempi di ritorni uguali o inferiori a quello di progetto. Per i dettagli dello studio si veda Gattai (2019).

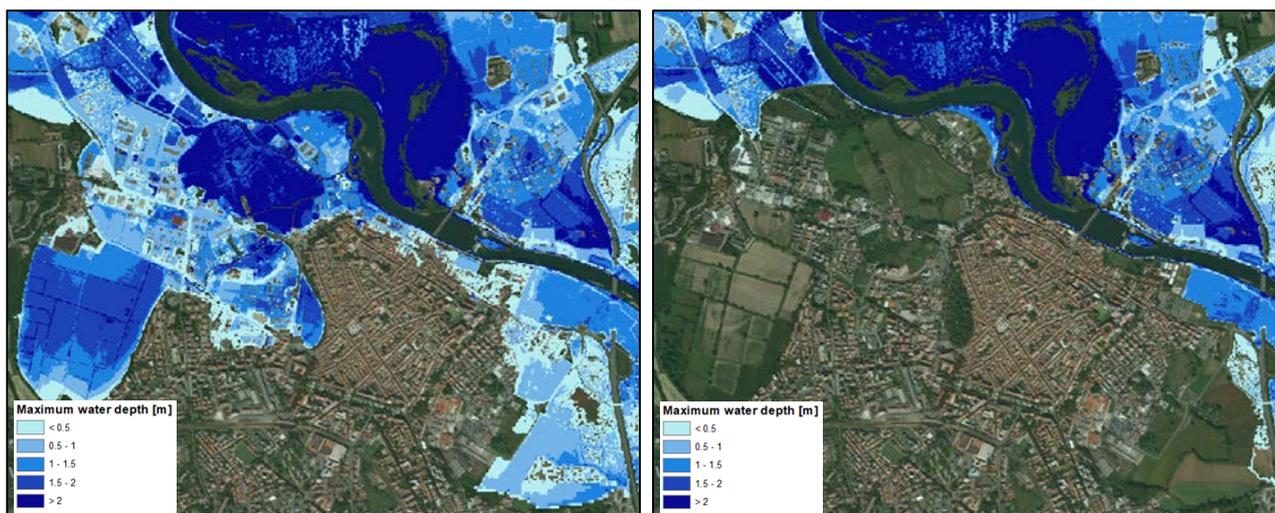


Figura 2 – Estensione dell’area allagata e distribuzione spaziale dei tiranti idrici nella situazione pre (a sinistra) e post (a destra) realizzazione dell’opera, per  $T_R=200$  anni

### La valutazione del danno alluvionale

In linea con gli strumenti di modellazione sviluppati nel progetto, la valutazione del danno è stata effettuata per i soli settori residenziali e agricolo (i.e. colture), limitatamente ai soli danni diretti, utilizzando i modelli simple-INSYDE e AGRIDE-c alla micro scala.

#### La valutazione del danno al settore residenziale

La tabella 1 riassume i dati utilizzati ovvero le ipotesi assunte per l’implementazione del modello simple-INSYDE

Variabile di input	Ipotesi	Dato/fonte
Tirante idrico (h)	Massimo valore sul perimetro dell’edificio	Da modellazione idraulica
Durata evento ( $d_u$ )	Uso di pompe per la rimozione rapida dell’acqua	24 ore
Presenza di contaminanti (q)	Area urbana con elevata probabilità di contaminanti organici e inorganici	Presenza di contaminanti
Area in pianta dell’edificio (A)		Data Base Topografico Regionale
Area del piano seminterrato ( $A_{basem}$ )	Area pari all’area in pianta dell’edificio. Laddove l’informazione sulla presenza della cantina non era disponibile, si è assunta una percentuale dell’area in pianta dell’edificio, pari alla percentuale della totalità degli edifici di Lodi che presentano un seminterrato	Catasto
Livello di manutenzione (LM)	Valore costante per ogni sezione di censimento pari ad “alto” se la somma tra gli edifici con ottimo e buono stato di manutenzione supera la somma degli edifici con mediocre e pessimo livello di manutenzione, “basso” altrimenti	ISTAT 2011
Struttura dell’edificio (BS)	Valore costante per ogni sezione di censimento pari a “muratura” o “cemento armato” in funzione della tipologia prevalente	ISTAT 2011
Livello di finitura (FL)	“Alto” se abitazione di tipo signorile, villino o villa, “basso” altrimenti	Catasto

Tabella 1: Dati e rispettive fonti utilizzati per l’implementazione del modello simple\_INSYDE

Il modello è stato implementato per tutti gli otto scenari di pericolosità considerati (corrispondenti ad un tempo di ritorno pari rispettivamente a 50, 100, 200 e 500 anni, nella condizione con e senza arginatura). A titolo di esempio la Figura 3 riporta le mappe di danno (relative agli scenari con e senza argine) per un tempo di ritorno pari a 200 anni; dalla figura si evince come per tempi di ritorno inferiori ai 200 anni (ovvero al tempo di ritorno di progetto dell'argine) i danni in destra idrografica vengano completamente evitati; per maggior dettaglio si veda Gattai (2019).

I risultati della valutazione sono invece riassunti in Tabella 2, riportante il danno totale al settore residenziale, nella condizione con e senza arginatura, in funzione del tempo di ritorno dello scenario considerato. I risultati mostrano una significativa riduzione del danno (intorno al 50%) per tutti i tempi di ritorno, dovuta appunto all'efficacia del sistema arginale nell'evitare o limitare l'esondazione del fiume Adda in destra idrografica.

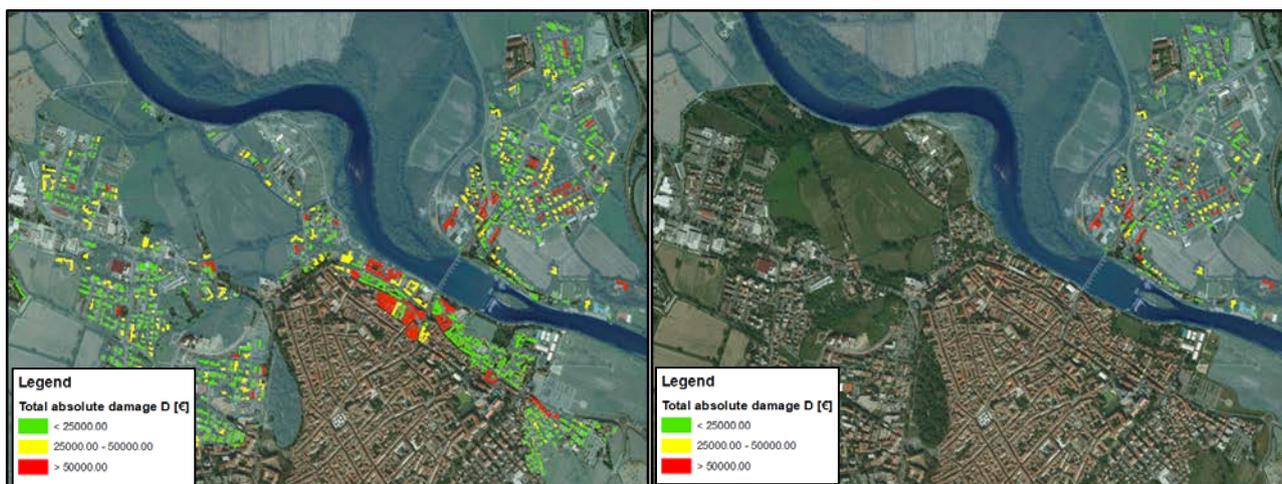


Figura 3 – Mappa del danno al settore residenziale nella situazione pre (a sinistra) e post (a destra) realizzazione dell'opera, per  $T_R=200$  anni

Tempo di ritorno	Danno senza argine [M€]	Danno con argine [M€]	Riduzione del danno [%]
50	12,00	5,89	51,0 %
100	13,58	6,76	50,3 %
200	15,98	7,63	52,2 %
500	18,80	9,06	51,8 %

Tabella 2: Danno al settore residenziale, per diversi tempi di ritorno dell'evento alluvionale, nella condizione con e senza arginatura

A partire dai risultati ottenuti in Tabella 2 è stato possibile ricavare la curva danno-probabilità di superamento per il settore residenziale, nella condizione con e senza argine (Figura 4), sotto le ipotesi di variazione lineare del danno tra i punti a valore noto, e danno pari a zero per un tempo di ritorno pari a 20 anni ( $p=0.05$ ). Infatti, dallo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda" (AdBPo, 2004) risulta che per  $T_R \leq 20$  anni nessun edificio residenziale viene raggiunto dall'acqua.

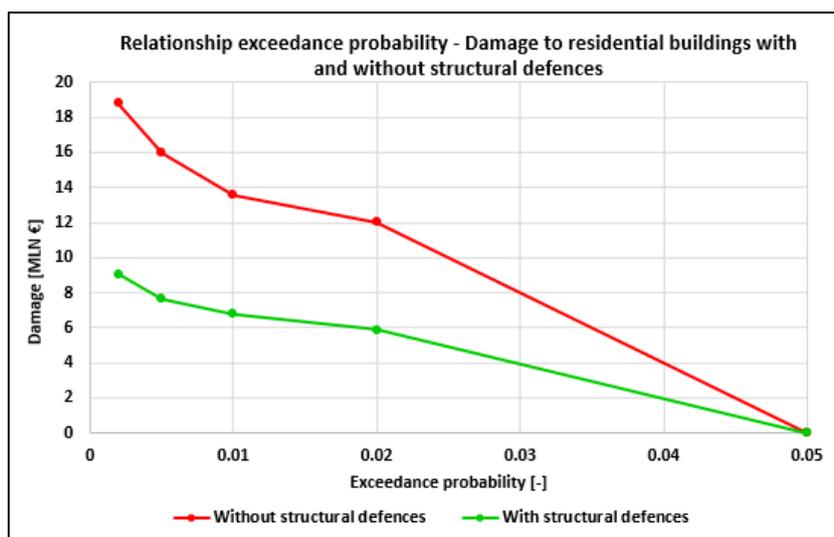


Figura 4 – Curva danno-probabilità di superamento per il settore residenziale, nella condizione con (verde) e senza (rosso) argine

### La valutazione del danno al settore agricolo

La Tabella 3 riassume i dati utilizzati ovvero le ipotesi assunte per l'implementazione del modello AGRIDE-c.

Variabile di input	Ipotesi	Dato/fonte
Tirante idrico (h)	Valore medio sulla particella castale	Da modellazione idraulica
Periodo di occorrenza	Mese in cui storicamente si sono verificati con maggior frequenza eventi con portata superiore agli 800 m <sup>3</sup> /s (TR<20 anni), corrispondente al mese di Novembre	ARPA - Livelli idrometrici del fiume Adda in corrispondenza del ponte vecchio
Durata evento (d <sub>u</sub> )	Irrilevante nel mese di Novembre, data la vulnerabilità delle specie considerate dal modello in questo periodo dell'anno, indipendente dalla durata dell'evento	
Area particella	Area da catasto	Database SIARL (Sistema Informativo Agricoltura Regione Lombardia)
Specie coltivate	Tipologia e area come da catasto	Database SIARL (Sistema Informativo Agricoltura Regione Lombardia)
Tecnica di preparazione del terreno	Tecnica più conveniente per l'agricoltore	Minima lavorazione
Strategia di mitigazione	Strategia più conveniente per l'agricoltore	Strategia più conveniente in funzione del periodo e della specie considerata

Tabella 3: Dati e rispettive fonti utilizzati per l'implementazione del modello AGRIDE-c

Il modello è stato implementato per tutti gli otto scenari di pericolosità considerati (corrispondenti ad un tempo di ritorno pari rispettivamente a 50, 100, 200 e 500 anni, nella condizione con e senza arginatura). A titolo di esempio la Figura 5 riporta le mappe di danno (relative agli scenari con e senza argine) per un tempo di ritorno pari a 200 anni; per un'analisi di maggior dettaglio si rimanda a Gattai (2019). Dalla figura si evince già qualitativamente come l'efficacia dell'argine ai fini della riduzione del danno al comparto agricolo sia limitata. Tale osservazione è confermata dai risultati in Tabella 4, riportante il danno totale al settore agricolo, nella condizione con e senza arginatura, in funzione del tempo di ritorno dello scenario considerato. I risultati mostrano una riduzione del danno intorno al 10% per tutti i tempi di ritorno, dovuta appunto alla limitata efficacia del sistema arginale a protezione delle aree agricole. È importante sottolineare, tuttavia, che il

danno al settore agricolo è generalmente di un ordine di grandezza inferiore rispetto al danno al settore residenziale, data la vocazione prevalentemente urbana dell'area oggetto di studio.

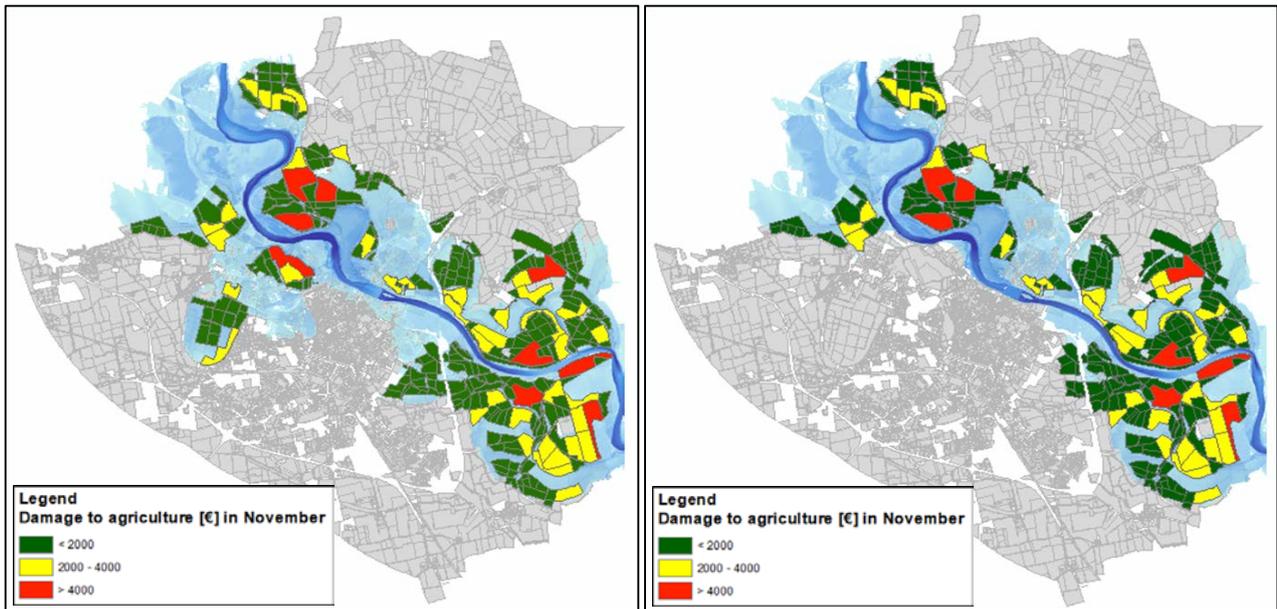


Figura 5 – Mappa del danno al settore agricolo (colture) nella situazione pre (a sinistra) e post (a destra) realizzazione dell'opera, per TR=200

Tempo di ritorno	Danno senza argine [€]	Danno con argine [€]	Riduzione del danno [%]
50	368.500	325.200	11,7 %
100	384.800	338.500	12,0 %
200	395.400	352.800	10,8 %
500	401.400	369.000	8,1 %

Tabella 4: Danno al settore agricolo (colture), per diversi tempi di ritorno dell'evento alluvionale, nella condizione con e senza arginatura

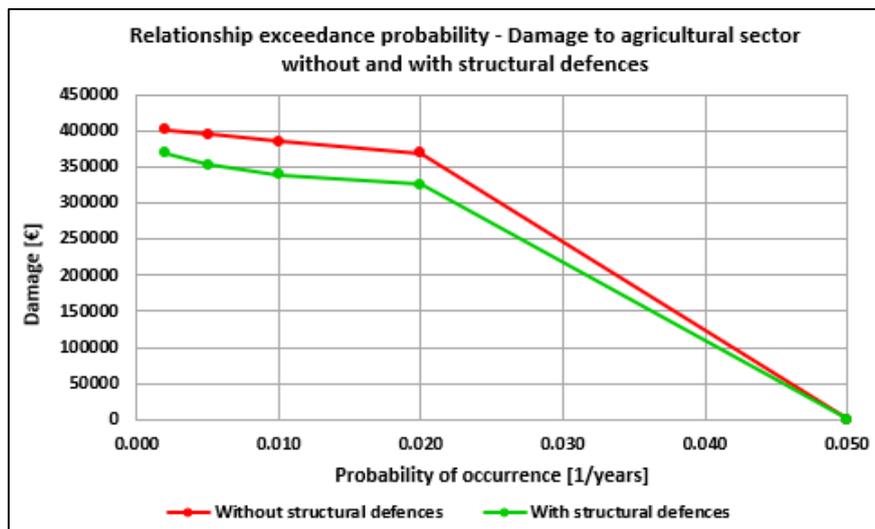


Figura 6 – Curva danno-probabilità di superamento per il settore agricolo (colture), nella condizione con (verde) e senza (rosso) argine

A partire dai risultati ottenuti in Tabella 4 è stato possibile ricavare la curva danno-probabilità di superamento per il settore agricolo, nella condizione con e senza argine (Figura 6). Come per il settore residenziale si è ipotizzata una variazione lineare del danno tra i punti a valore noto, e un danno pari a zero per un tempo di ritorno pari a 20 anni ( $p=0.05$ ).

### **Analisi costi-benefici**

I benefici attesi in seguito alla realizzazione dell'opera sono stati calcolati come la differenza dell'integrale delle curve danno-probabilità di superamento, nella condizione con e senza argine, riportate in Figura 4 e in Figura 6, ovvero come la riduzione di danno atteso (ovvero di rischio) in seguito alla realizzazione dell'opera. La tabella 5 mostra i risultati ottenuti. Complessivamente, il beneficio annuale atteso è pari a 224.700 €, si noti come la riduzione di danno atteso al comparto agricolo sia di due ordini di grandezza inferiore a quella del settore residenziale.

Riduzione danno atteso settore residenziale [€]	Riduzione danno atteso settore agricolo [€]	Riduzione danno atteso [€]
223.300	1.400	224.700

*Tabella 5: Beneficio atteso in seguito alla realizzazione dell'argine, in termini di riduzione del danno diretto al settore residenziale e agricolo*

Considerando il costo annuale dell'opera (pari a 93648 €), si ottiene un rapporto B/C pari a 2.4.

### **Analisi critica dei risultati**

L'analisi svolta evidenzia come, dal punto di vista economico, l'opera arginale realizzata a Lodi sia conveniente, andando a produrre un beneficio annuale 2.4 volte maggiore del costo annuale dell'opera. Tuttavia, è plausibile che tale stima sia notevolmente inferiore alla convenienza/efficacia reale dell'opera, principalmente per due motivi. Il primo è relativo all'aver omissso, nel calcolo del beneficio atteso, i danni relativi ad eventi con tempo di ritorno maggiore di 500 anni; il che deriva dalla necessità di bilanciare il costo computazionale richiesto dalla modellazione idraulica di diversi scenari di evento con l'affidabilità del risultato finale. Il secondo è relativo all'aver considerato, nel calcolo del beneficio atteso, i soli danni diretti al settore residenziale e alle colture, andando ad omettere una molteplicità di altre componenti di danno quali i danni diretti ad altri elementi esposti, i danni indiretti, i danni intangibili. Questo deriva, come noto, dalla mancanza in letteratura, ed in particolare per il contesto Italiano, di strumenti per la quantificazione economica del danno. A tal proposito si sottolinea come, grazie agli strumenti sviluppati dal progetto, sia stato comunque possibile, da un lato, valutare il danno al comparto agricolo, per il quale non sono disponibili altri strumenti in letteratura per il contesto Italiano; dall'altro, valutare il danno al comparto residenziale con uno strumento appositamente sviluppato per il contesto Italiano e di immediata implementazione.

La sottostima del beneficio economico atteso è comunque a favore dell'incertezza insita nella stima di B/C, difficilmente quantificabile, e derivante dall'incertezza nella stima dei vari parametri/input dell'analisi costi benefici, quali le variabili idrologico/idrauliche, il costo dell'opera, la vita utile dell'opera, le variabili di esposizione e vulnerabilità, il danno atteso ed evitato, il tasso di sconto, ecc. Nel caso specifico, un'importante fonte di incertezza risiede nella valutazione del danno alle colture ed è legata all'impossibilità, con l'attuale conoscenza delle variabili idrologico/idrauliche ed in particolare della frequenza degli eventi di piena, di tenere in debito conto la variazione del danno atteso in funzione dello stadio vegetativo delle colture al momento dell'evento, ovvero della stagione considerata (si veda Gattai, 2019 per la valutazione dello scenario con piena in Aprile). A tal fine, si sottolinea la necessità di disporre in futuro di tempi di ritorno

stagionali. Un'ulteriore significativa fonte di incertezza è legata all'adozione, per alcuni parametri di vulnerabilità degli edifici residenziali, di valori costanti per sezione di censimento, data l'indisponibilità di informazioni alla micro scala.

Alla luce di queste considerazioni è importante sottolineare come, allo stato attuale della conoscenza, i risultati di un'analisi costi benefici come quella qui condotta non debbano mai essere adottati in termini assoluti, bensì in termini relativi, per confrontare l'efficacia/convenienza di diverse opere di mitigazione ovvero strategie di intervento attraverso un'analisi per scenari. Nel progetto (si veda Gattai, 2019), ad esempio, è stata valutata l'efficacia/convenienza dell'argine costruito in destra idrografica a Lodi anche nello scenario in cui che si proceda, in futuro, all'urbanizzazione di nuove aree "protette" dall'argine, a causa del cosiddetto "levee effect".

L'analisi critica dei risultati è senza dubbio supportata anche da un'analisi di sensitività dei dati in input. Nel caso in oggetto, ad esempio, data l'elevata incertezza sulla vita utile della porzione di argine in cemento armato, si è provveduto ad identificare il limite minimo della vita utile dell'opera tale per cui si avesse ancora un rapporto B/C favorevole (ovvero maggiore di uno), pari nello specifico a 25 anni.

Ai fini della valutazione dell'efficacia/efficienza di un'opera di mitigazione, i danni non quantificabili in termini economici potrebbero comunque essere considerati all'interno di una più ampia analisi multi-criteri. A titolo di esempio, è stato calcolato il beneficio atteso in seguito alla realizzazione dell'opera anche in termini di:

- riduzione del valore esposto delle attività economiche
- riduzione della popolazione esposta
- riduzione di infrastrutture stradali esposte
- riduzione di infrastrutture strategiche esposte
- riduzione del patrimonio culturale esposto

I risultati sono riassunti in Tabella 6.

Elemento esposto	Unità di misura	Beneficio atteso (riduzione %)			
		T <sub>R</sub> = 50	T <sub>R</sub> = 100	T <sub>R</sub> = 200	T <sub>R</sub> = 500
Attività economiche	Valore esposto [€]	48,2	51,1	67,9	76,4
Popolazione totale	Unità [abitanti]	60,8	62,9	69,7	66,5
Popolazione vulnerabile	Unità [abitanti]	61,2	63,9	71,4	69,6
Stranieri	Unità [abitanti]	65,3	68,1	72,4	61,5
Strade	Lunghezza [km]	31,8	35,4	36,1	34,7
Infrastrutture strategiche	Unità [numero siti]	50,0	51,0	53,4	55,4
Patrimonio culturale	Unità [numero siti]	45,8	46,4	50,0	51,4

Tabella 6: Beneficio atteso in seguito alla realizzazione dell'argine, in termini di riduzione della consistenza/valore degli elementi esposti

Per quanto riguarda le attività economiche il valore esposto è stato calcolato come somma del valore delle strutture e dei contenuti, a partire dai dati ISTAT nazionali per classe ATECO, dopo aver attribuito ad ogni attività economica in Lodi la rispettiva classe. Il valore calcolato rappresenta quindi il massimo danno diretto (ovvero il danno potenziale) alle attività economiche esposte, e non il danno reale che potrebbero subire tali attività. La tabella mostra un beneficio atteso rilevante, compreso tra circa il 50% e il 75%, in funzione del tempo di ritorno dell'evento alluvionale. È stato inoltre calcolato il beneficio atteso relativo ai due indicatori "valore delle strutture" e "valore dei contenuti" separatamente (si veda Gattai, 2019). Ne è emerso che, in assenza dell'argine, il danno potenziale ai contenuti rappresenta una quota tra il 20% e il 26% del danno totale stimato mentre in presenza dell'argine il peso relativo di questo valore tende ad aumentare, passando ad una quota tra il 27% e il 30% del totale. L'opera strutturale sembra quindi più efficace nel ridurre il danno alle strutture. Ovviamente, il beneficio andrebbe ad incrementare ulteriormente se si andassero a valutare i danni indiretti evitati, dovuti, ad esempio, all'interruzione dell'attività economica. In merito, non sono

disponibili strumenti di valutazione standard in letteratura, essendo il tema di forte interesse per la ricerca attuale nel settore.

Per quanto riguarda invece la popolazione, a partire dai dati ISTAT per sezione di censimento, è stato calcolato il beneficio atteso in termini di (i) popolazione totale esposta, (ii) popolazione vulnerabile esposta (laddove, secondo la letteratura internazionale, sono state considerate maggiormente vulnerabili le fasce di età corrispondenti a bambini ed anziani) e (iii) popolazione straniera esposta (anch'essa individuata tra le fasce più vulnerabili della popolazione nella letteratura internazionale in materia). I risultati mostrano anche in questo caso un beneficio atteso significativo, dell'ordine del 60-70%, in funzione del tempo di ritorno dell'evento alluvionale. Il beneficio andrebbe ad aumentare ulteriormente se, oltre alla popolazione residente in Lodi, si considerasse la popolazione fluttuante ovvero chi si reca in città quotidianamente per motivi di lavoro, studio, svago o per accedere ai servizi offerti dalla città. Tuttavia, non sono state identificate fonti di dati utili a tale scopo.

Il beneficio atteso per il settore strade è stato invece calcolato come la riduzione di chilometri stradali esposti, a partire dai dati vettoriali contenuti nel Data Base Topografico Regionale. In questo caso si hanno percentuali di riduzioni inferiori, nel range del 30-35%, in funzione del tempo di ritorno dell'evento alluvionale. Tuttavia, è importante sottolineare come, in caso di alluvione, il danno alle infrastrutture stradali sia soprattutto di tipo indiretto e legato all'interruzione del flusso veicolare in corrispondenza di archi stradali critici/strategici. Anche in questo ambito, si osserva una carenza di strumenti di modellazione. Un primo approccio modellistico al problema è stato proposto all'interno del progetto Flood-IMPAT+, con riferimento alla scala provinciale (Frattari, 2019). I risultati mostrano come l'interruzione di archi stradali critici/strategici, a causa dell'esondazione del fiume Adda, comporti ripercussioni sistemiche in termine di riduzioni/aumenti dei flussi veicolari sulla rete di trasporto, anche all'esterno della provincia di Lodi, con significativi impatti economici. Tra le infrastrutture strategiche esposte, in funzione dei dati disponibili nel Data Base Topografico Regionale e in Openstreet maps, sono state considerate: le attività commerciali per la grande utenza (quali hotels, supermarket e banche), le strutture sanitarie, le stazioni di Polizia Locale, Carabinieri e Guardia di Finanza, i servizi pubblici (quali scuole, università, centri di ricerca e tribunali), le strutture sportive e i luoghi di culto. Il beneficio atteso, in termini di unità esposte, è dell'ordine del 50-55%, in funzione del tempo di ritorno dell'evento alluvionale. Tuttavia, è importante sottolineare (si veda Gattai, 2019 per maggior dettaglio) come, per eventi con tempo di ritorno uguale o inferiore ai 200 anni (i.e. tempo di ritorno di progetto dell'opera), l'esposizione delle strutture sanitarie e delle stazioni di polizia, determinanti nella fase di gestione dell'emergenza, è del tutto annullata. Anche in questo caso la valutazione dei danni indiretti in termini, ad esempio, del numero di utenti o dell'area di competenza della struttura interessata dall'evento, andrebbe ad aumentare significativamente il beneficio atteso.

Infine, anche per quanto riguarda il patrimonio culturale, in funzione dei dati disponibili nel Data Base Topografico Regionale, il beneficio atteso è stato calcolato in termini di riduzione delle unità esposte, includendo tra queste: le architetture industriali, le architetture residenziali, le strutture religiose, gli edifici rurali e le infrastrutture storiche. I risultati mostrano un beneficio atteso, compreso tra circa il 45% e il 50%, in funzione del tempo di ritorno dell'evento alluvionale. A questo dato "numerico" corrisponde peraltro un elevato valore diretto e indiretto integrato nel patrimonio culturale, che fa riferimento a elementi quali l'antichità dei manufatti, la loro unicità, la presenza di opere d'arte e valori di tipo storico e culturale.

In ogni caso, è importante sottolineare come il risultato di una analisi multi criteri che tenga conto, oltre della riduzione attesa del danno quantificabile in termini economici, anche delle componenti appena descritte dipende dal peso dato alle diverse componenti del beneficio dai portatori di interesse ovvero dal decisore politico; una tale analisi esula dagli scopi del progetto.

Nonostante i limiti dell'analisi finora discussi, è evidente come l'implementazione dei modelli sviluppati nel progetto Flood-IMPAT+ consenta una prima valutazione, in termini economici, dell'efficacia ovvero della convenienza delle opere di mitigazione del rischio, operazione non possibile con le attuali valutazioni di rischio, di tipo qualitativo, disponibili all'interno dei PGRA. Si sottolinea inoltre come la procedura e i modelli

implementati siano del tutto applicabili ed adattabili ad altri contesti Italiani, garantendo la consistenza di stima e quindi la confrontabilità tra diversi ambiti/scenari necessaria da una prioritizzazione degli interventi.

### **Conclusioni**

Le valutazioni sviluppate nel presente caso studio suggeriscono, di fatto, che la somma dei benefici potenziali, se vengono considerate tutte le categorie di danno diretto, indiretto e sistemico atteso (cioè potenziale, in caso si verifichi l'evento alluvionale), appare sempre maggiore dell'insieme dei costi per interventi di mitigazione, anche di tipo strutturale e comprensivi dei costi di manutenzione ordinaria. Inoltre l'evidenza del "danno evitato" è una forma di rappresentazione di rimborsi futuri che le amministrazioni pubbliche ancora ad oggi e in mancanza di assicurazioni obbligatorie sarebbero chiamati a sostenere in caso di evento. La resilienza e la capacità di resistere e reagire agli eventi naturali in modo da minimizzare i danni e ridurre l'incidenza sulle dinamiche locali, economiche e non solo, è certamente una strategia preferibile rispetto al rimborso dei danni, soprattutto perché il solo rimborso non garantisce la continuità delle attività, anche qui non solo economiche, nel tempo, producendo così un danno sistemico di grande impatto.

### **Riferimenti bibliografici**

*AdbPo (Autorità di bacino del fiume Po) – Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda. 2004*

*Frattari M., La modellazione della rete di trasporto stradale a supporto della gestione del rischio alluvionale, Tesi di laurea specialistica in Ingegneria Civile, Politecnico di Milano, 2019*

*Gattai E., Flood damage assessment in support of the definition of risk mitigation strategies : the case of Lodi, Tesi di laurea specialistica in Civil Engineering for Risk Mitigation, Politecnico di Milano, 2019*

*Vacondio, R., Dal Palù, A., Ferrari, A., Mignosa, P., Aureli, F., Dazzi, S.: A non-uniform efficient grid type for GPU-parallel Shallow Water Equations models, Environmental Modelling and Software, 88, pp. 119-137, 2017*

*Vacondio, R., Dal Palù, A., Mignosa, P.: GPU-enhanced finite volume shallow water solver for fast flood simulations, Environmental Modelling and Software, 57, pp. 60-75, 2014*