

## **La procedura Flood-IMPAT per la valutazione e mappatura del rischio alluvionale**

Daniela Molinari<sup>1</sup>, Lucia Legnani<sup>2</sup>, Francesco Ballio<sup>1</sup>, Scira Menoni<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dip. di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Milano

<sup>2</sup> Polo Territoriale di Lecco, Politecnico di Milano

<sup>3</sup> Dip. Di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano

Contatti: daniela.molinari@polimi.it, lucia.legnani@mail.polimi.it

### **1. Introduzione**

Durante gli ultimi decenni in Europa si sono verificati numerosi eventi alluvionali che hanno provocato danni ingenti in termini di persone colpite, disastri ambientali e perdite economiche. Dal database EM-DAT risulta che solo dal 2000 ad oggi le alluvioni in Europa hanno causato un centinaio di vittime, coinvolto oltre 60'000 persone e provocato danni per 8'000 milioni di euro. Questi fenomeni hanno suscitato un aumento di consapevolezza riguardo la severità delle potenziali conseguenze delle inondazioni ed hanno messo in evidenza la necessità di intraprendere azioni concrete a livello comunitario per affrontare la situazione. Tale aspirazione si è concretizzata nel 2007 con l'emanazione della Direttiva 2007/60/EC (c.d. "Direttiva Alluvioni") che fornisce un riferimento a livello europeo per l'individuazione delle aree inondabili e delle aree a rischio e per la valutazione e la gestione del rischio alluvionale.

All'interno di questo contesto, l'obiettivo del presente contributo è quello di presentare una nuova proposta metodologica, la procedura "Flood-IMPAT: Integrated Meso-scale Procedure to Assess Territorial flood risk" (Legnani, 2012), sviluppata dal Politecnico di Milano (nell'ambito di un progetto di collaborazione con l'Autorità di Bacino del fiume Po) per la quantificazione e la mappatura del rischio alluvionale, coerentemente con quanto richiesto dalla Direttiva Europea 2007/60/EC (c.d. "Direttiva Alluvioni"). Poiché quest'ultima richiede di studiare gli effetti alluvionali a livello di bacino idrografico, la procedura Flood-IMPAT è stata sviluppata con lo scopo di supportare una valutazione del rischio di tipo distribuito su scala media mediante l'utilizzo di modelli alla mesoscala, adatti alla stima del rischio su porzioni di territorio omogenee per destinazione d'uso. All'interno delle mappe di rischio sono inoltre rappresentati anche alcuni oggetti significativi che potrebbero avere forti ripercussioni sull'intero sistema territoriale se danneggiati, quali le reti delle infrastrutture, i beni culturali ed ambientali, le industrie contenenti sostanze inquinanti e le strutture strategiche (ad es: ospedali, scuole..). Tali elementi, date le loro peculiarità, non possono essere analizzati per mezzo di un approccio su mesoscala; tuttavia appare interessante indicarne la posizione per verificare se questi ricadono o meno all'interno delle zone potenzialmente allagabili e costituiscono, quindi, un ulteriore fonte di aggravio.

La procedura è applicabile all'intero territorio nazionale; una prima sperimentazione è stata condotta nel bacino idrografico dell'Adda sopralacuale in Valtellina.

All'interno dei paragrafi seguenti sono descritte brevemente le caratteristiche principali della procedura Flood\_IMPAT e le diverse fasi che la compongono, viene poi dato un esempio dei risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia proposta al caso studio in Valtellina e, infine, vengono individuati i punti di forza della procedura e gli ambiti di ricerca per possibili sviluppi futuri.

## 2. La procedura Flood-IMPAT

La metodologia proposta si basa sull'assunzione che il rischio è il risultato della coesistenza di tre fattori (UNDR0, 1979): (i) la pericolosità ovvero l'esistenza sul territorio analizzato di un fenomeno fisico pericoloso, caratterizzato da una certa intensità, (ii) l'esposizione ovvero la presenza di oggetti e persone potenzialmente esposti al fenomeno pericoloso e (iii) la vulnerabilità ovvero la propensione degli elementi/persone esposti ad essere danneggiati. Coerentemente, la procedura esprime il rischio in termini di danni attesi su di un insieme di elementi esposti, caratterizzati da una determinata vulnerabilità e colpiti da un fenomeno specifico. La procedura permette di includere nell'analisi del rischio tutte le diverse tipologie di danni (Tabella 1); al momento però è stata sviluppata, nel concreto, unicamente la parte di procedura relativa allo studio dei danni tangibili diretti, per i quali alcuni modelli sono già disponibili.

Tipologia danno	Definizione	Esempi
Danni diretti	perdite causate dal contatto diretto con l'evento calamitoso	Danni agli edifici, alle persone
Danni indiretti	perdite dovute all'evento calamitoso, ma non provocate dall'impatto diretto	Interruzione dei servizi, delle attività economiche
Danni tangibili	danni che possono essere facilmente espressi in termini monetari;	Danni agli edifici, alle attività economiche
Danni intangibili	danni a servizi ed oggetti che non possono essere venduti o comprati e a quali non è quindi possibile assegnare un valore monetario	Danni alle persone, all'ambiente, al patrimonio culturale

**Tabella 1: Classificazione dei danni da alluvione (EMA 2003, FLOODSite 2007; Merz et al. 2010, Molinari 2011)**

Coerentemente con la definizione di rischio data, la procedura Flood-IMPAT è costituita da tre fasi principali: l'analisi della pericolosità, l'analisi dell'esposizione e la stima dei danni attesi mediante modelli di vulnerabilità. Le tre fasi sono connesse l'una all'altra per mezzo dei dati di input ed output: in particolare i dati uscenti dalle analisi della pericolosità e dell'esposizione sono utilizzati come informazioni in ingresso per la valutazione dei danni tramite modelli di vulnerabilità (Figura 1). Il procedimento proposto è, in linea teorica, applicabile sia ad uno studio probabilistico del rischio che ad un'analisi deterministica dei danni attesi per un determinato scenario di evento. Nel primo caso i dati di input utilizzati dai modelli (i.e. pericolosità, esposizione e vulnerabilità) e i risultati prodotti devono avere la forma di distribuzioni di probabilità; nel secondo caso, invece, le diverse variabili sono rappresentate dai dati relativi allo scenario scelto.

Ognuna delle tre fasi principali comprende poi al suo interno più operazioni che vengono svolte attraverso l'uso di modelli (rappresentati nello schema di Figura 1 da dei riquadri più piccoli tratteggiati) indipendenti l'uno dall'altro. Nello specifico, per quanto riguarda l'analisi dell'esposizione e la stima dei danni, la procedura prevede di utilizzare modelli differenti per lo studio di diverse categorie di elementi esposti. Questa peculiarità della struttura dà la possibilità di valutare separatamente gli effetti alluvionali sulle diverse categorie di elementi esposti. La procedura permette inoltre anche di calcolare in modo distinto le diverse tipologie di danni (tangibili diretti, tangibili indiretti ed intangibili) e di combinarle insieme solo in un secondo momento per una valutazione complessiva dei danni totali al sistema territoriale esposto. Tale impostazione risulta estremamente flessibile in quanto rende possibile aggiornare o cambiare uno o più modelli utilizzati mantenendo invariati gli altri. Allo stesso tempo la struttura permette di scegliere di volta in volta per quali categorie di elementi esposti valutare gli effetti alluvionali e quali classi di danni prendere in considerazione.

In riferimento al diagramma di Figura 1, ad oggi è stata sviluppata in dettaglio unicamente la parte di procedura relativa all'analisi dei danni tangibili diretti, ulteriori studi sono auspicabili per la definizione di metodologie finalizzate alla stima degli effetti tangibili indiretti ed intangibili. I possibili ambiti di espansione della procedura fin'ora sviluppata sono indicati in grigio nel grafico.

La valutazione dei danni tangibili diretti viene effettuata mediante l'uso di curve di danno alla mesoscala. Queste ultime definiscono, per diverse categorie d'uso del suolo (ovvero per diverse classi di vulnerabilità), la relazione esistente tra l'altezza d'acqua d'allagamento (i.e. la pericolosità) ed il risultante danno atteso. I dati di input richiesti per ogni scenario sono quindi una mappa delle aree allagabili, con l'indicazione dell'altezza di allagamento, e una mappa di esposizione/vulnerabilità indicante la destinazione d'uso del suolo ed il relativo valore economico. La procedura prevede quindi una fase preliminare di analisi ed elaborazione dei dati di pericolosità ed esposizione, finalizzata alla trasformazione delle informazioni reperibili dalle diverse banche dati a livello nazionali in informazioni utilizzabili all'interno dei modelli di danno.

In riferimento alla parte di procedura effettivamente sviluppata (i.e. danni tangibili diretti), la procedura Flood-IMPAT permette di calcolare il valore dei danni totali attesi o un valore parziale di questi, in relazione ad una particolare destinazione d'uso e/o ad un particolare componente danneggiato (struttura o contenuti), secondo le diverse combinazioni riportate in Tabella 2.

	<b>Danni all'area residenziale</b>	<b>Danni all'area industriale/ produttiva/ commerciale</b>	<b>Danni all'area agricola e di allevamento</b>	<b>Danni complessivi a tutte e tre le destinazioni d'uso</b>
<b>Danni alle strutture</b>	Danni alle strutture in zona residenziale	Danni alle strutture in zona industriale	Danni alle strutture in zona agricola e di allevamento	Danni complessivi alle strutture
<b>Danni ai contenuti</b>	Danni ai contenuti in zona residenziale	Danni ai contenuti in zona industriale	Danni ai contenuti in zona agricola e di allevamento	Danni complessivi ai contenuti
<b>Danni alle strutture e ai contenuti</b>	Danni alle strutture ed ai contenuti in zona residenziale	Danni alle strutture ed ai contenuti in zona industriale	Danni alle strutture ed ai contenuti in zona agricola e di allevamento	Danni complessivi alle strutture e ai contenuti

**Tabella 2: Combinazioni di classi d'uso e componenti esposti per le quali è possibile valutare i danni**

Per ciascuna delle combinazioni, è possibile visualizzare i risultati sottoforma di mappe o di grafici, ed aggregati secondo tre criteri differenti: per settori che si sviluppano longitudinalmente al fiume, per comuni e per unità minime di analisi.

Un metodo di visualizzazione può essere preferito rispetto ad un altro a seconda dello scopo per cui viene prodotta la valutazione dei danni. Conoscere la distribuzione dei danni lungo il corso del fiume è utile, ad esempio, per comprendere in che tratti si aspettano danni maggiori in caso di esondazione ed individuare, quindi, le aree in cui è necessario effettuare interventi per la mitigazione del rischio. La rappresentazione per comune, invece, può servire per sensibilizzare i sindaci ed informarli dell'entità dei danni attesi per l'area di loro competenza e, allo stesso tempo, può essere di supporto alla Pubblica Amministrazione per decidere in quale comune stanziare maggiori fondi dedicati a politiche di prevenzione e protezione. Infine, le mappe che rappresentano i danni per unità minima di analisi aiutano ad individuare l'ubicazione esatta delle aree più critiche, che necessitano di essere analizzate più approfonditamente con modelli specifici su microscala.

### **3. Il caso studio**

La procedura Flood-IMPAT è stata applicata, a titolo esemplificativo, al bacino idrografico dell'Adda sopralacuale in Valtellina, utilizzando unicamente l'approccio deterministico. Tale scelta è giustificata dal fatto che, come discusso in precedenza, la procedura è stata sviluppata all'interno di un progetto di collaborazione con l'Autorità di Bacino del fiume Po, finalizzato ad individuare una nuova metodologia per l'analisi del rischio rispondente ai requisiti della Direttiva Alluvioni; quest'ultima richiede di valutare il rischio in modo deterministico per tre diversi scenari di pericolosità.

Un esempio dei risultati ottenuti dall'applicazione della procedura al caso studio è rappresentato dalle mappe e dai grafici nelle immagini da Figura 2 a Figura 5.

Osservando i risultati raffigurati in mappa (Figura 2 e 4) o nei diagrammi (Figura 3) è possibile individuare quali sono le zone del bacino maggiormente critiche in termini di danni economici attesi. In particolare dalla simulazione effettuata risultano come maggiormente critiche le aree situate in corrispondenza dei comuni di Sondrio e Tirano. Individuate le zone maggiormente critiche la rappresentazione dei danni per unità minima di analisi ha permesso poi di identificare quali sono le fonti di rischio maggiore all'interno di queste aree (Figura 5).

Per brevità sono qui presentate unicamente le mappe ottenute relativamente ai danni totali complessivi, a strutture e contenuti di tutte le diverse destinazioni d'uso. Tuttavia le stesse mappe sono state prodotte in riferimento a tutte le combinazioni descritte in Tabella 2 (Legnani, 2012).

### **4. Conclusioni**

La procedura proposta presenta quattro principali punti di forza. In primo luogo, è costituita da diversi modelli indipendenti; questo aspetto la rende estremamente flessibile e permette di modificare o aggiornare una parte della procedura senza stravolgerla completamente. In secondo luogo, la procedura permette di calcolare i danni suddivisi tra classi d'uso del suolo e tipologia di effetti; la possibilità di conoscere separatamente le diverse componenti che costituiscono il danno atteso complessivo è utile per comprendere quali sono le fonti principali di danno in ciascuna zona ed individuare, quindi, azioni di prevenzione e protezione adeguate alle caratteristiche dell'area studiata. Terzo, la procedura permette una stima quantitativa del rischio, indispensabile per lo sviluppo dei Piani di Gestione del Rischio Alluvionale, fine ultimo della Direttiva Alluvioni. Una valutazione di tipo economico permette infatti di individuare le zone più critiche, alle quali dare priorità per l'attuazione di azioni di prevenzione e protezione, di valutare quantitativamente l'effetto di diverse misure volte alla riduzione del rischio ed individuare tra queste quelle più adeguate, per mezzo dell'implementazione di analisi costi/benefici.

Un'analisi di sensitività condotta sul caso studio variando le curve di danno utilizzate, i valori economici assegnati all'esposto e accorpendo o omettendo alcune componenti di danno, ha messo in luce l'adeguatezza della procedura Flood-IMPAT per l'individuazione delle zone più critiche all'interno di un'area potenzialmente allagabile; tuttavia, al momento, utilizzando le curve di danno ed i procedimenti di valutazione dell'esposto proposti (derivanti da letteratura), l'ammontare dei danni stimato non rappresenta il valore reale dei danni che può essere misurato in seguito ad evento alluvionale. La stima economica dei danni attesi ottenuta dalla procedura non può essere quindi utilizzata all'interno di un'analisi costi-benefici; ciononostante, risulta utile a dare un'indicazione quantitativa della

diversa severità delle conseguenze attese in zone differenti e a valutare l'efficacia di eventuali azioni di mitigazione del rischio. Infine, la procedura è applicabile a tutto il territorio nazionale, utilizzando come dati di ingresso informazioni provenienti da banche dati disponibili per tutto il territorio italiano. Questo consente di valutare il rischio in modo omogeneo in tutto il paese e poter così confrontare il livello di criticità di diverse zone.

Gli sviluppi futuri della ricerca sono legati alle attuali criticità della procedura. In riferimento alla parte di procedura già sviluppata per la stima dei danni tangibili diretti, sarebbe opportuno procedere alla validazione dei modelli utilizzati, ovvero alla definizione di nuovi modelli, per la stima dei danni e per il calcolo del valore dell'esposto; ciò consentirebbe di ottenere stime del danno più affidabili. A tal proposito, un ulteriore campo di ricerca è lo studio dell'incertezza dei risultati, finalizzato ad individuare intervalli di confidenza per le soluzioni prodotte dalla procedura proposta. In secondo luogo, al fine di poter effettuare una valutazione globale degli effetti alluvionali, restano ancora da definire le parti del diagramma in Figura 1 relative alla stima dei danni intangibili ed indiretti. Infine, sarebbe opportuno integrare l'analisi del rischio su mesoscala, con un'analisi dettagliata, su microscala, di hotspots significativi.

## **Bibliografia**

- EMA. (2003). *Disaster loss assessment guidelines*. State of Queensland and Commonwealth of Australia.
- Euroepan Parliament and Council. (2007). *Directive 2007/60/EC of 23 October 2007*. L 288/27.
- FLOODsite. (2007). *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods*. FLOODsite Project Report, Number T09-06-01.
- Legnani, L. (2012). *LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SECONDO LA DIRETTIVA ALLUVIONI: una proposta metodologica applicabile al contesto italiano*. Tesi di Laurea Magistrale , Politecnico di Milano.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thieken, A. (2010). Assesment of economic flood damage. *Natural Hazards and earth System Sciences* , 1697- 1724.
- Molinari, D. (2011). *FLOOD EARLY WARNING SYSTEMS PERFORMANCE: an approach at the warning chain perspective*. *PhD Thesis* .
- UNDRO, (1979). *NATURAL DISASTERS AND VULNERABILITY ANALYSIS*, Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator, Geneva.

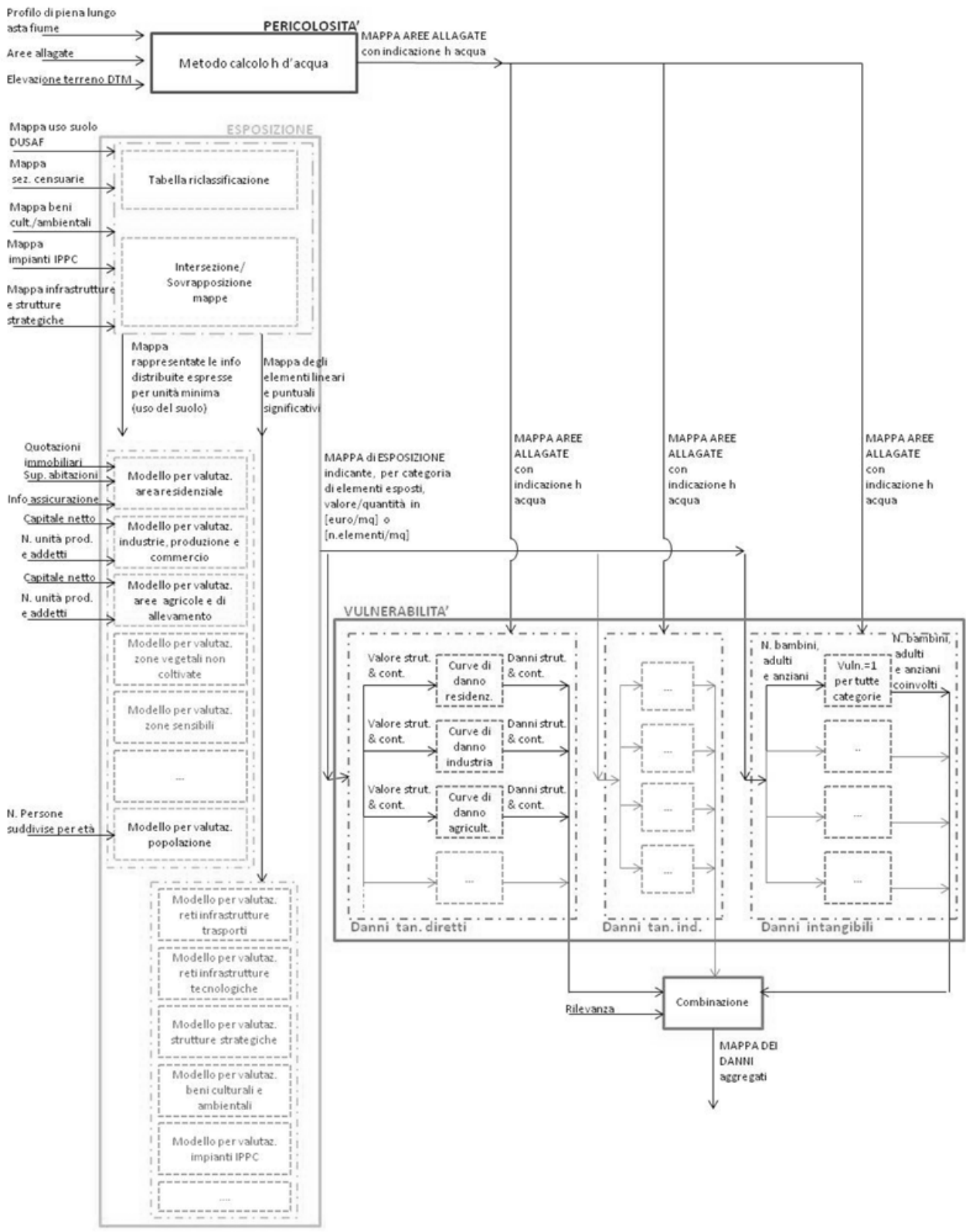
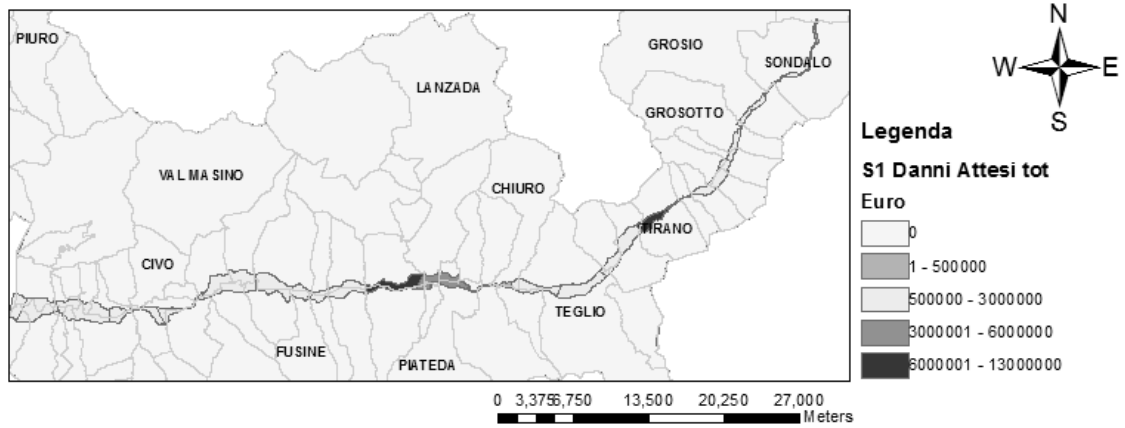
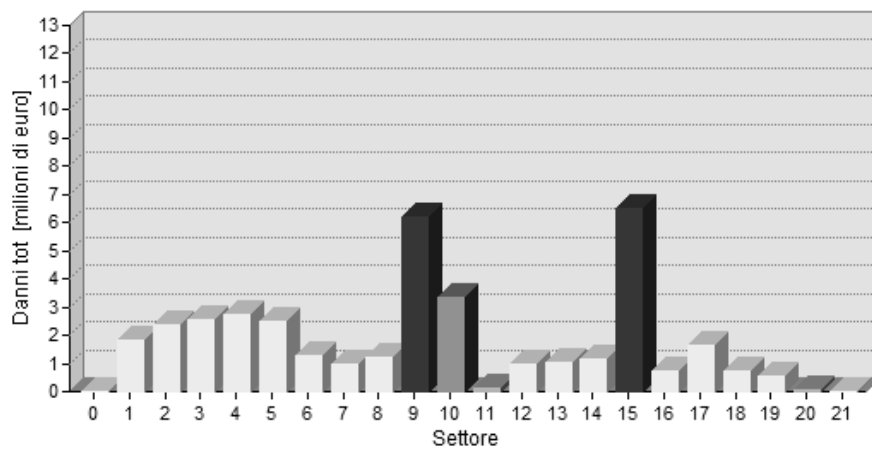


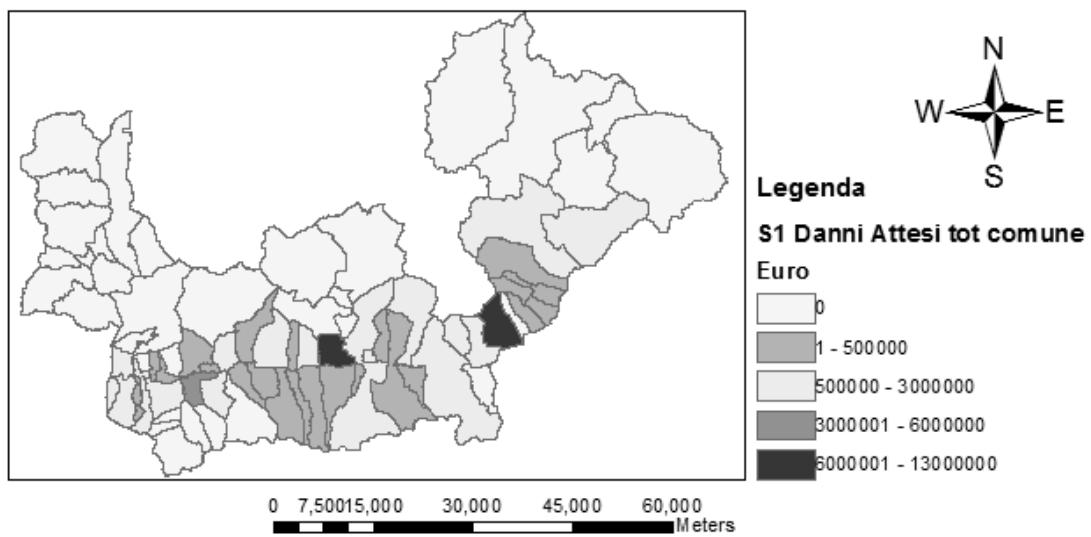
Figura 1: Rappresentazione grafica della procedura Flood-IMPAT



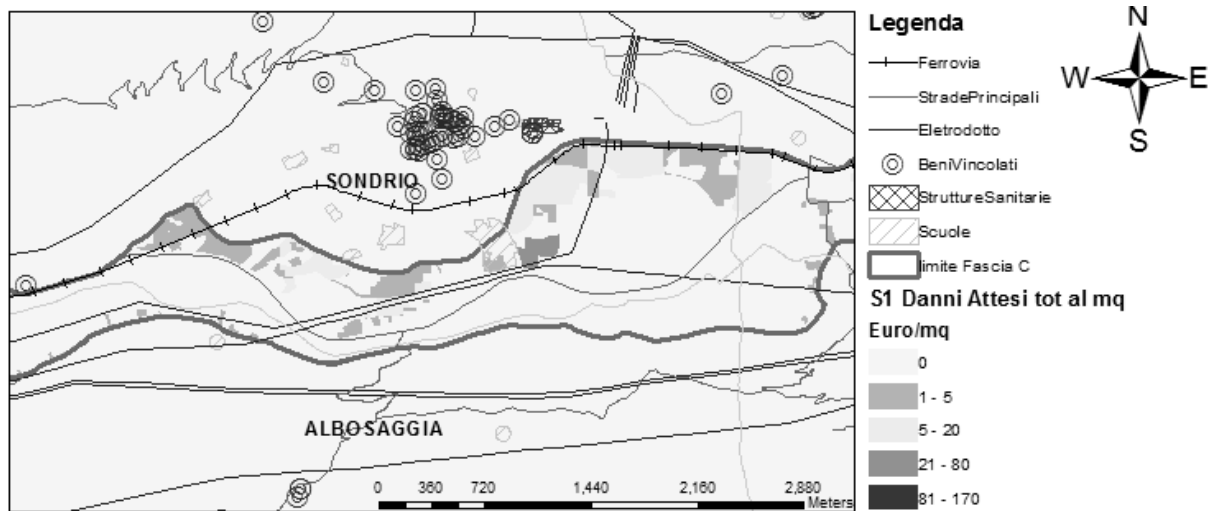
**Figura 2: Mappa rappresentante i danni totali attesi nei diversi settori**



**Figura 3: Grafico rappresentante i danni totali attesi nei diversi settori**



**Figura 4: Mappa rappresentante i danni totali attesi in ciascun comune**



**Figura 5: Particolare della mappa rappresentante i danni totali attesi per unità minima di analisi: zona di Sondrio. Si noti la presenza di elementi puntuali.**