



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.A. 2021/2022

Sessione di Laurea: Marzo/Aprile 2022

**Considerazione sui costi e benefici delle opere
di mitigazione del rischio alluvionale**

Relatore:

Prof. Daniele Ganora

Candidato:

Federico Rubiano

ABSTRACT (IT)

Il rischio alluvionale rappresenta un problema per il territorio di tutto il mondo. Eventi estremi causano danni a persone, beni mobili ed immobili. Per limitare questi danni sono necessarie analisi approfondite dello stato reale del territorio, di previsioni e simulazioni e di messa in campo di sistemi di prevenzione.

Nell'ambito della gestione dei corsi d'acqua, i due principali riferimenti normativi sono la Direttiva Europea 2000/60/CE (Direttiva acque) e la Direttiva Europea 2007/60/CE (Direttiva alluvioni); inoltre, diversi enti operano nell'ambito della gestione dei corsi d'acqua e delle emergenze ambientali che possono verificarsi, come ad esempio: l'ISPRA, le Autorità di bacino, il Dipartimento di Protezione Civile, le Regioni ed alcuni Ministeri.

L'approccio concettuale per l'identificazione del rischio alluvionale si basa sulla conoscenza del territorio, basandosi su dati storici, per esempio per capire quali aree vengono inondate regolarmente, ma aggiornandoli alla situazione ambientale attuale in cui spesso ci sono stati dei cambiamenti nell'uso del suolo. La combinazione della pericolosità (probabilità di accadimento di un evento) e del valore dei beni esposti all'alluvione, porta alla definizione del livello di rischio.

La presente tesi si propone di studiare le metodologie utilizzate in ambito pratico per stimare i danni potenziali da alluvione, con l'obiettivo di quantificare l'effetto protettivo di diverse tipologie di interventi volti a mitigare l'impatto delle alluvioni. Vengono in particolare analizzati diversi modelli utilizzati appositamente per ottenere dei valori di danno ottenuto da eventi alluvionali e per tentare di prevedere l'effetto di eventi futuri. Vengono poi studiati i possibili interventi per la mitigazione dell'impatto alluvionale, consistenti in opere strutturali e interventi non strutturali, con un focus sul sistema delle assicurazioni, molto utilizzato negli altri paesi, ma che in Italia viene preso poco in considerazione.

ABSTRACT (EN)

Flood risk represents a well known worldwide problem. Extrem events cause damage to people, movable and immovable properties. To limit these damages, the analysis of the current state of the territory, forecasts and simulations of flood events and implementation of mitigation systems are necessary.

In the area of river management the two main operational regulations are the European directive 2000/60/CE ("Water Framework Directive") and the European directive 2007/60/CE ("Flood Directive"). In addition, various public authorities operate in the field of river and environmental emergencies management, such as: ISPRA and ARPA (Italian and Regional Environmental Agencies), the Basin Authorities, the Civil Protection Department, the Regions and some Ministries.

The conceptual approach to identify the flood risk is based on knowledge of the territory based on historical data, for example to understand which areas are regularly flooded, but updating them to the evolving environmental condition, as for instance areas affected by land use or change. The risk level is defined as a combination of the hazard (probability of occurrence of an event) and the value of the assets exposed to the flood.

This thesis aims to review the methodologies used in practice to estimate potential flood damage. Furthermore, it aims to quantify the protective effect of different types of mitigation system. Several models are analyzed. These models are used to obtain flood damage value and to predict the effect of future events. The possible mitigation systems are studied. They consist in structural works and non-structural works. Insurance is also studied, as it is already widely used in many countries.

Indice

1. INTRODUZIONE.....	6
2 RISCHIO ALLUVIONALE.....	8
2.1 Identificazione del rischio.....	8
2.2 Valutazione del rischio.....	9
2.3 Metodi di valutazione della pericolosità idrologica e idraulica.....	12
2.4 Le azioni di mitigazione.....	14
3. LEGGI ED ENTI COINVOLTI.....	16
3.1 Stato dell'arte.....	16
3.1.1 Legge 183/1989.....	17
3.1.2 Direttiva 2000/60/CE.....	19
3.1.3 Direttiva 2007/60/CE.....	19
3.2 Enti.....	23
3.3 PGRA: strumento operativo di pianificazione.....	26
3.3.1 Cos'è il PGRA.....	26
3.3.2 Obiettivi del PGRA.....	27
4. STIMA DEL DANNO.....	29
4.1 Introduzione.....	29
4.2 Alcune tipologie di modelli.....	30
5. ANALISI OPERE DI MITIGAZIONE.....	37
5.1 I polder e la gestione del terreno utilizzato...	37
5.2 Opere di laminazione.....	38
5.2.1 Definizione.....	38
5.2.2 Due tipologie di laminazione.....	39
5.3 Canali scolmatori.....	44
5.4 Argini.....	44
5.4.1 Il paradosso dell'argine.....	45
5.5 Opere per la stabilizzazione delle sponde...	46
5.6 Interazione tra la società e il sistema idrogeologico.....	47
5.7 Analisi economica di varie soluzioni e processo decisionale.....	50
6. ANALISI COSTI-BENEFICI: L'ESEMPIO DI LODI.....	55

7.ASSICURAZIONI SUI DANNI DA ALLUVIONE.....	60
7.1 Analisi generale	60
7.2 Flood for NatCat modelling: modellizzazione del rischio di catastrofi naturali	62
8. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....	65
BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA.....	69
RINGRAZIAMENTI.....	72

1. INTRODUZIONE

In Italia, negli ultimi 50 anni (1971-2020), gli eventi calamitosi di frane e inondazioni hanno causato 1.630 morti, 48 dispersi, 1.871 feriti e 320.304 evacuati e senz'altro (Bianchi e Salvati, 2022).

Secondo quanto riportato dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, oggi vi sono oltre 8 milioni di italiani che abitano in aree ad alta pericolosità, di cui 1,3 milioni a rischio di frane e 6,8 milioni a rischio alluvione.

La piattaforma IdroGEO riporta (in tabella 1) i dati in valore assoluto e percentuale di superficie territoriale, popolazione, famiglie, edifici, imprese e beni culturali che sono soggetti a rischio, suddividendoli tra rischio da frane e rischio da alluvioni e soprattutto tra le varie fasce di pericolosità.

Pericolosità e indicatori di rischio						
Frane	TERRITORIO	POPOLAZIONE	FAMIGLIE	EDIFICI	IMPRESE	BENI CULTURALI
Molto Elevata P4	9.494,84 (3,143 %)	499.749 (0,841 %)	206.968 (0,841 %)	223.065 (1,537 %)	31.244 (0,65 %)	5.351 (2,508 %)
Elevata P3	16.890,636 (5,592 %)	803.917 (1,353 %)	340.926 (1,385 %)	342.483 (2,359 %)	53.197 (1,107 %)	7.182 (3,366 %)
Media P2	14.551,493 (4,817 %)	1.720.208 (2,894 %)	727.315 (2,955 %)	562.800 (3,877 %)	127.356 (2,65 %)	10.728 (5,028 %)
Moderata P1	12.555,868 (4,157 %)	2.006.643 (3,376 %)	844.536 (3,431 %)	522.206 (3,598 %)	147.766 (3,075 %)	12.390 (5,807 %)
Aree Attenzione AA	6.987,673 (2,313 %)	676.948 (1,139 %)	271.208 (1,102 %)	522.206 (1,492 %)	45.677 (0,95 %)	2.502 (1,173 %)
P4 + P3	26.385,476 (8,735 %)	1.303.666 (2,193 %)	547.894 (2,226 %)	565.548 (3,896 %)	84.441 (1,757 %)	12.533 (5,874 %)
Alluvioni*	TERRITORIO	POPOLAZIONE	FAMIGLIE	EDIFICI	IMPRESE	BENI CULTURALI
Scenario P3 Tr. 20-50 anni	16.223,869 (5,371 %)	2.431.847 (4,092 %)	1.018.444 (4,138 %)	623.192 (4,293 %)	225.874 (4,7 %)	16.025 (7,511 %)
Scenario P2 Tr. 100-200 anni	30.195,631 (9,996 %)	6.818.375 (11,472 %)	2.901.616 (11,79 %)	1.549.759 (10,676 %)	642.979 (13,379 %)	33.887 (15,883 %)
Scenario P1 Tr. 300-500 anni	42.375,676 (14,029 %)	12.257.427 (20,624 %)	5.226.748 (21,237 %)	2.703.030 (18,621 %)	1.149.340 (23,915 %)	49.903 (23,389 %)

Tabella 1: esposizione al rischio frane e alluvioni, dati 2021

In modo particolare si vede come il 42% delle imprese sul territorio italiano si trovi in zone a rischio alluvionale con tempo di ritorno dell'evento inferiore a 500 anni.

A livello mondiale, invece, negli ultimi 30 anni le inondazioni hanno provocato oltre a 200.000 morti e creato disagi, più o meno gravi, a 2,8 miliardi di persone. In 5 decenni il numero di disastri ambientali è aumentato di 5 volte.

L'acqua, quindi, può creare innumerevoli tipologie problemi: comunemente si dice alluvione quando si vuole indicare l'allagamento temporaneo di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua; si parla invece di allagamenti pluviali (o nubifragi) quando è interessato il centro abitato, dove il sistema di drenaggio non riesce a far defluire tutta l'acqua verso l'esterno della zona residenziale, creando così dei danni; incrementando l'estensione e l'intensità dell'evento alluvionale si possono trattare gli uragani e le piogge monsoniche, tipici degli oceani.

Inoltre, è necessario precisare che la varietà di tipologie di eventi legati all'acqua dipende anche dalla quantità di detriti presenti. A partire da avere tanta acqua e pochi detriti, in genere nelle basse pianure, ad avere molti detriti con dimensione crescente man mano che dalla zona pedemontana si sale verso la zona montana; fino ad arrivare alla frana, con uno spostamento cospicuo di materiale terroso e roccioso.

In questa tesi, verrà trattato solamente il tema alluvioni.

Lo scopo del presente lavoro è quello di capire quale strategia vi è alla base di un'azione di mitigazione del rischio alluvionale ed in modo particolare di affrontare il tema dell'analisi costi-benefici di un'opera di mitigazione.

Per fare ciò, sarà necessario studiare il rischio alluvionale in sé, la normativa e gli enti coinvolti in questo ambito ed analizzare come i danni da alluvione vengono calcolati o stimati.

2 RISCHIO ALLUVIONALE

Il rischio alluvionale rappresenta quel rischio legato alle esondazioni torrentizie e fluviali.

I concetti fondamentali legati al rischio alluvionale sono: percezione, previsione, prevenzione, preannuncio. Analizzando la prevenzione, per esempio, notiamo che alla base ci possono essere due strade diverse che si possono percorrere: interventi strutturali e interventi non strutturali.

I primi consistono nelle opere idrauliche, nella manutenzione straordinaria degli alvei e delle opere fluviali.

Quelli non strutturali, invece, sono rappresentati dalla manutenzione ordinaria dell'apparato fluviale, nei sistemi di protezione civile, alla presenza di una normativa a conoscenza dei rischi naturali ed un sistema assicurativo contro gli eventi estremi.

Chiaramente, legata al rischio alluvionale ci deve essere una progettazione ambiziosa per poter gestire al meglio gli eventi estremi. Si possono individuare 3 step: identificazione del rischio, valutazione del rischio, azioni di mitigazione.

2.1 Identificazione del rischio

È fondamentale basarsi sui dati storici, in modo tale da avere una visione realistica di quello che può accadere perché già accaduto. In Europa la raccolta dati ha una buona tradizione anche se risulta abbastanza frammentata sia nello spazio (ogni Paese ha un proprio sistema), sia temporale (negli ultimi anni c'è un trend negativo nella raccolta sistematica di dati idrometrici). Le tipologie di dati che consentono di caratterizzare un territorio come "potenzialmente alluvionabile" (flood-prone) o meno sono diverse: oltre ai dati "quantitativi" veri e propri, cioè misure di livello in alveo e stime delle portate defluenti, diverse altre informazioni vengono spesso utilizzate, come, per esempio, le tracce di piena storiche e il rilievo dell'estensione delle aree allagate. Talvolta, queste informazioni sono reperibili su documentazione "grigia" (cioè non pubblicazioni ufficiali, ma giornali, rapporti, testimonianze). Queste consentono l'individuazione delle aree suscettibili dalle

alluvioni, perché, comunque, il fenomeno dell'alluvione è abbastanza ripetitivo, anche se nel frattempo sono state costruite opere di salvaguardia.

Talvolta, però, è possibile che le alluvioni colpiscano nuove zone, non presenti nella raccolta dei dati storici. Vi sono due principali cause del cambiamento del rischio naturale: la prima è la modifica dell'uso del suolo, sia dal punto di vista agricolo, sia dal punto di vista urbano, soprattutto nelle zone del bacino idrografico; la seconda è l'impatto delle opere ingegneristiche sul flusso della piena, le quali, inoltre, inducono un falso senso di sicurezza alla popolazione a valle.

La complessità del territorio che può portare ad avere, oltre che a zone agricole e urbane all'interno del bacino alluvionale, anche zone industriali con attività chimiche e tipologie servizi particolari. In questo caso, al rischio alluvionale si può aggiungere il rischio ambientale, innescando una catena pressoché infinita di problemi.

2.2 Valutazione del rischio

Il rischio idraulico dipende fondamentalmente da tre fattori: la pericolosità, la tipologia degli elementi esposti (esposizione) e vulnerabilità. Inoltre, il rischio R viene classificato in 4 livelli diversi (R1, R2, R3, R4), di cui si riporta la descrizione nella tabella 2.

Rischio idraulico totale			Descrizione degli effetti
Classe	Gravosità	Valore	
R ₁	Moderata	≤ 0.002	Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
R ₂	Media	≤ 0.005	Sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
R ₃	Elevata	≤ 0.01	Sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
R ₄	Molto elevata	≤ 0.02	Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione della attività socio-economiche

Tabella 2: Classificazione del rischio e descrizione degli effetti

La pericolosità, fattore H, misura la probabilità di inondazione. Essa viene suddivisa in tre livelli:

- Elevata probabilità di inondazione: nelle aree dove il periodo di ritorno dell'evento alluvionale è intorno a 20-50 anni.
- Media probabilità di inondazione: aree con periodo di ritorno di 100-200 anni.

- Scarsa probabilità di inondazione: aree con periodo di ritorno di 300-500 anni.

Gli elementi di rischio E, consistono in persone e cose suscettibili di essere colpiti dall'evento estremo. Viene attribuito un peso nella scala 0-1. Di seguito si riporta la tabella 3 esplicativa estratta dal documento di Rosso.

Classi	Elementi	Peso
E1	Aree libere da insediamenti e aree improduttive; zona boschiva; zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificato e/o edificabile	0.25
E2	Aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane, poco abitate; edifici sparsi; zona agricola generica (con possibilità di edificazione); zona di protezione ambientale, di rispetto, verde privato; parchi, verde pubblico non edificato; infrastrutture secondarie	0.50
E3	Nuclei urbani non densamente popolati; infrastrutture pubbliche (strade statali, provinciali e comunali strategiche, ferrovie, pipelines, oleodotti, elettrodotti, acquedotti); aree sedi di significative attività produttive (insediamenti artigianali, industriali, commerciali minori); zone per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti, zone a cava	0.75
E4	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità (densità abitativa superiore al 20% della superficie fondiaria); nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di rilevante interesse sociale; infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali strategiche); zona discarica rifiuti speciali o tossico nocivi; zona alberghiera; zona campeggi e villaggi turistici; beni architettonici, storici e artistici	1.00

Tabella 3: Classificazione degli elementi di rischio, descrizione e peso attribuito

La vulnerabilità V è la capacità di resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento estremo, quindi tiene conto del grado di perdita degli elementi a rischi E quando si manifesta il fenomeno estremo.

In caso ci sia la vita umana come fattore di rischio, V assume il valore unitario. Nel caso, invece, ci siano altri elementi a rischio, è necessario effettuare determinati studi di valutazione che richiedono particolari informazioni. Se queste informazioni non sono reperibili, viene considerato V come valore unitario.

Anche il danno potenziale D viene suddiviso in classi: D1 raggruppa quelle aree poco utilizzate, talvolta deserte, boschi ecc.; D2 aree agricole con seminativi; D3 cantieri, cimiteri, discariche, cave, colture orticole; D4 area residenziale, industriale, infrastrutture ecc.

Ponendo su una matrice le classi di danno e le classi di pericolosità, si può ottenere facilmente la classe di rischio, come esplicitato nella tabella 4 a lato.

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA'		
		P3	P2	P1
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R4	R2
	D3	R4	R3	R2
	D2	R3	R2	R1
	D1	R1	R1	R1

Tabella 4: matrice pericolosità / danno

Inoltre, il Ministero dell'Ambiente in collaborazione con ISPRA, Autorità di bacino e Distretti idrografici, può essere redatta la carta degli insediamenti o carta degli elementi esposti a rischio alluvionale. In essa gli elementi esposti vengono suddivisi in 6 macro-categorie, di seguito elencate:

- Zone urbanizzate, con indicato il numero degli abitanti che potrebbero essere danneggiati da un eventuale evento alluvionale;
- Strutture strategiche, come caserme, ospedali, scuole;
- Infrastrutture strategiche, come per esempio porti, aeroporti, ferrovie, metanodotti ecc.;
- Beni ambientali, storici e culturali di interesse rilevante;
- Distribuzione e tipologie di attività economiche insistenti sull'area interessata;
- Zone interessate da impianti produttivi potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale.

2.3 Metodi di valutazione della pericolosità idrologica e idraulica

Per quanto riguarda la valutazione della pericolosità, è necessario distinguere tra rischio idrologico intrinseco, definito dalla valutazione della portata al colmo di piena

e dalla valutazione degli idrogrammi di piena; e il rischio idraulico estrinseco, definito dalla delimitazione delle aree potenzialmente esondabili.

I metodi di valutazione delle portate di piena temibili si basano su quattro aree di sviluppo: regionalizzazione statistica, metodo razionale, metodo geomorfoclimatico, simulazione idrologica e climatica.

- a) Regionalizzazione statistica: metodo basato sul concetto di distribuzione invariante della portata normalizzata rispetto ad una portata indice. In genere come valore di portata indice viene preso il valore atteso della portata di colmo massima annuale (per alcuni paesi europei, come il Regno Unito, viene presa la mediana);
- b) Metodo razionale: prendendo in considerazione il funzionamento idrologico del bacino in esame, tali metodi trasformano la pioggia temibile in valori temibili di portata al colmo. Nei casi semplici vengono utilizzate delle formule razionali, in casi più complicati si ricorre alla simulazione.
- c) Metodo geomorfoclimatico: questo metodo si basa sulla derivazione in probabilità della portata al colmo a partire dalle caratteristiche stocastiche del campo di pioggia e dalle caratteristiche fisiche del bacino esaminato.
- d) Simulazione idrologica e climatica: quando l'importanza delle infrastrutture richiede la valutazione di eventi molto rari e quando il bacino in considerazione ha dimensioni molto ampie, gli altri metodi diminuiscono notevolmente le loro prestazioni. Pertanto viene utilizzato questo nuovo metodo che è in grado di "rappresentare la sensitività del sistema in relazione alla eventuale non-stazionarietà e persistenza a lungo termine dei fenomeni di piena, all'influenza delle utilizzazioni idrauliche e, più in generale, alle politiche di gestione delle acque".

Per poter delimitare le aree alluvionali, è necessario poter calcolare il volume di piena.

Ovviamente, nelle aree identificate come potenzialmente inondabili, è necessario valutare la compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di uso delle aree.

Per quanto riguarda la compatibilità idraulica di uso delle aree a rischio idrologico-idraulico, essa viene valutata tenendo conto di due condizioni:

- a) Gli insediamenti o le strutture nelle aree inondabili non sono a rischio,
- b) L'occupazione del suolo non pone ostacolo al libero deflusso delle acque.

Come riporta Rosso (Rischio idrologico e protezione idraulica del territorio), si possono individuare quattro condizioni con livello di pericolosità differente:

- Aree pericolose e incompatibili con qualunque tipo di urbanizzazione;
- Aree utilizzabili solo per infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico, con annesse strutture per resistere alle sollecitazioni dell'inondazione;
- Aree urbanizzabili ma con qualche particolare accorgimento strutturale per evitare danni e favorire l'evacuazione in caso di evento alluvionale;
- Aree inondabili con condizioni di rischio accettabili.

2.4 Le azioni di mitigazione

Quando si parla di azioni di mitigazione è necessario fare una distinzione tra quelle strutturali, opere infrastrutturali da inserire lungo il percorso di un corso d'acqua, e quelle non strutturali, per esempio la stipula di un'assicurazione o l'attività di protezione civile immediatamente prima e durante l'evento alluvionale.

Qualora si verifichi l'incompatibilità tra le portate stimate e quelle ammissibili all'interno dell'alveo, e le condizioni ambientali permettono l'impiego di azioni strutturali, possono essere studiate soluzioni di difesa attiva, le quali incidono sull'onda di piena al fine di ridurla; oppure soluzioni di difesa passiva, i quali hanno la funzione di contenere i livelli idrici di piena rendendoli compatibili con il territorio e, di conseguenza, evitare i danni che si potrebbero creare dall'esondazione delle acque di piena.

La giusta complementarità tra le azioni strutturali e quelle non strutturali riesce a garantire un buon successo del programma di mitigazione del rischio alluvionale,

anche se è necessario tenere presente che risulta comunque impossibile raggiungere il rischio nullo.

È pertanto auspicabile la compresenza delle due tipologie, in quanto a volte quelli strutturali non possono essere realizzati, per via dei costi troppo elevati oppure a causa dei vincoli ambientali da rispettare.

Per la progettazione di opere strutturali sono necessari studi idrologici approfonditi che, per esempio, consistono nella valutazione del tasso di ruscellamento e della portata al colmo di piena, e studi idraulici con l'analisi della geometria idraulica della rete idrografica. Nel caso si considerino opere passive, volte cioè a contenere i livelli massimi di piena, garantendo la capacità di deflusso nel tratto di fiume di interesse è sufficiente valutare la massima portata di piena che ci si può aspettare (per un dato tempo di ritorno, cioè per un dato livello di probabilità di accadimento).

Invece, quando si pensa ad opere di laminazione, cioè opere che consentono l'immagazzinamento temporaneo di volumi d'acqua, è necessaria la valutazione del volume di piena e/o la forma dell'idrogramma, il che rende più complesso il processo di idrologia.

Si sta diffondendo l'ingegneria naturalistica, la quale ha come obiettivo la sistemazione dei versanti al fine di favorire l'infiltrazione e rallentare il deflusso superficiale in maniera distribuita.

Un altro aspetto da non trascurare è quello dei sedimenti, di difficile gestione. Questi vengono trasportati durante la piena verso il mare ed andranno a mantenere il litorale. In caso di assenza, si avrebbe come conseguenza l'erosione del litorale stesso con effetti negativi.

D'altra parte, però, in molti torrenti e fiumi italiani vi è il problema del consolidamento del materiale d'alveo causato dalla carenza dei deflussi superficiali permanenti. Questo ha come conseguenza la formazione di un ambiente non abbastanza umido per creare un "ecosistema significativo dal punto di vista paesaggistico, vegetazionale e faunistico".

In alcuni paesi si provvede alla creazione di piene artificiali, appunto perché si crede che queste abbiano un risvolto positivo sull'ambiente fluviale.

3.LEGGI ED ENTI COINVOLTI

3.1 Stato dell'arte

Di seguito si tratta parte del documento della Prefettura italiana "*Breve storia della normativa italiana*", il quale elenca quelle che sono state le norme che negli anni si sono succedute per regolamentare l'argomento acque ed alluvioni e tutto quello che ne concerne.

Una delle prime norme in materia di salvaguardia dei ambiente, in modo particolare dei boschi, è stato Il Regio Decreto (R.D.) n. 3918/1877.

Successivamente si inizia a trattare anche gli eventi alluvionali con il R.D. 27 luglio 1904, n. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie", ampliando il prospetto su tutto l'ambiente.

"In quei decenni si assiste a una crescente antropizzazione delle aree pianeggianti e a un abbandono di quelle collinari, nasce così l'esigenza di tutelare e conservare le aree boschive e forestali; ciò è recepito delle Leggi 277/1910 e 744/1911." Queste ultime servono per costituire il demanio forestale e a diversificare, sotto l'aspetto economico, le sistemazioni forestali e idrauliche dei bacini montani rispetto alle opere idrauliche di pianura.

Successivamente, con il R.D. n. 3267/1923 "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e terreni montani" si attua un primo tentativo di pianificazione attraverso il quale al vincolo idrogeologico corrisponde la conservazione dell'ambiente fisico.

Seguono il R.D. 17 maggio 1926 e il R.D. n. 215/1933 n. 1126 che individuano i criteri per la delimitazione delle aree soggette a vincolo e definiscono le opere di bonifica da applicare nei terreni montani dissestati.

Si vede la stesura di due leggi, la 184/1952 "Piano orientativo ai fini di una sistematica regolazione delle acque e relazione annua del Ministero dei lavori pubblici" e la 11/1962 "Piano di attuazione per una sistematica regolazione dei corsi di acqua naturali", a seguito di una tragica alluvione avvenuta nel Polesine nel 1951.

Nel 1966 un'altra alluvione tocca la città di Firenze, altre località della Toscana e nuovamente il Polesine. Fu

emanata la Legge n. 632/1967 "Autorizzazione di spesa per l'esecuzione di opere di sistemazione e difesa del suolo", con cui si istituiva la Commissione Interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e di difesa del suolo; la cosiddetta Commissione De Marchi, dal nome del Presidente Giulio De Marchi. Questa commissione getta le basi per iniziare a ragionare su larga scala (bacino idrografico) e non più in modo limitato all'ente amministrativo (Comune, Provincia, Regione).

A seguire vengono istituite le Comunità Montane e le attività di manutenzione forestale, la determinazione dei vincoli idrogeologici e di sistemazione e conservazione idrogeologica vengono trasferiti alle Regioni con la Legge n. 1102/1971 e il D.P.R. n. 616/1977.

3.1.1 Legge 183/1989

L'articolo 1 della Legge 18 maggio 1989, n. 183, riporta: "La presente legge ha per scopo di assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi.". Ecco che nel 1989 viene scritta la prima legge che tratta il tema della tutela del suolo.

Per la prima volta viene data la definizione di bacino idrografico come "il territorio dal quale le acque pluviali o di fusione delle nevi e dei ghiacciai, defluendo in superficie, si raccolgono in un determinato corso d'acqua direttamente o a mezzo di affluenti, nonché il territorio che può essere allagato dalle acque del medesimo corso d'acqua, ivi compresi i suoi rami terminali con le foci in mare ed il litorale marittimo prospiciente, qualora un territorio possa essere allagato dalle acque di più corsi d'acqua, esso si intende ricadente nel bacino idrografico il cui bacino imbrifero montano ha la superficie maggiore".

Questa legge prevede, inoltre, la costituzione di un comitato di ministri con la funzione di alta vigilanza sui servizi tecnici coordinando le loro attività. Nel 1989 è previsto che facciano parte di questo comitato per il coordinamento della protezione civile e per gli interventi straordinari del mezzogiorno i ministri: dei lavori pubblici, dell'ambiente, dell'agricoltura e delle foreste,

La 183/89 stabilisce anche quelli che sono i compiti delle regioni, per esempio quello di delimitare i bacini di propria competenza; di collaborare per la realizzazione dei piani di bacino a livello nazionale formulando proposte; di redigere ed approvare progetti degli interventi da realizzare nei bacini di rilievo regionale; di organizzare il servizio di polizia idraulica occupandosi della manutenzione delle opere; di predisporre annualmente una relazione sull'uso del suolo e sulle condizioni dell'assetto idrogeologico. Inoltre, con la presente legge, viene definita l'Autorità di Bacino, la quale agisce in conformità con gli obiettivi della legge 183. Essa è formata da diversi organi: il comitato istituzionale, quello tecnico, il segretario generale e la segreteria tecnico-operativa. In base agli indirizzi, ai metodi ed ai criteri fissati dal Presidente del Consiglio dei ministri e su proposta del Ministro dei lavori pubblici, previa deliberazione del Comitato nazionale per la difesa del suolo, viene redatto il piano di bacino. Questo documento contiene un quadro conoscitivo del sistema fisico, le situazioni di degrado con le annesse cause, le direttive alle quali devo attenersi la difesa del suolo e la sistemazione idrologica ed idraulica con l'utilizzazione del suolo e delle acque, opere ed interventi necessari sul territorio, ecc. Il piano di bacino viene adottato da tutte le Autorità di Bacino entro fine 1998.

A seguito dell'alluvione del maggio 1998 in Campania, viene pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale il Decreto Legge 11 giugno 1998, n. 180, detto anche Decreto Sarno. Questo DL ha lo scopo di incrementare le strutture tecniche per la difesa del suolo e la protezione dell'ambiente, oltre a concedere delle riduzioni di imposte comunali a quei territori oggetto dell'evento alluvionale.

Come anche a seguito dell'alluvione di settembre ed ottobre 2000 in Calabria, viene promulgata la Legge 11 dicembre 2000, n. 365, convertendo il DL 279 del 12 ottobre 2000, il quale riporta la necessità di interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato.

Invece, nel 1999 si trattano le acque reflue urbane e l'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, rispettivamente con il D.Lgs. n. 152/1999 e la

direttiva 91/676/CEE; quest'ultima affida il compito alle regioni di redigere i Piani di Tutela delle Acque.

3.1.2 Direttiva 2000/60/CE

Un'altra normativa molto importante in questo ambito è la Direttiva 2000/60/CE, comunemente detta "Direttiva acque". Infatti, essa è stata adottata per istituire un quadro per la protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione, delle acque costiere e sotterranee.

Questa normativa riporta diverse definizioni, tra tutte quella di:

- Bacino idrografico: il territorio nel quale scorrono tutte le acque superficiali attraverso una serie di torrenti, fiumi ed eventualmente laghi per sfociare al mare in un'unica foce, a estuario o delta;
- Sottobacino: il territorio nel quale scorrono tutte le acque superficiali attraverso una serie di torrenti, fiumi ed eventualmente laghi per sfociare in un punto specifico di un corso d'acqua (di solito un lago o la confluenza di un fiume);
- Distretto idrografico: area di terra e di mare, costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere che, a norma dell'articolo 3, paragrafo 1, è definito la principale unità per la gestione dei bacini idrografici;

Con la Legge n. 365/2000 si intendeva estendere la validità delle misure di salvaguardia imposte dai Piani straordinari fino all'approvazione dei PAI.

Dopodiché, vengono stabiliti gli obiettivi e i contenuti dei Piani di Bacino, dei Piani stralcio di distretto per l'assetto idrogeologico (PAI) e dei programmi triennali di intervento con il D.Lgs. n. 152/2006, oltre a definire le competenze di Stato, Regioni, Province autonome e delle Autorità di Bacino distrettuali.

3.1.3 Direttiva 2007/60/CE

La Direttiva 2007/60/CE si occupa dell'attività di intervento, prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico, come riportato nel primo articolo. Viene comunemente chiamata "Direttiva alluvioni". In questa

direttiva vengono date le definizioni di alluvione, come "l'allagamento temporaneo di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua.", e di rischio di alluvioni: "la combinazione della probabilità di un evento alluvionale e delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e l'attività economica derivanti da tale evento". Inoltre, essa prevede una valutazione preliminare del rischio di alluvioni la quale comprende almeno i seguenti elementi: mappe in scala appropriata del distretto idrografico, descrizione delle alluvioni avvenute in passato, che con elevata probabilità possono ancora verificarsi in futuro in maniera simile; una valutazione delle potenziali conseguenze negative di future alluvioni tenuto conto (per quanto possibile) di elementi quali la topografia, la posizione dei corsi d'acqua e le loro caratteristiche idrologiche e geomorfologiche generali, tra cui il ruolo delle pianure alluvionali, l'efficacia delle infrastrutture artificiali esistenti, la posizione delle zone popolate e delle zone in cui insistono attività economiche e gli sviluppi a lungo termine compresi gli impatti dei cambiamenti climatici sul verificarsi delle alluvioni.

Come riporta l'art. 5, gli "Stati membri individua per ciascun distretto idrografico o unità di gestione (...) o parte di un distretto idrografico internazionale situato sul loro territorio le zone per le quali essi stabiliscono che esiste un rischio potenziale significativo di alluvioni o si possa ritenere probabile che questo si generi."

Per questo, ogni Stato membro dispone di mappe della pericolosità dell'alluvione e mappe del rischio di alluvione.

Sulle prime vengono individuate le aree geografiche che potrebbero essere interessate da alluvione, secondo gli scenari di seguito elencati:

- Scarsa probabilità di alluvioni ($T = 500$ anni)
- Media probabilità di alluvioni ($100 < T < 200$ anni)
- Elevata probabilità di alluvioni ($20 < T < 50$ anni)

T: tempo di ritorno, indica il valore atteso del tempo medio tra due eventi estremi.

Per ciascun scenario è opportuno riportare portata della piena, profondità delle acque o livello delle acque, velocità del flusso.

In figura 1, si possono vedere le tre fasce alluvionali, individuate da tre colori diversi: in blu quelle con elevata probabilità, in azzurro quelle con media probabilità ed in turchese le aree con scarsa probabilità di alluvioni.

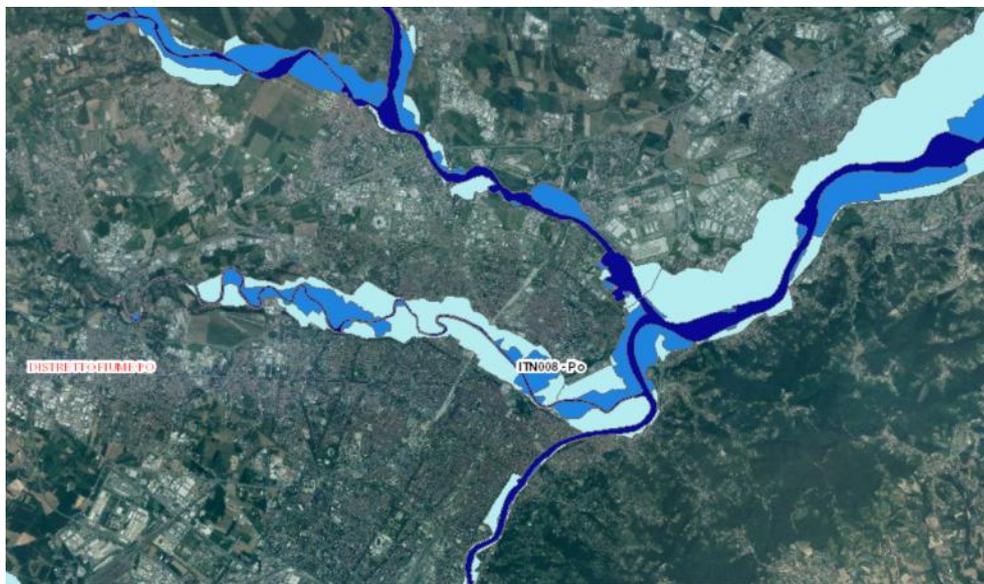


Figura 1: Mappa della pericolosità dell'alluvione della città di Torino. Fiumi: Po, Dora Riparia e Stura di Lanzo

Invece, le mappe del rischio di alluvioni indicano le potenziali conseguenze negative derivanti dalle alluvioni nell'ambito degli scenari (danno atteso). Queste riportano, quindi, il numero indicativo degli abitanti potenzialmente interessati; il tipo di attività economiche insistenti sull'area potenzialmente interessata; impianti che potrebbero creare inquinamento accidentale in caso di piena e aree protette potenzialmente interessate; altre informazioni considerate utili, come l'indicazione delle aree in cui possono verificarsi alluvioni con elevato volume di sedimenti trasportati e colate detritiche ed eventualmente informazioni su altre notevoli fonti di inquinamento. Inoltre, come in figura 2, vengono attribuiti dei colori in base al livello di rischio delle aree.

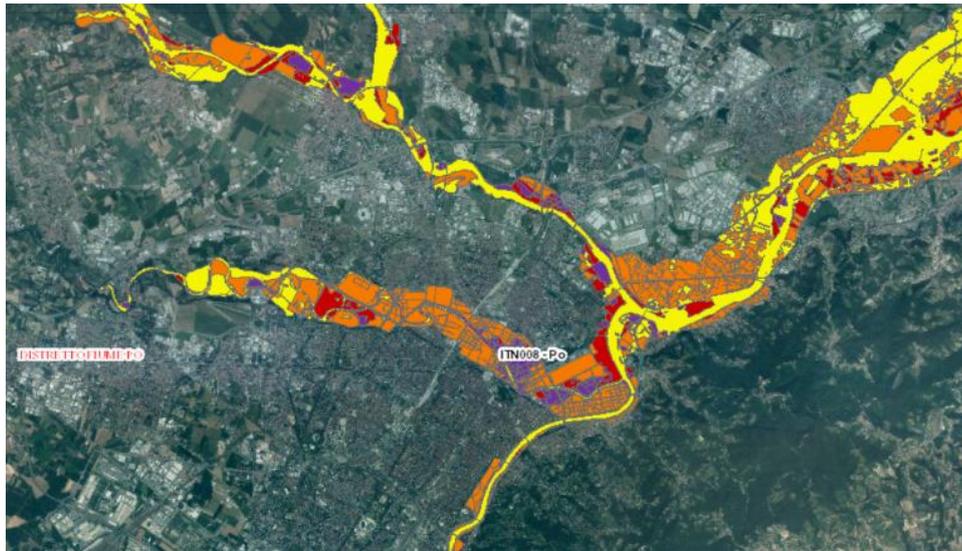


Figura 2: Mappa di rischio alluvione della città di Torino. Giallo: rischio moderato o nullo; arancione: rischio medio; rosso: rischio elevato; viola: rischio molto elevato.

L'articolo 7 prevede che ogni Stato stabilisca piani di gestione del rischio di alluvioni coordinati a livello di distretto idrografico.

“I piani di gestione del rischio di alluvioni tengono conto degli aspetti pertinenti quali i costi e benefici, la portata della piena, le vie di deflusso delle acque e le zone con capacità di espansione delle piene, come le pianure alluvionali naturali, gli obiettivi ambientali dell'articolo 4 della direttiva 2000/60/CE, la gestione del suolo e delle acque, la pianificazione del territorio, l'utilizzo del territorio, la conservazione della natura, la navigazione e le infrastrutture portuali.”

Infine, la Direttiva alluvioni, precisa che la valutazione preliminare del rischio di alluvioni, le mappe della pericolosità da alluvione e del rischio di alluvioni, il piano o i piani di gestione del rischio di alluvioni devono essere riesaminati ogni 6 anni.

Il D.Lgs. n. 49/2010 “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni” disciplina, sempre a livello distrettuale, la pianificazione di gestione del rischio di alluvione, prevedendo misure di coordinamento con la disciplina del D.Lgs. n. 152/2006. Questi compiti devono essere svolti dalle Autorità di bacino distrettuali (come

definite all'art. 63 del D.Lgs. n. 152/2006) e dalle Regioni che, in coordinamento tra loro e con il Dipartimento nazionale della protezione civile, predispongono la parte dei piani di gestione per il distretto idrografico relativa al sistema di allertamento nazionale, statale e regionale, per il rischio idraulico ai fini di protezione civile.

3.2 Enti

In Italia, ogni anno l'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) fornisce il rapporto di sintesi sul dissesto idrogeologico. In questi documenti viene spesso ribadita la centralità dell'attività conoscitiva ai fini degli interventi contro il rischio idrogeologico. Per questo motivo è fondamentale il confronto tra le Autorità di Bacino ed i comuni, supportati dai piani stralcio per l'assetto idrogeologico.

Di seguito i principali enti coinvolti nel tema dell'assetto idrogeologico in Italia:

- **ISPRA:**

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale è stato istituito con la legge 13/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112.

Esso è sottoposto alla vigilanza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

L'ISPRA è un ente pubblico di ricerca, il quale è dotato di personalità giuridica di diritto pubblico, autonomia tecnica, scientifica, organizzativa, finanziaria, gestionale, amministrativa, patrimoniale e contabile.

Questo istituto è nato dalla fusione di: APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e dei servizi Tecnici che si occupava di svolgere compiti e attività tecnico scientifiche di protezione dell'ambiente, tutela delle risorse idriche e difesa del suolo; di INFS, Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica il quale svolgeva un ruolo di primaria importanza nel campo della conservazione e gestione della fauna selvatica di cui studiava lo stato, l'evoluzione ed i rapporti con le altre componenti

ambientali; e di ICRAM, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Tutti questi enti confluiti in ISPRA hanno mantenuto la loro medesima funzione.

L'ISPRA è formato dai seguenti organi: presidente, direttore generale, consiglio di amministrazione, consiglio scientifico, collegio dei revisori dei conti.

- **Autorità di Bacino**

Il Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, all'articolo 64, prevede la divisione del territorio nazionale italiano in 7 distretti idrografici di seguito elencati:

- a) Distretto idrografico delle Alpi orientali
- b) Distretto idrografico del Fiume Po
- c) Distretto idrografico dell'Appennino settentrionale
- d) Distretto idrografico dell'Appennino centrale
- e) Distretto idrografico dell'Appennino meridionale
- f) Distretto idrografico della Sardegna
- g) Distretto idrografico della Sicilia

Nello stesso decreto, all'articolo 63 viene precisato:

"In ciascun distretto idrografico di cui all'articolo 64 è istituita l'Autorità di bacino distrettuale, di seguito denominata "Autorità di bacino", ente pubblico non economico che opera in conformità agli obiettivi della presente sezione e uniforma la propria attività a criteri di efficienza, efficacia, economicità e pubblicità."

L'autorità di bacino è formata dai seguenti organi: la conferenza istituzionale permanente, il segretario generale, la conferenza operativa, la segreteria tecnica operativa e il collegio dei revisori dei conti.

Le Autorità di bacino provvedono:

- a) Ad elaborare il Piano di bacino distrettuale e i relativi stralci, tra cui il piano di gestione del bacino idrografico, previsto dalla Direttiva Acque, e il piano di gestione del rischio di alluvioni, previsto dalla Direttiva Alluvioni, nonché i programmi di intervento;

b) Ad esprimere parere sulla coerenza con gli obiettivi del Piano di bacino dei piani e programmi dell'Unione europea, nazionali, regionali e locali relativi alla difesa del suolo, alla lotta alla desertificazione, alla tutela delle acque e alla gestione delle risorse idriche.

- **Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei ministri**

Secondo la direttiva 27 febbraio 2004, pubblicata nel supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 59 dell'11 marzo 2004, la gestione del sistema di allerta nazionale è assicurata dal Dipartimento della Protezione Civile e dalle Regioni attraverso la rete dei centri funzionali, nonché le strutture regionali ed i Centri di Competenza chiamati a concorrere funzionalmente ed operativamente a tale rete.

A tal fine il sistema di allerta nazionale prevede:

- o Fase previsionale costituita dalla valutazione, sostenuta da una adeguata modellistica numerica, della situazione meteorologica, nivologica, idrologica, idraulica e geomorfologica attesa, nonché degli effetti che tale situazione può determinare sull'integrità della vita, dei beni, degli insediamenti e dell'ambiente;
- o Fase di monitoraggio e sorveglianza,
Articolata in:
 - i) osservazione qualitativa e quantitativa,
 - ii) previsione
- o Fase di prevenzione del rischio, attraverso sia azioni, anche di contrasto dell'evento, incluse nei Programmi regionali di previsione e prevenzione, che interventi urgenti anche di natura tecnica, così come previsto dall'art. 108 del decreto legislativo n. 112/1998; le diverse fasi della gestione dell'emergenza, in attuazione dei Piani d'emergenza regionali, provinciali e comunali, redatti sulla base di indirizzi regionali, relativi anche all'organizzazione funzionale degli stessi interventi urgenti.

- **Ministero della Transizione Ecologica**

Come riportato sul suo sito istituzionale, il Ministero della Transizione Ecologica è il successore del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare (nato nel 1986). Infatti quest'ultimo viene rinominato con il D.L. 22/2021, convertito con modificazioni in L. 55/2021. Tra le tante cose, esso si occupa anche di salvaguardia del territorio e delle acque. Per questo ha un ruolo dominante nella gestione del rischio idrogeologico. Come detto precedentemente, il Ministero svolge, inoltre, un ruolo di indirizzo e vigilanza sulle attività dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), con il quale procede alla raccolta dati statistici in collaborazione con l'ISTAT.

Detto Ministero, dispone del Dipartimento per il personale, la natura, il territorio ed il Mediterraneo, al quale appartiene la Direzione generale per la sicurezza del suolo e dell'acqua.

- **Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali**

Questo ministero è parte attiva della letteratura legata all'assetto idrogeologico del nostro Paese. Infatti, nel 2013, in collaborazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, di ISPRA, e consultando numerosi banche dati, tra le altre, anche quelle di AGEA-SIN; ha redatto il documento "Linee guida per la valutazione del dissesto idrogeologico e la sua mitigazione attraverso misure e interventi in campo agricolo e forestale".

3.3 PGRA: strumento operativo di pianificazione

3.3.1 Cos'è il PGRA

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvionale (PGRA) è uno strumento introdotto dalla Direttiva Alluvioni, con la finalità di ridurre gli impatti negativi delle alluvioni sulla salute, l'economia e l'ambiente, e favorire una tempestiva ricostruzione e valutazione post-evento alluvionale. Il decreto attuativo della

Direttiva Alluvioni, D.Lgs 49/2010, prevede che il PGRA sia diviso in due parti: la parte A redatta dalla Autorità di bacino in coordinamento con le Regioni interessate; e la parte B a cura delle Regioni con la collaborazione del Dipartimento nazionale di Protezione Civile.

Per essere efficace nella sua funzione, il PGRA deve riuscire ad attivare in modo coordinato più livelli di governo.

3.3.2 Obiettivi del PGRA

Il PGRA ha la natura di essere un piano strategico, pertanto esso prevede degli obiettivi per il raggiungimento dei quali sono previste delle strategie.

- 1) Migliorare la conoscenza del rischio. Per tale scopo, è necessaria la massima collaborazione tra i diversi enti, serve una semplice ed effettiva accessibilità alle banche dati territoriali, è fondamentale realizzare un sistema di relazioni permanenti tra esperti, ricercatori, pianificatori, decisori e cittadini per gestire al meglio gli eventi alluvionali.
- 2) Migliorare la performance dei sistemi difensivi esistenti. Vi sono opere di difesa che negli anni sono state abbandonate, manomesse e non più sistemate, che, talvolta, non riescono ad essere pienamente funzionanti. Un obiettivo strategico del Piano è quello di assicurare la sorveglianza, la manutenzione, l'integrazione e l'eventuale adeguamento dei sistemi esistenti di difesa attiva.
- 3) Ridurre l'esposizione del rischio. Una politica di prevenzione, fundamentalmente basata sulla riduzione della vulnerabilità e dell'esposizione al rischio, deve essere al centro del PGRA. Le azioni di prevenzione possono essere attuate secondo la pianificazione d'emergenza, ovvero in tempo reale, oppure con la pianificazione territoriale e di bacino, più differita nel tempo.
- 4) Assicurare maggior spazio ai fiumi. La strategia utilizzata negli anni passati secondo la quale il fiume veniva arginato e canalizzato, non ha prodotto i risultati desiderati, ovvero non ha evitato le piene. Pertanto, si pensa che la soluzione sia quella di dare più spazio ai fiumi,

ripristinando la funzionalità geomorfologica ed ecologica del sistema fluviale. L'obiettivo è migliorare la capacità di ritenzione delle acque e l'inondazione controllata di aree predefinite in caso di eventi alluvionali.

- 5) Difesa delle città e delle aree metropolitane. Con i cambiamenti climatici, la gestione del rischio alluvionale all'interno dei centri abitati ha avuto un incremento di difficoltà. Le aree metropolitane sono particolarmente vulnerabili e per questo è richiesta la collaborazione di tutte le forze politiche e sociali per attuare una governance efficiente. Nella maggior parte dei casi è necessario intervenire a monte con il miglioramento dell'utilizzo del suolo al fine di aumentare la ritenzione idrica nelle zone libere da edifici. Inoltre, è fondamentale disporre di un adeguato sistema di previsione e allertamento.

4. STIMA DEL DANNO

4.1 Introduzione

La stima del danno è una parte fondamentale collegata agli eventi di calamità naturale, nonché al rischio di alluvione. La valutazione dell'impatto delle inondazioni su un territorio trova una prima differenziazione in base al livello di dettaglio che si vuole raggiungere e soprattutto in base ai dati disponibili, infatti si ha: macro, meso e micro-scala.

Inoltre, l'analisi del danno, quindi, viene effettuata secondo le 4 macro categorie indicate dalla legislazione: popolazione, attività economiche, beni culturali-archeologici, beni ambientali.

Come riporta *D. Molinari et al, 2020*, in Europa esistono 28 modelli con 652 funzioni; la metà di questi modelli si concentra sugli edifici residenziali.

Una seconda differenziazione tra i modelli è quella che li divide tra empirici e sintetici. I primi utilizzano i dati sui danni raccolti dopo gli eventi alluvionali, quelli sintetici, invece, implementano le informazioni raccolte tramite domande what-if.

I modelli di danno possono essere classificati come di tipo assoluto, ovvero che restituisce direttamente un valore in una valuta specifica, oppure di tipo relativo, i quali stimano la vulnerabilità fisica o il grado di perdita di un bene esposto da moltiplicare per il suo valore monetario per valutare il danno.

Un'ultima differenza sostanziale tra i vari modelli è quella individuata dal numero e dal tipo di parametri di input necessari. I modelli di danno più semplici tengono conto di un piccolo numero di variabili, principalmente la profondità dell'acqua nel luogo dell'edificio, l'area dell'edificio e il suo valore monetario. I modelli multi-variabili, invece, considerano numerosi fattori di input di rischio, esposizione e vulnerabilità e, di conseguenza, quando tutti i dati sono disponibili, essi forniscono un risultato molto accurato.

Infine, ogni modello differenzia da un altro per la funzione sottostante.

4.2 Alcune tipologie di modelli

- Arrighi

Modello descritto da Arrighi et al, 2015, realizzato per la città di Firenze, viene convalidato tramite confronto con altri modelli già validati (per esempio la curva di danno della città di Palermo e Praga). È un modello sintetico relativo. Per essere applicato è necessario conoscere la profondità dell'acqua e i costi di ripristino, per edifici con e senza semi-interrato. Il costo di recupero è ipotizzato pari al 15% dell'esposto, calcolato come valore di mercato del pavimento allagato in base alla superficie. La soglia di zero danni è fissata a 0.25 m per edifici senza semi-interrato, in quanto rappresenta l'elevazione media della porta di ingresso dell'edificio rispetto al piano stradale, che può essere significativamente maggiore per gli edifici storici.

Per le attività terziarie, il danno in termini monetari è composto da due fattori: il danno al contenuto dell'ufficio (mobili, computer...) ed il danno dovuto al costo dell'interruzione dell'attività. Per ottenere la valutazione del danno, è necessario stimare alcuni parametri. Nel caso studio di Firenze sono state utilizzate le seguenti fonti: censimento della popolazione e degli appartamenti (ISTAT, 2002b), censimento dell'industria e del terziario (ISTAT, 2002a), perizie immobiliari (Agenzia del territorio, 2011), studi commerciali (Agenzia delle Entrate, 2009). Inoltre, per ogni sezione di censimento, un elevato numero di dati ed informazioni viene fornito dall'ISTAT, come per esempio: il numero di edifici e il loro uso, il numero di piani, la data di costruzione e il numero di dipendenti per una specifica attività.

Questo modello è stato testato nel quartiere di S. Croce, una delle zone più danneggiate dall'alluvione del 1966 e famosa per la perdita di molti capolavori artistici in chiese e musei e di manoscritti della Biblioteca Nazionale.

- Carisi - multivariabile (Carisi et al., 2018)
Modello empirico che necessita delle seguenti variabili: profondità massima dell'acqua, velocità massima del flusso, durata dell'inondazione, valore monetario dell'edificio per unità di superficie (sulla base del valore di mercato), tipologia strutturale e area di impronta di ogni edificio. Si riferisce all'inondazione del 2014 in provincia di Modena. Questo modello stima le perdite relative agli edifici senza considerare i danni a seminterrati, in quanto in questo contesto la maggior parte dei fabbricati ne è privo. Viene utilizzato un approccio random forest con l'utilizzo di più repliche per massimizzare l'accuratezza del risultato.
- Carisi - monovariabile
Anche questo modello è calibrato sull'evento del 2014 in provincia di Modena, ma utilizza una variabile sola: la profondità dell'acqua.
- Cepri
Modello sviluppato dal Centro europeo per la Prevenzione del Rischio di Alluvioni; inizialmente pensato per tutti i tipi di inondazione (quelle in rapida ascesa e quelle costiere), ma, dopo un confronto con i dati dei danni empirici, è stata necessaria una ricalibrazione per il secondo caso. Lo stato francese raccomanda questo modello per le analisi costi-benefici dei progetti di gestione delle inondazioni (D. Molinari et al., 2020). Questo è un modello sintetico multivariabile, prende in considerazione i parametri della profondità dell'acqua e della durata dell'immersione. Il danno assoluto viene calcolato come la somma attesa delle azioni che devono essere eseguite dopo un'inondazione per ripristinare lo stato pre-allagamento, inclusi i costi di bonifica. Vengono considerate due curve di danno separate: una per i seminterrati contenuti nelle case e l'altra per i blocchi di appartamenti. Per ogni edificio da analizzare è richiesta la tipologia (ad un piano, a due piani, o appartamento), la superficie totale e la superficie dell'eventuale seminterrato.

- Dutta (D. Molinari et al., 2020)
È un modello semplice che descrive il rapporto tra la perdita e il valore di sostituzione dell'intero edificio (fornito come dato input); inoltre descrive anche la relazione tra l'intensità di inondazione e il danno. L'unica variabile considerata è la profondità di inondazione, mentre il basamento e il numero di piano esposti fanno parte della varianza del modello, senza essere input separati. La funzione di danno è stata calibrata su un database giapponese con dati raccolti dal 1954 dal Ministero dell'edilizia. Successivamente il modello è stato calibrato su un evento del 1996 ed ha fornito risultati affidabili per le aree urbane.
- Flemo-ps
Questo modello è empiricamente derivato dai dati forniti da 1697 famiglie colpite dall'inondazione del 2002 dei fiumi Elba e Danubio in Germania. Modello multivariabile che prende in considerazione profondità dell'acqua, tipo e qualità dell'edificio, senza però considerare esplicitamente la superficie di pavimento allagata e la presenza o meno di seminterrato. Basandosi su diverse inondazioni storiche in Germania, viene dimostrato che questo modello supera le tradizionali curve di danno da stadio nella stima della perdita da inondazione nel settore famiglie private; solamente nel caso di profondità di acqua molto elevata questo non si verifica (D. Molinari et al., 2020).
- Fuchs (D. Molinari et al., 2020)
Modello semplice multivariabile che prende in considerazione profondità dell'acqua, la superficie di tutti i piani dell'edificio ed il suo valore di sostituzione. È stato sviluppato per la zona montana, considerando la tradizione edilizia delle Alpi e gli allagamenti con trasporto di sedimenti. Esso era dotato di dati empirici su danni e su pericoli.
- Insyde
Modello multivariabile, con 23 variabili di input richieste, di cui 6 legate all'inondazione e le restanti 17 inerenti le caratteristiche dell'edificio. Esso fornisce il danno in termini

assoluti, considerando il valore di sostituzione o ricostruzione dei componenti danneggiati e facendo riferimento ai soli pavimenti allagati, incluso seminterrato se presente. Inoltre, se necessario, il modello può fornire anche una stima del danno relativo. Questo modello è stato sviluppato nel contesto italiano ed è stato validato per diversi eventi alluvionali, confrontando le prestazioni con gli altri modelli esistenti.

- Jonman
(D. Molinari et al., 2020)
Modello semplice, che fornisce danno relativo, prendendo in considerazione come variabili di input le profondità dell'acqua e il valore di sostituzione dell'edificio. Esso è stato sviluppato nei Paesi Bassi, sulla base dei dati empirici su danni da inondazione. In questo caso non vi è stata validazione del modello e non ci sono informazioni sulla sua robustezza.
- Multi-Coloured Manual (MCM)
Questo è considerato uno dei modelli più completi e dettagliati per la stima dei danni da alluvione in Europa ed è utilizzata come supporto per politica di gestione dell'acqua e valutazione quantitativa dell'effetto delle decisioni di investimento (Carisi et al., 2018). È un modello sintetico. Definisce la perdita potenziale monetaria relativa alla profondità dell'acqua.
- Rhine Atlas
Il modello è stato progettato dalla Commissione Internazionale per la protezione del Reno (ICPR) per la valutazione del rischio idraulico all'interno dello spartiacque del fiume Reno dopo che due gravi inondazioni hanno causato un grande danno economico in Germania e l'evacuazione di 250 000 persone nei Paesi Bassi nel 1993 e nel 1995. Per lo sviluppo del modello, sono stati utilizzati dati empirici raccolti nelle due alluvioni citate e dei giudizi di esperti. È un modello sintetico. Questo modello include cinque diverse funzioni di danno. Esso è utilizzato per il settore residenziale. (Carisi et al., 2018)

- Joint Research Centre (JRC)
Questo modello è stato sviluppato dal Centro comune di ricerca della Commissione europea - Istituto per l'ambiente e la sostenibilità (JRC-IES) nell'ambito di un progetto per stimare le tendenze del rischio di alluvioni in Europa durante i cambiamenti climatici. Consiste in diverse funzioni di profondità-danno e valori massimi di danno che possono essere utilizzati da tutti i paesi dell'UE (Carisi et al., 2018). Facendo riferimento al database sull'uso del suolo recuperati dal progetto CORINE (Agenzia europea dell'ambiente, 2007), sono state identificate le funzioni del danno per 10 paesi da studi esistenti ed applicate alle corrispondenti classi di danno. Inoltre, una media di tutte le curve specifiche dell'uso del suolo disponibili è stata utilizzata per sviluppare un modello per i paesi in cui non erano disponibili curve di danno, tra cui l'Italia.
- Secchia Empirical damage model (SEMP)
In questo modello di danno empirico, basato sull'alluvione del Secchia del 2014, i valori di profondità dell'acqua vengono raggruppati in classi di ampiezza pari 25cm e calcolando il danno medio per ogni intervallo (Carisi et al., 2018). La curva di danno empirica è quindi ottenuta interpolando linearmente i valori. Sono state testate diverse suddivisioni di classe (da 10cm a 1m di profondità dell'acqua) e quella scelta (25cm) risulta quella con le migliori prestazioni in termini di errore quadratico medio nella riproduzione dei dati sulle perdite osservate.
- Secchia Square Root Regression damage models (SREGx)
Carisi et al., 2018
Con questo modello si ha la regressione della radice quadrata e come variabili di input richieste la profondità massima dell'acqua, la velocità massima dell'acqua e la superficie dell'edificio. I danni sono pari a zero se la profondità dell'acqua o la superficie dell'edificio sono nulle. Confrontando la regressione lineare, quella logaritmica e quella della radice quadrata dei dati osservati, si ottiene

che l'ultima restituisce le migliori prestazioni di previsione in termini di RMSE.

- AGRIDE-c (AGRIculture DamageE model for Crops)
Metodo utilizzato nel settore agricolo.
Secondo quanto riportato da Gattai, 2019; questo modello è stato sviluppato da agronomi, economisti ed altri esperti raccogliendo le conoscenze sui meccanismi di danno da alluvione e il loro risvolto sui redditi degli agricoltori.
Esso è stato sviluppato in Italia centrale, richiede la definizione dei parametri di pericolosità ed esposizione delle colture, il che lega molto il modello al territorio con la conseguente difficoltà ad essere generalizzato. In questo modello il danno viene espresso come la differenza tra la diminuzione di fatturato e la riduzione dei costi di produzione. Agride-c considera solamente i danni alle piantagioni ed al suolo, non quelli ai macchinari agricoli, perché su quest'ultimi è difficile dimostrare se il danno sia stato realmente creato dall'alluvione. Fondamentalmente il danno sulle colture viene calcolato come diminuzione della quantità e della qualità del prodotto; mentre il danno al suolo consiste nel costo di ripristinare il terreno com'era prima dell'alluvione, cioè effettuare livellamenti, asportare i detriti. Lo scenario zero è considerato come l'utile lordo annuo dell'agricoltore in caso di assenza di alluvione.

Analizzando Mattia Amadio et al. 2019, si nota che la gestione dei rischi richiede uno strumento di valutazione affidabile per identificare le priorità nella mitigazione e nell'adattamento del rischio.

Si è fatto un confronto tra modelli con diverso numero di variabili per capire quale fosse il modo migliore per avere dei risultati accurati e precisi.

Si è scoperto che la profondità dell'acqua è il più importante predittore di danni da inondazione, seguita da variabili secondarie relative alla pericolosità (velocità del flusso, durata) e alle caratteristiche di esposizione (area, perimetro e valore di sostituzione dell'edificio). Tuttavia, i risultati suggeriscono che l'inclusione di una variabile aggiuntiva (velocità di flusso) non migliora

le stime prodotte da semplici modelli di regressione in un set-up con due variabili. D'altra parte, l'analisi conferma l'idea della letteratura che la funzione radice è la curva più adatta per descrivere il danno in relazione alla profondità dell'acqua.

5. ANALISI OPERE DI MITIGAZIONE

5.1 I polder e la gestione del terreno utilizzato

Negli anni scorsi, in Germania si è puntato molto su trovare delle soluzioni che in qualche modo potessero ridurre i danni causati dalle alluvioni. Diversi sono stati i provvedimenti presi dalle amministrazioni pubbliche, tra i quali è emersa la necessità di spostare alcune dighe e di creare *polder* per la ritenzione delle piene straordinarie.

È l'autorità idrica che si occupa della costruzione di queste opere.

Per quanto riguarda il terreno dove vengono costruite le nuove dighe, l'autorità idrica tende nella totalità dei casi ad acquisire la piena proprietà. Invece in caso di polder, tendono a lasciare la proprietà agli agricoltori, per non sottrarre terreno agricolo alla produzione, e talvolta a risarcire i danni subiti dalle coltivazioni quando si verifica l'alluvione.

Come viene analizzato da J. Albrecht, T. Hartmann, 2021, per l'acquisizione dei terreni da mettere a disposizione per le opere, l'autorità idrica si può muovere con diverse modalità:

1. Accordi contrattuali sull'uso del suolo

Questi avvengono tra i proprietari terrieri e l'autorità idrica, in genere accompagnati da una servitù registrata al catasto. È un accordo che si basa su eventuali linee guida emesse dal legislatore, ma il risarcimento che viene dato per ripagare i danni causati dall'inondazione viene comunque negoziato tra le parti. Questo metodo viene utilizzato in caso di terreni destinati a polder.

2. Acquisto a mercato libero

Questo metodo permette all'autorità idrica di acquisire sul libero mercato la piena proprietà del terreno. Esso è tutelato dal diritto privato, lo Stato non può imporre al proprietario terriero di vendere il suo bene. In alternativa al pagamento in denaro, la parte acquirente può offrire una permuta di terreni al proprietario, questo implica chiaramente che l'autorità idrica sia già in possesso di altri terreni al momento della

trattativa con il privato. In questo caso, lo scopo finale dell'acquisizione è quello della costruzione di infrastrutture permanenti.

3. Diritto di prelazione

Dal 2017, in Germania, vige il diritto di prelazione da parte dell'autorità di bacino sulle particelle di terreno che possono essere necessarie per la gestione del rischio di alluvione. È, pertanto, presente un elenco di queste particelle e, nel momento in cui vi sia un atto di compravendita, il notaio si trova obbligatoriamente a dover notificare all'autorità idrica il contratto di acquisto, la quale può esercitare la prelazione comprando il lotto al prezzo di mercato.

4. Espropriazione

In ultima istanza, può essere utilizzato il metodo dell'esproprio, in particolare quando l'interesse pubblico viene prima dell'interesse privato. Negli ultimi anni si sono fatte modifiche alla legge, la quale ora prevede l'autorità idrica veda assegnarsi il possesso preliminare della proprietà anche se la procedura di espropriazione non è stata completata.

5. Consolidamento fondiario

Consiste nella riorganizzazione e raggruppamento di lotti di terreno, al fine di evitare oneri sproporzionati limitati a pochi proprietari la cui terra rischia l'espropriazione. Questo metodo viene utilizzato per facilitare le grandi opere infrastrutturali. È prevista un'autorità dedicata ed è opportunamente regolamentata.

5.2 Opere di laminazione

5.2.1 Definizione

Con la parola laminazione si intende il fenomeno per il quale il valore di colmo della portata subisce un'attenuazione ed un ritardo nel tempo. Questo avviene grazie all'immagazzinamento temporaneo di volumi di acqua che può avvenire in aree perifluviali di naturale allagamento (golene) o per mezzo di opere idrauliche

situate lungo il percorso del flusso dell'acqua che mettono in atto degli invasi artificiali.

Chiaramente, se il corso d'acqua è confinato, ovvero il letto è artificiale, non vi è possibilità di laminazione e, anzi, si aumenta la probabilità di allagamenti a valle. Questo avviene molto spesso nei centri abitati, dove le golene naturali sono state eliminate. Per questo, si rende necessario avere a disposizione delle soluzioni di laminazione nelle campagne, dove vi è spazio a sufficienza.

Si rende necessario distinguere tra due tipologie di espansione della corrente di piena: in un caso vi sono degli invasi di laminazione ove il livello dell'acqua al suo interno aumenta durante il passaggio del picco di portata della piena e diminuisce quando il corso d'acqua consente la reimmissione; nell'altro, invece, il moto dell'acqua è transitorio, che dipende ovviamente da com'è configurato il terreno superficialmente.

Le opere di scarico dell'invaso devono avere due funzionalità: la prima è quella di regolare le portate allontanate in condizioni di piena e l'altra è quella di non ostacolare le portate di magra.

Si parla di "laminazione ottimale" quando la portata uscente è costante durante la fase di colmo e, di conseguenza, si ha il volume di laminazione minimo necessario. Per realizzare questo, c'è la necessità di avere un sistema di regolazione dello scarico.

5.2.2 Due tipologie di laminazione

Le opere di laminazione possono essere costruite seguendo due principi differenti: la laminazione in linea e la laminazione in derivazione. Si vede nella figura 3 il differente comportamento dell'onda di piena in presenza dei due differenti tipi di opera.

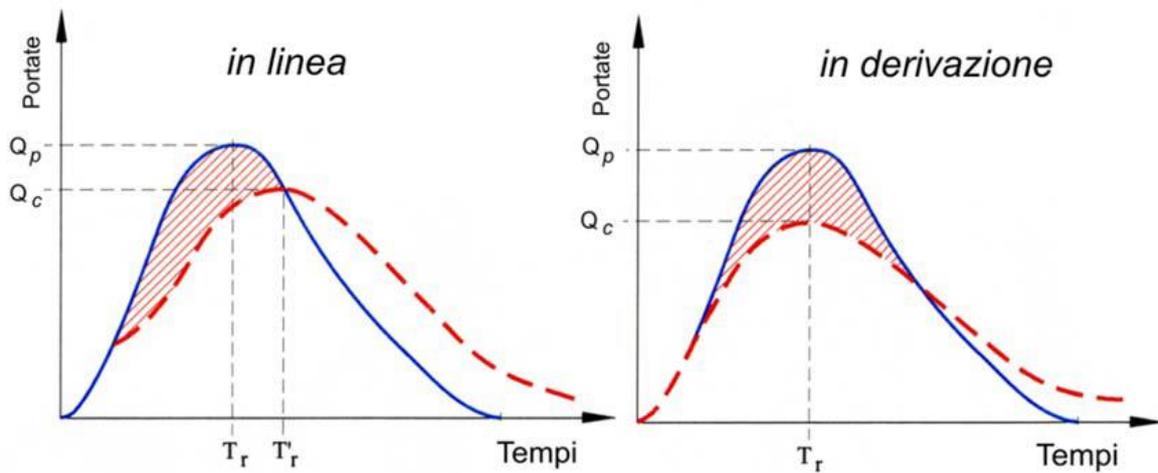


Figura 3: grafici raffiguranti l'onda di piena (blu) laminata nei due tipi di opere (rossa)

a. Laminazione in linea:

Gli invasi di laminazione in linea (figura 4) consistono in uno sbarramento trasversale (diga) nel letto del fiume, il quale garantisce che la quantità di acqua in uscita sia tale da non creare pericolo a valle. In questo modo l'onda di picco di piena viene smorzata grazie all'accumulo che si crea a monte dello sbarramento. Questo bacino che si crea, in genere, è circondato da argini progettati e costruiti appositamente.

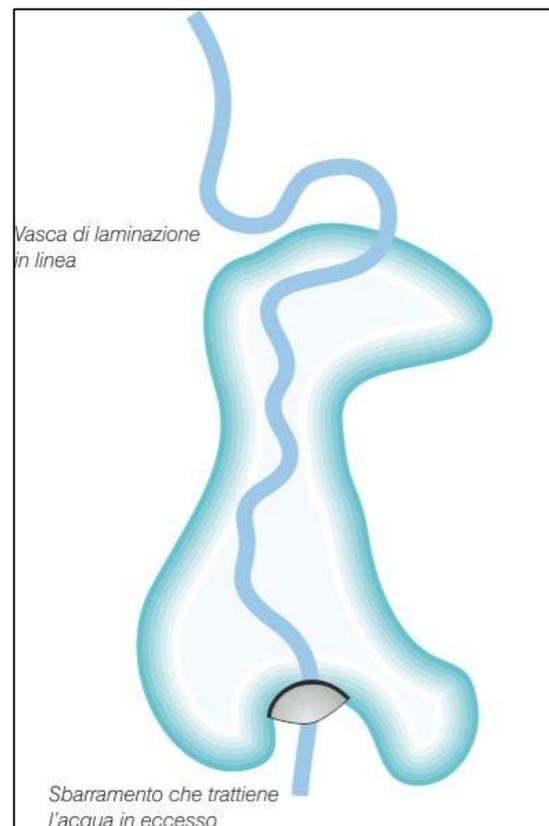


Figura 4: bacino di laminazione in linea

L'esempio per eccellenza di questo tipo di opere è la cassa di espansione sul torrente Parma, in figura 5. Come spiega una relazione di AIPO del febbraio 2016, si tratta di un bacino di ritenuta di 136 ettari, formato da una diga (manufatto regolatore) alta 24 metri, di lunghezza pari a 110 metri, la quale presenta nella parte inferiore tre aperture (luci di scarico) regolate da paratoie che consentono, in

massima ritenuta della cassa e completa apertura, il flusso di 500 metri cubi al secondo.

Inoltre, i 4 km di argini laterali costruiti su diaframma in calcestruzzo, consentono di



Figura 5: Cassa di espansione in linea del calcestruzzo, torrente Parma
ottenere una capacità massima dell'invaso pari a 14 milioni di metri cubi di acqua. Il costo di realizzazione è stato di 32 milioni di euro, e l'opera è funzionante dal 2005.

b. Laminazione in derivazione:

Gli invasi fuori linea (figura 6) vengono realizzati in derivazione al corso d'acqua. Nel letto del fiume viene costruito uno sbarramento che favorisce il passaggio dell'acqua all'interno di prese laterali che conducono alla cassa di espansione. Quest'ultima presenta sul fondo delle bocche a battente per la fuoriuscita dell'acqua quando la piena è terminata. È fondamentale che la cassa sia vuota all'arrivo della piena successiva, per poter garantire al massimo la sua funzionalità.

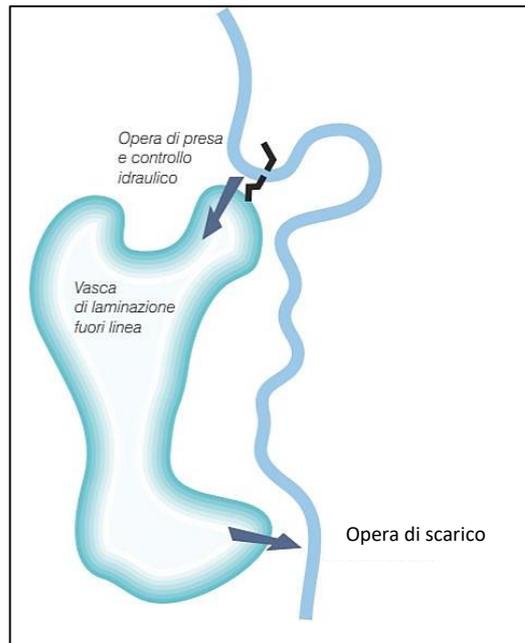


Figura 6: bacino di laminazione in derivazione

Un esempio di questo tipo di opera si trova nei territori dei comuni di Canelli (AT) e S. Stefano Belbo (CN) sul torrente Belbo, in figura 7.



Figura 7: Cassa di espansione in derivazione del Torrente Belbo

L'infrastruttura, realizzata da Aipo in collaborazione con Regione Piemonte, province ed

istituzioni del territorio, è stata inaugurata a fine 2008, dopo 3 anni di lavoro. Una cassa in derivazione formata da 2 bacini in serie, per una capacità massima di 1,8 milioni di metri cubi di acqua; occupa una superficie di 40.5 ettari di fascia B a monte dell'abitato di Canelli. Come spiega il volume n 3-4/2008 de Aipo informa, "l'opera di derivazione è costituita da uno sfioratore laterale regolato da un restringimento artificiale dell'alveo, che ne riduce la larghezza da 38m a 21m. Il manufatto di troppo pieno è uno sfioratore in calcestruzzo disposto nel settore di valle della cassa. Ognuno dei due bacini è dotato di un proprio scarico di fondo con doppio sistema d'intercettazione a paratoie piane. Le arginature sono realizzate in materiale limoso e rese perfettamente impermeabili mediante interposizione di mantellate in calcestruzzo, opportunamente rinverdate ai fini di un miglior inserimento ambientale."

Anche i laghi artificiali o naturali, con le giuste accortezze, possono avere la funzione di invasi di laminazione.

Dove il problema delle piene di natura pluviale può anche essere particolarmente rilevante, è nei centri urbani, con la rete fognaria non più in grado di smaltire correttamente l'onda di picco di piena. In questo caso, gli invasi vengono inseriti direttamente nella rete di fognatura con tubi di sezione maggiorata (supertubi) oppure con delle vasche, dette vasche volano.

5.3 Canali scolmatori

I canali scolmatori costituiscono una soluzione aggiuntiva per evitare che il picco di onda della piena arrivi in punti delicati, per esempio nei centri urbani. Consistono in canali costruiti appositamente per convogliare in un altro corpo idrico, oppure nello stesso ma a valle del tratto critico,

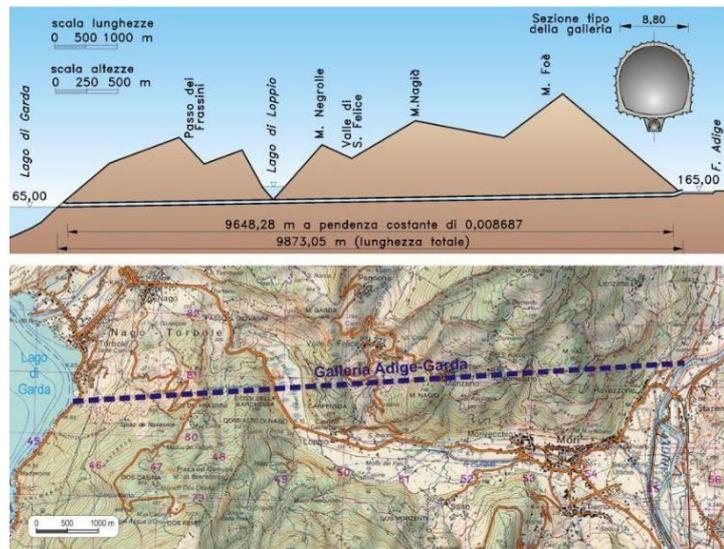


Figura 8: Galleria che unisce il Fiume Adige al Lago di Garda

parte della portata di piena. Queste sono opere molto efficaci, ma presentano elevati costi di realizzazione e manutenzione futura, senza tralasciare l'impatto che creano. Ne è un esempio la galleria Adige-Garda, lunga quasi 10 km, realizzata negli anni 50, rappresentato in figura 8.

5.4 Argini

La costruzione di un argine costituisce un'azione di mitigazione strutturale di tipo passiva, infatti esso è un'opera contenitrice della piena, che rende il livello dell'acqua compatibile con il territorio. Come rappresentato in figura 9, essi possono essere costruiti lungo le sponde naturali del letto del fiume, quindi realizzati in froldo, oppure possono essere realizzati in golena, ovvero più distanti dalle sponde verso il perimetro esterno delle aree inondabili. In alcuni casi, possono esserci degli argini secondari, di altezza limitata e pertanto sommergibili, posti tra gli argini maestri e il fiume. Questi argini possono essere costruiti in direzione obliqua rispetto al fiume: vengono detti soprastanti se procedono nel verso della corrente, soggiacenti in caso contrario.

Nella progettazione di un argine viene preso in considerazione il livello massimo dell'onda di piena ed aggiunto un franco di sicurezza 'f'.

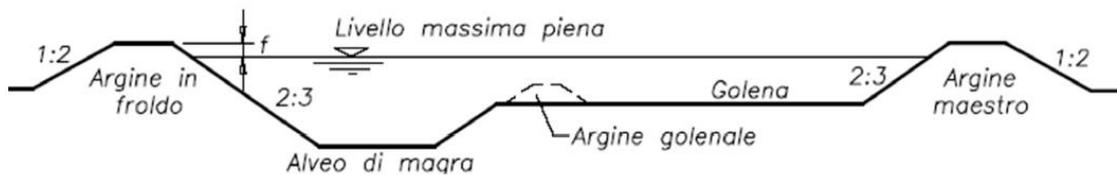


Figura 9: rappresentazione delle tipologie di argine

In genere gli argini in terra presentano un'altezza compresa tra i 10 e i 12 metri, per altezze maggiori vengono prese in considerazione altri tipi di soluzioni, come il calcestruzzo armato e le panconature mobili da applicare poco prima dell'evento.

Queste opere possono presentare delle condizioni di instabilità: le azioni che possono creare instabilità possono essere esterne, con erosione della scarpata e scalzamento dovuto alla corrente, od interne, causate da filtrazioni alimentate dal cambiamento del livello dell'acqua, dagli eventi meteorici e dalle falde. Questi difetti dell'opera non vengono considerati nelle varie analisi, in quanto difficili da trattare e da trasformare in valori utilizzabili ai fini del calcolo. Per ovviare a questa mancanza, si provvede a monitorare costantemente le opere, soprattutto durante l'evento di piena.

5.4.1 Il paradosso dell'argine

Come anticipato, lo scopo funzionale dell'argine è quello di rendere compatibile il livello dell'acqua durante l'onda di piena con il territorio. In questo modo, le aree inondabili verranno quindi preservate da danni. Con la costruzione dell'opera diminuisce drasticamente la pericolosità, questo, però, può provocare nella popolazione un illusorio senso di sicurezza che induce all'urbanizzazione e quindi all'aumento dell'esposizione nell'area inondabile protetta dall'argine.

Quindi, come raffigurato nei due esempi di figura 10, la costruzione dell'argine induce l'urbanizzazione dell'area protetta che a sua volta crea un aumento del danno provocato in caso di inondazione, facendo così aumentare il rischio nonostante la diminuzione della pericolosità.

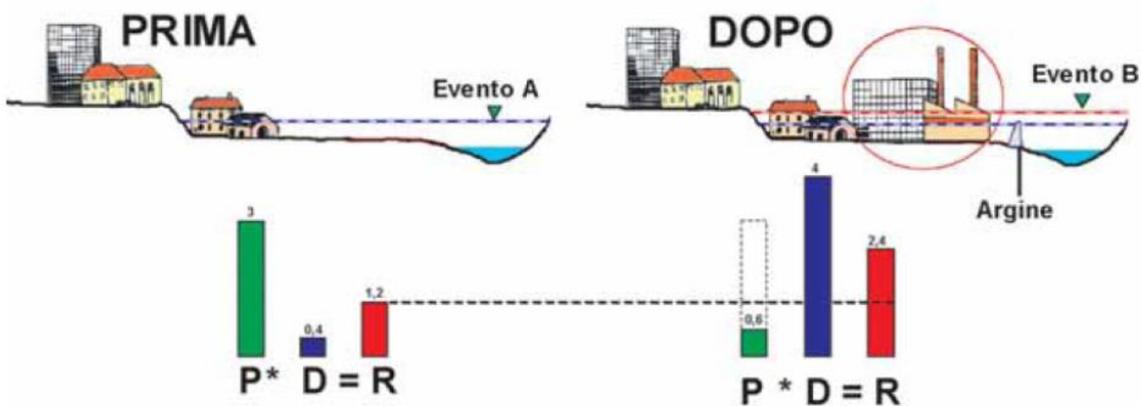


Figura 10: esempio del paradosso dell'argine

5.5 Opere per la stabilizzazione delle sponde

Per preservare le sponde dei fiumi e torrenti dall'erosione, si possono mettere in atto alcune opere, per esempio:

- Rivestimenti di vegetazione. È il modo più semplice per prevenire l'erosione superficiale dovuta agli eventi meteorici. La semina di tappeti erbosi, la piantumazione di arbusti, può essere integrata con la posa l'uso di reti o tessuti naturali per favorire la riuscita del rinverdimento.
- Rivestimenti rigidi, con calcestruzzo o in muratura di pietrame, con caratteristiche di impermeabilità e rigidità, con rischio di rotture causate da cedimenti.
- Rivestimenti semi-rigidi, elementi in calcestruzzo legati da catene o perni, con lo scopo di alleggerire l'opera. Hanno avuto poco riscontro nell'utilizzo.
- Rivestimenti flessibili, sono permeabili ed evitano le rotture. Consistono in gettate di materiali sciolti, scogliere di pietrame

sciolti o in blocchi, rete metallica e pietrame.

5.6 Interazione tra la società e il sistema idrogeologico

L'uomo influenza molto il sistema idrogeologico e lo può fare in diversi modi: con la costruzione argini ed infrastrutture oppure con l'utilizzo smisurato dell'irrigazione e delle falde sotterranee, creando così siccità.

Secondo Mazzoleni, et al, 2021, esistono modelli che simulano l'interazione che c'è tra la società, la gestione dell'acqua e gli estremi idrogeologici, ovvero la siccità e le inondazioni.

La struttura di questi modelli si basa su 4 sistemi:

1. Sistema del bacino idrico: deve considerare il controllo delle inondazioni e l'approvvigionamento idrico rilasciando un flusso di acqua in base alla domanda a valle e al rischio di asciutta del bacino stesso.
2. Sistema di siccità: tiene conto della domanda dettata dalla carenza d'acqua e dalla percezione della società.
3. Sistema di piena: viene considerata la propagazione dell'onda di rilascio dal bacino e la conseguente inondazione a valle.
4. Sistema di popolazione: collegamento diretto tra il sistema di siccità e quello di inondazione. Prende in considerazione le variazioni demografiche della popolazione a valle del bacino.

Inoltre, durante la simulazione si prendono in considerazione il sistema dei serbatoi, il sistema di siccità, il sistema di allagamento e il sistema di popolazione.

Secondo Mazzoleni, et al. 2020, alcuni studi dicono che in Cina il 33% della popolazione vive in zone alluvionali e negli Stati Uniti il 13%. È la dimostrazione per cui la società si senta sicura con le opere di difesa da alluvioni. Talvolta, però, in alcune zone dopo un'alluvione la gente non ritorna nelle proprie abitazioni, ma si trasferisce in zone non alluvionali; solo in alcuni casi, dopo la riparazione delle

infrastrutture di difesa, la popolazione in queste zone torna ad aumentare.

GHSL: è un database prodotto dall'elaborazione di immagini satellitari nel corso di 40 anni, con possibilità di avere dati più o meno approfonditi. Esso fornisce lo strato di densità dell'area edificata, lo strato di popolazione e un grado di urbanizzazione.

È fondamentale avere una mappatura corretta delle aree alluvionali, per avere una conseguente valutazione il più possibile vicino al dato reale della popolazione soggetta alle alluvioni ed ai danni.

Per mappare le piene, esistono 2 approcci differenti: quello idrologico e quello idrogeomorfo. Nel primo, la mappatura si basa sull'uso di modelli idrologici e idrodinamici forzati con eventi alluvionali sintetici di una data probabilità di accadimento e periodo di ritorno. Nel secondo, invece, le aree alluvionali vengono identificate direttamente dalla topografia come entità morfologiche uniche principalmente modellate dagli effetti accumulati dei processi geomorfici ed idrologici. In questo studio, viene utilizzato un metodo che prende in considerazione diversi aspetti: la stima degli indici delle perdite alluvionali, la stima delle gravità delle perdite alluvionali, la stima delle variazioni della presenza umana nelle pianure alluvionali dopo un periodo definito e le analisi statistiche.

Viene utilizzato l'International Disaster Database per il periodo dal 1975 al 2015. Questo database contiene 22000 disastri dal 1900 ad oggi, però i valori potrebbero essere sottostimati in quanto vengono registrati gli eventi solamente se hanno una delle seguenti caratteristiche: causano almeno 10 vittime, 100 persone sono colpite dal disastro oppure vi è una richiesta di assistenza umanitaria internazionale od una dichiarazione di stato di emergenza.

La metodologia utilizzata è costituita da 4 fasi principali di stima di indici:

1. Indici delle perdite alluvionali

Si dimostra che la percezione del pericolo della popolazione che abita in una zona alluvionale è molto bassa finché non avviene l'evento alluvionale. Dopo tale evento, la percezione del pericolo chiaramente aumenta, ma comunque dipende dal livello di

danno/perdita subito. Un indice elevato di danno indica che la presenza umana nella zona alluvionale è elevata e che, quindi, percezione del pericolo è molto basso.

2. Gravità delle perdite da alluvione

L'indice di gravità delle perdite, viene calcolato in 2 ambiti: quello per le vittime delle inondazioni e quello per le perdite economiche. In questo metodo vengono messi a confronto gli indici delle perdite relative a due periodi diversi: 1990-2000 e 1975-2000.

Ci si può trovare in diverse situazioni in base al valore di questi indici: per esempio, se entrambi gli indici sono superiori ad 1, significa una gravità più intensa delle perdite di inondazione del periodo 1990-2000 rispetto al periodo di riferimento di lungo termine.

3. Presenza umana nelle pianure alluvionali

Restringendo l'analisi ai paesi dove c'è stata una grave inondazione, si va a contare il numero di vittime e a quantificare le perdite economiche, e successivamente ad osservare la differenza di presenza di popolazione tra due periodi diversi.

Si comprende che i valori sono influenzati molto dalla risoluzione del set.

4. Analisi statistiche

Vengono effettuati test non parametrici. Per queste analisi, i paesi vengono anche suddivisi in base al livello di reddito, per valutare correttamente le conseguenze dell'evento grave sulla ricchezza.

Il parametro della ricchezza di una popolazione si manifesta ed è facilmente individuabile osservando l'area edificata in zona alluvionale. Se la popolazione è ricca, è possibile che le infrastrutture di protezione dalle inondazioni vengano implementate e quindi le aree alluvionali siano più popolate, con un'annessa bassa percezione di rischio. Al contrario, invece, una popolazione meno ricca sceglierà di stabilirsi in zone non alluvionali, per evitare le eventuali perdite in caso di evento grave.

5.7 Analisi economica di varie soluzioni e processo decisionale

Negli ultimi anni, ci si è concentrati di più nel trovare delle soluzioni preventive ai danni da alluvione, come per esempio: l'impermeabilizzazione degli edifici, la protezione dalle inondazioni, il ripascimento delle spiagge, eventuali altre soluzioni basate sulla natura per i sistemi fluviali, il drenaggio urbano.

L'obiettivo è trovare la soluzione migliore basandosi sugli effetti che il livello del mare e i cambiamenti del clima hanno sul rischio di inondazione e di conseguenza sull'aspetto socio-economico.

Ultimamente, però, si sta cercando di effettuare anche una valutazione economica delle soluzioni. Queste informazioni sono spesso nascoste; le valutazioni vengono fatte a livello locale.

È difficile sapere il costo di un'opera molto prima di realizzarla, infatti le stime dettagliate vengono effettuate durante la progettazione e a posteriori verrà diffusa solamente la cifra totale.

Nel momento in cui si fanno confronti, è bene fare le giuste valutazioni in base alle voci che sono comprese nel costo unitario di un'opera. Non vi sono degli elenchi standard per elencare in modo dettagliato i costi.

Vi possono essere differenze di prezzi da un paese all'altro e da una zona all'altra di uno stesso paese, per esempio tra la zona urbana e l'area agricola vi sono differenze dei prezzi dei terreni e livelli di difficoltà differenti riscontrabili nel cantiere operativo.

Nel tempo i prezzi possono cambiare, a causa della fluttuazione dei mercati, delle crisi economiche, dell'inflazione.

Jeroen C. J. H. Aerts 2018, analizza nel dettaglio le diverse tipologie di prevenzione danni da inondazione:

1. Impermeabilizzazione e sopraelevazione

Soluzioni per preservare l'edificio dai danni di inondazione. Esiste l'impermeabilizzazione a secco e quella a umido, con durata stimata di 20-30 anni. Oppure può essere praticata l'elevazione, sia che l'edificio sia nuovo che esistente. Negli USA

queste pratiche sono incluse nelle linee guida del codice edilizio fornito dallo Stato, ed, inoltre, ove l'edificio sia finanziato da mutuo garantito dallo Stato, queste soluzioni sono obbligatorie nelle zone classificate alluvionali. Il costo assicurativo diminuisce se sull'edificio sono state applicate queste soluzioni.

- o Elevazione e ricollocazione: chiaramente i costi di elevazione o di ricollocazione dipendono dal paese in cui ci trova, dalla tipologia di fabbricato, dalla distanza a cui si vuole spostare l'edificio. Sicuramente in città i costi sono più elevati rispetto alla campagna; stessa condizione per un'operazione eseguita negli Stati Uniti rispetto ad una eseguita in Bangladesh o Vietnam
- o Impermeabilizzazione a secco: consiste nell'applicare un rivestimento impermeabile alle murature dei fabbricati, sigillare le aperture di porte e finestre che si trovano al di sotto del livello di allagamento previsto. Anche questo metodo presenta livelli di costo differenti in base al luogo in cui ci trova, nei paesi in via di sviluppo i costi sono più bassi. Questa soluzione presenta anche dei difetti, per esempio le murature soggette al carico dell'inondazione potrebbero cedere e causare danni all'edificio.
- o Impermeabilizzazione a umido: consiste nel permettere all'acqua dell'inondazione di entrare nell'edificio, ma prendendo alcuni accorgimenti, per esempio quello di disporre l'impianto elettrico ad un'altezza con la quale si eviti il contatto con l'acqua, oppure l'utilizzo di una pavimentazione che sia praticabile immediatamente dopo la fine dell'inondazione. Questa soluzione risulta essere meno costosa rispetto alle precedenti e non compromette la stabilità delle murature dell'edificio.

Per questa tipologia di intervento, L'US Army Corps of Engineers (USACE) stima un costo di

194.496 \$/edificio, contro la stima fatta da Jones et al. 2006 pari a 102.888 \$/edificio.

2. Protezione dalle inondazioni

- o Barriere contro le mareggiate
Infrastrutture fisse o mobili, costruite per proteggere gli insediamenti costieri. Il costo, nell'ordine di qualche miliardo di dollari al km, varia molto in base alla sua progettazione. Inoltre, presenta costi di manutenzione.
- o Argini marittimi o fluviali
Decisamente meno costosi, costruiti con materiale come argilla, ghiaia, sabbia, ricoperti da vegetazione o manto solido di asfalto o massi. Alcuni esempi di costi per le dighe marine: negli Stati Uniti è stimato a 28,8 \$ milioni/km, per il Vietnam a 2,3 \$ milioni/km, per i Paesi Bassi 19,3-27,2 \$ milioni/km. Invece per quelle fluviali, i costi sono più bassi: Stati Uniti pari a 12,1-18,2 \$ milioni/km, Canada 5 \$ milioni/km.
- o Dighe di terra rurali
Queste sono create con terra e argilla, utilizzate nelle campagne. Costi relativamente bassi: per il Canada è di \$ 2,1 milioni/km per metro di diga sollevata, nei Paesi Bassi, invece, di \$ 5,1-14 milioni/km. Nei paesi in via di sviluppo, invece: 0,1-0,2 \$ milioni/km (Mozambico) e 0,9-1,5 \$ milioni/km (Vietnam).
- o Muri alluvionali
Vere e proprie murature in cemento o ferro, costruite su solide fondamenta. Presentano bassissimi costi di manutenzione futura, ma elevati costi di costruzione: circa 31 milioni di dollari/km.
- o Rip-Rap
Muro di roccia lungo i torrenti, per prevenire l'atto di erosione del flusso di acqua e la fuoriuscita dal letto. (Costo stimato pari a 80 \$/ton)

3. Protezione costiera

Incremento della sabbia sulle spiagge per prevenire l'innalzamento del livello dell'acqua dovuto alle maree.

I costi stimati variano molto in base al trasporto, per esempio negli Stati Uniti si ha da 5 a 18 \$/m³, nei Paesi Bassi è stimato a 4-8 \$/m³ ed i numeri medi per l'UE variano da 5 a 11\$/m³.

4. Soluzioni basate su ecosistemi costieri con costi molto differenti in base allo stato reale del territorio, per esempio negli USA: da 80.000\$/ha a 1.600.000\$/ha.
5. Gestione dei canali e soluzioni basate sulla natura per i sistemi fluviali
 - o Mantenere puliti dai detriti gli alvei e i canali di scolo, evitando così l'inondazione. Il dragaggio del reticolo fluviale permette l'asportazione del materiale, liberando la via al flusso dell'acqua. Anche questa operazione può avere dei costi differenti in base al paese in cui ci si trova (dai 15 ai 60 dollari al metro cubo nei paesi sviluppati, qualche unità invece nei paesi in via di sviluppo). Ovviamente è necessaria un corretto smaltimento del materiale
6. Misure nei centri urbani

Nei centri urbani, le possibili soluzioni di prevenzione alle inondazioni consistono in: sistemi di drenaggio ingegnerizzati, con calati, tubazioni in cemento che favoriscono il drenaggio dell'acqua in eccesso in superficie verso i corpi idrici più vicini. Dove ciò non è permesso, per esempio dove il livello del mare è più alto del livello della terra, vengono impiegati sistemi di pompaggio. Siccome queste soluzioni sono relativamente costose, negli ultimi anni si sta cercando di affidare la soluzione a sistemi di drenaggio urbano sostenibili, ovvero sistemi che trattengono l'acqua piovana: per esempio tetti verdi e zone umide. Le aree verdi delle città, utilizzate a scopo ricreativo per la popolazione, rappresentano una valida soluzione per mitigare il rischio di inondazione.

Chiaramente, la protezione da eventi alluvionali ha un costo. Per questo motivo i Paesi devono fare delle scelte. Queste scelte si basano sul livello di rischio che ogni Paese reputa accettabile.

Per i Paesi con basso o medio reddito, può risultare particolarmente costoso far fronte alle spese per la costruzione di infrastrutture di prevenzione inondazione, che sia di fiume oppure di mare. Pertanto, dovranno mettere in atto delle politiche complementari, come la pianificazione dell'uso del territorio per impedire la presenza umana nelle aree alluvionali, oppure ridurre in qualche modo i costi di costruzione delle dighe e ridurre il deflusso dell'acqua. Indubbiamente, è sempre necessario un efficiente sistema di allerta e comunicazione sul rischio residuo. Inoltre, è fondamentale un piano di manutenzioni future delle opere. Qualora venisse a mancare, potrebbe creare danni a persone ed infrastrutture.

6. ANALISI COSTI-BENEFICI: L'ESEMPIO DI LODI

Per l'aggiornamento e la revisione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del bacino del fiume Po per il ciclo 2021-2027, viene presa in considerazione l'analisi costi-benefici dell'opera di mitigazione del rischio alluvionale costruita sulla sponda idrografica destra del fiume Adda a Lodi, a seguito dell'alluvione del 2002. Suddetta analisi è riportata da Gattai nella tesi di laurea *Flood damage assessment in support of the definition of risk mitigation strategies: the case of Lodi*, nell'ambito del progetto di ricerca Flood-IMPAT+ intrapresa con Politecnico di Milano e l'Autorità di Distretto del Fiume Po, con la partecipazione di altri stakeholders.

Un evento alluvionale straordinario, con un livello dell'acqua pari a 3.14 metri sopra lo zero idrometrico (nella figura 11 le aree allagate), per il quale le vecchie difese arginali non bastarono.

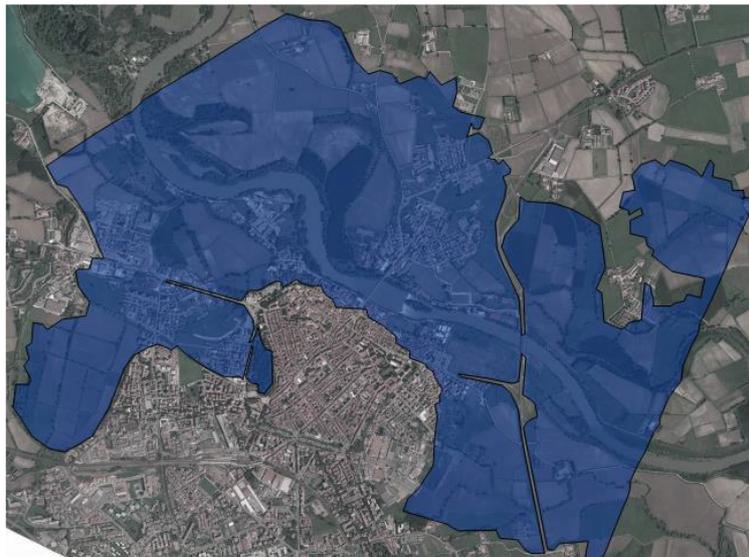


Figura 11: in blu le zone allagate dall'alluvione del fiume Adda di novembre 2002 a Lodi

Nasce così l'esigenza di costruire una nuova opera di mitigazione, con un percorso di 14 anni prima della conclusione.

Come riporta l'allegato 4.2, l'opera di mitigazione consiste in argini di terra e muri in calcestruzzo sui quali vengono montate delle panconature metalliche mobili al fine di raggiungere la quota minima per

l'arginatura necessaria per un evento alluvionale con tempo di ritorno pari a 200 anni; in figura 12 è riportato il tracciato dell'opera ed in figura 13 l'individuazione delle fasce alluvionali sul sito di studio.



Figura 12: Identificazione del tracciato arginale costruito a Lodi. In giallo i tratti in terrapieno, in rosso quelli in calcestruzzo



Figura 13: Mappa di pericolosità con l'individuazione delle tre fasce alluvionali nell'anno 2000 dell'area di Lodi oggetto di studio

Nel caso specifico di Lodi, la valutazione dei danni è stata effettuata utilizzando i modelli di stima simple-Insyde e Agride-c. Sono stati considerati il settore residenziale e quello agricolo. Confrontando i dati con e senza arginatura, si nota che l'opera di mitigazione riesce a ridurre del 50% il danno nel settore residenziale, ma solamente di circa il 10% quello agricolo.

In figura 14 si può vedere la differenza del danno al settore residenziale tra prima di avere l'argine e dopo.



Figura 14: Mappa del danno al settore residenziale, a sinistra prima e a destra dopo la costruzione dell'opera.

Maggiore è il numero di scenari considerati, più la stima e il calcolo dei valori sono affidabili, maggiore sarà la veridicità dell'analisi costi-benefici.

Applicando la seguente formula: $B/C = \frac{\int D2 dp - \int D1 dp}{C/T}$

Dove:

B/C: rapporto costi-benefici

D1 E D2: 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: costo totale dell'opera (dalla progettazione alla manutenzione futura, includendo i costi indiretti).

T: vita utile dell'opera.

Nel processo di analisi costi-benefici, si stima una durata dell'opera pari a 100 anni e si considera un'inflazione pari a zero per semplicità.

I danni evitati, sia nel settore agricolo che in quello residenziale, si calcolano per un valore di 224.700,00 €.

Il costo dell'opera è di 4.394.800,00 €, che corrispondono a 43.948,00 € annuali, ai quali si aggiungono 31.700,00 € per la manutenzione annuale dell'opera e 18.000,00 € per la formazione degli addetto al montaggio delle panconature, per un totale di 93.648,00 €.

In questo caso, facendo l'analisi costi-benefici a posteriori della costruzione dell'opera, si ottiene un valore B/C pari a 2.4, ovvero l'opera di mitigazione costruita crea un beneficio annuale superiore di 2.4 volte al suo costo annuale.

Condurre un'analisi costi-benefici non è semplice, vi possono essere diversi livelli con cui approfondire i danni, per esempio per un'attività commerciale è necessario tenere in considerazione il danno materiale e quindi il costo di ripristino, ma anche il danno non quantificabile, come quello dovuto al fermo dell'attività, difficile da stimare. Inoltre, non sono stati considerati i costi indiretti, come per esempio l'impatto sulle attività e sui servizi quotidiani, sulla perdita dell'habitat e sull'estetica.

Indubbiamente, per condurre un'analisi completa, è necessario considerare, oltre al settore residenziale ed agricolo, anche quello industriale, culturale, delle infrastrutture strategiche.

Costruito l'argine, questo crea un senso di sicurezza alla popolazione tale per cui le aree agricole (vedi figura 15) che prima erano considerate a rischio e dove



Figura 15: individuata dalla linea rossa l'area che da agricola diventerebbe residenziale

nessuno avrebbe costruito, con gli anni diventano delle aree residenziali.

A questo punto, si può scegliere tra 2 tipologie di costruzioni residenziali. Optare per una struttura con locale interrato ed elevate finiture andando incontro a considerevoli danni in caso di alluvione con $T > 200$; oppure realizzare una struttura più semplice e grezza per tutelarsi dagli eventi calamitosi futuri.

7.ASSICURAZIONI SUI DANNI DA ALLUVIONE

7.1 Analisi generale

Il rischio di alluvioni è aumentato in Francia negli ultimi 20 anni e si prevede che aumenterà ulteriormente in futuro a causa dei cambiamenti climatici e dell'aumento dell'esposizione (Jennifer K. et al, 2013). Dal 1982, la Francia dispone di un sistema di assicurazione contro i disastri naturali, il "CatNat", che copre i danni causati dalle inondazioni. Questo sistema assicurativo è stato combinato con i cosiddetti "Piani di prevenzione dei rischi" (PPR) al fine di stimolare l'adozione di misure di mitigazione del rischio di alluvione da parte delle comunità e delle famiglie. Tuttavia, però, questi schemi non forniscono incentivi ottimali per la riduzione dei danni provocati dalle inondazioni.

Come riportano Reimund Schwarze & Gert G Wagner 2004, l'alluvione tedesca dell'estate 2002 ha portato alla sottoscrizione da parte dello Stato di un documento che propone un'assicurazione contro i rischi naturali praticabile per la Germania che si basa su due principi. In primo luogo, tutti i disastri naturali di base (tempeste di vento, inondazioni, terremoti, ecc.) sarebbero coperti da un'unica polizza. Questo approccio di pooling aumenterebbe sia l'efficienza della copertura del rischio sia il livello di accettazione del nuovo tipo di assicurazione. In secondo luogo, in caso di alluvioni, sarebbero assicurati solo i danni "una volta al secolo". Le inondazioni che si ripetono regolarmente, tuttavia, non sarebbero coperte. Lo Stato interverrebbe come assicuratore finale in caso di accumulo di danni, ma l'intervento dello Stato sarebbe strettamente limitato alla copertura di danni estremi.

Normalmente, secondo M.A.U.R. Tariq, O.A.C. Hoes and N.C. Van de Giesen 2013, le tariffe assicurative si basano su eventi storici di alluvione o su uno specifico progetto di alluvione. Viene sviluppata la mappa di distribuzione dei danni annuali previsti per valutare la distribuzione spaziale del rischio. L'assicurazione contro le inondazioni, il risarcimento del governo e l'aiuto comunale attraverso la raccolta di donazioni private sono misure comuni che aiutano il recupero delle comunità

colpite. Un pronto recupero aiuta a limitare l'ulteriore crescita delle perdite indirette economiche, sociali, sanitarie e ambientali. Tuttavia, tale assistenza, eccetto l'assicurazione, incoraggia le comunità della pianura alluvionale con un aumento dell'esposizione e del rischio, mentre l'assicurazione contro le alluvioni ricorda agli abitanti della pianura alluvionale del rischio che possiedono su basi continue e costringerli a limitare i loro investimenti nelle pianure alluvionali. Le famiglie e le imprese devono convivere con il rischio alluvionale e purtroppo talvolta questo è un limite per lo sviluppo dell'attività.

L'assicurazione è a tutti gli effetti una misura anti-alluvione, che agisce, a differenza delle altre, in tempi post-evento, andando a risarcire i cittadini dei danni subiti.

Rimane uno strumento non molto utilizzato su scala mondiale, molto probabilmente a causa della bassa frequenza di eventi alluvionali e della percezione del cittadino che l'evento non accada più.

La riluttanza ad acquistare un'assicurazione a volte è causata dal fatto che l'investimento in un'assicurazione appare più elevato dello stesso rischio di inondazioni (Kunreuther, 1996). La correlazione tra polizza assicurativa e rischio di alluvioni rimane una questione controversa. Nel settore assicurativo, i modelli di valutazione del rischio si basano su zone alluvionali o su dati disponibili sui danni da alluvione derivanti da eventi storici (Mehlhorn et al. 2005).

I premi assicurativi basati su un singolo evento di alluvione non solo riscuotono un premio sproporzionato, ma non assicurano nemmeno le aree a basso rischio. Un tasso di assicurazione efficace e appropriato dovrebbe essere proporzionale al rischio coinvolto. Il premio a tasso fisso non rappresentativo causerà un addebito eccessivo nelle aree a basso rischio e un addebito inferiore alle aree ad alto rischio. Se un altro assicuratore offre tassi assicurativi bassi in base all'intensità del rischio, i clienti ovviamente preferirebbero optare per tassi bassi. Di conseguenza, l'assicuratore otterrà più clienti da aree ad alto rischio in cui i tassi di premio assicurativo sono inferiori ai danni potenziali. L'assicuratore subirà la differenza e

quindi una perdita. Questo fenomeno è noto come "selezione avversa".

Inoltre, è necessario determinare con precisione il rischio di alluvione e riscuotere il premio assicurativo in base al rischio effettivo. In assenza di una struttura assicurativa basata sul rischio, i premi continueranno a essere riscossi sulla base di un approccio convenzionale a tasso fisso. Attualmente, le persone nelle aree ad alto rischio sono sovvenzionate da persone nelle aree a basso rischio (Crichton, 2006), mentre, il fatto è che l'inondazione non può essere considerata un evento imprevedibile (Kron, 2002), e la probabilità di inondazioni e il loro impatto possono essere stimati in modo accurato e preciso; quindi è possibile mettere in atto tutte le misure per prevenire danni o stimare in modo accurato il rischio futuro.

7.2 Flood for NatCat modelling: modellizzazione del rischio di catastrofi naturali

Il rischio è in funzione di tre parametri: hazard, vulnerabilità e l'esposizione.

- Hazard: pericolosità, ovvero "probabilità di eventi catastrofici di data intensità oppure intensità di eventi di data probabilità". Input/shock che può essere dovuto all'acqua, vento, tremore del terreno.
- Vulnerabilità: qual è la risposta dell'edificio o terreno all'evento di calamità e qual è la fragilità e resilienza del tessuto sociale presente nell'area.
- Esposizione: valore che deve essere protetto (costruzioni e persone).

Per aumentare la resilienza di un bene, è necessario agire dal lato fisico e dal lato finanziario.

Il sistema assicurativo è formato da tre componenti:

- Policy holders: chi compra la protezione assicurativa
- Insures: le compagnie di assicurazioni a livello nazionale che vendono protezione, ma che si prendono in carico solo parte del rischio, perché a loro volta acquistano protezione dai reinsures.

- Reinsures: società a livello mondiale che vendono protezione, si prendono in carico parte del rischio e lo trasferiscono al mercato.
- Financial market: gli investitori si accollano il rischio con i loro investimenti in denaro.

Il rischio zero non esiste, però l'obiettivo è ridurre la soglia ad un livello accettabile. Per far questo è necessario diversificare a diversi livelli.

I modelli che vengono utilizzati per calcolare il rischio catastrofale devono tenere in considerazione qual è il livello di protezione strutturale. Infatti, è necessario calcolare il rischio di quando l'evento supera la soglia di sopportazione. È fondamentale, avere una buona raccolta dati delle strutture esistenti, in genere con delle mappe del territorio. La frammentazione degli organi competenti, comporta talvolta la frammentazione delle informazioni, sicuramente non aiutata dal continuo cambiamento del clima e della conformazione dei fiumi sul territorio.

Il modello di NatCat è basato per la quantificazione del rischio sul concetto per cui la perdita è in funzione dell'Hazard, della vulnerabilità e dell'esposizione.

Il cambiamento del clima deve essere preso in considerazione costantemente e l'attività assicuratrice deve colloquiare con l'assicurato prevedendo anche quale sarà il premio assicurativo negli anni futuri.

I privati e gli enti pubblici sono così incentivati a pianificare il territorio in modo ottimale.

In Italia non c'è la cultura dell'assicurazione. Non avendo le assicurazioni, la questione resta sempre in mano allo Stato. Così facendo, il rating dell'Italia è basso, perché lo Stato è sempre soggetto a rischio e questo porta delle conseguenze sui mercati in generale.

Secondo Riccardo Cesari, Leandro D'Aurizio 2019, Una delle cause della bassa tendenza a stipulare polizze assicurative contro danni da calamità naturali è l'azzardo morale, secondo il quale la popolazione danneggiata tende ad affidarsi all'intervento pubblico post-emergenza, senza considerare le soluzioni di prevenzione strutturale e/o assicurative ex-ante.

Inoltre, si ha il problema della selezione avversa degli assicurati. Solamente chi è fortemente esposto al rischio cercherà di avere una copertura assicurativa,

per tanto, l'agenzia assicurativa dovrà richiedere premi elevati per poter coprire risarcimenti ingenti.

Per ovviare ai problemi citati sopra, in alcuni Stati come: Francia, Spagna, Regno Unito, Turchia, Giappone, Stati Uniti, Cile e Nuova Zelanda; viene messa in atto una collaborazione tra pubblico e privato, dove da un lato il legislatore mette degli obblighi, o semi-obblighi, di avere un'assicurazione e dall'altro contribuisce con dei finanziamenti per diminuire i premi richiesti al privato.

Il documento riporta la seguente classificazione:

- Paesi con un forte ruolo della regolamentazione pubblica, caratterizzati da coperture assicurative in qualche misura obbligatorie (Francia, Svizzera, Spagna, Cile e Nuova Zelanda), con premi definiti per legge e caratterizzati da forte mutualità;
- Paesi dove la regolamentazione pubblica è forte, ma nei quali mutualità e obbligatorietà non sono contemporaneamente presenti (Giappone e Turchia);
- Paesi con un ruolo più limitato del decisore pubblico, coperture assicurative volontarie (Regno Unito, Stati Uniti) e premi assicurativi commisurati al livello di rischio;

In Italia, però, la percentuale di edifici assicurati contro gli eventi naturali estremi è molto bassa.

8. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il presente lavoro di tesi si è focalizzato sul tema "alluvione", tralasciando tutti gli altri tipi di eventi estremi che coinvolgono l'acqua.

Analizzando quello che è il rischio alluvionale, si nota che esso dipende da 3 fattori: pericolosità 'H', esposizione 'E' e vulnerabilità 'V'.

Per poter ridurre il rischio è, quindi, necessario intervenire per ridurre uno o più di questi tre fattori.

Per esempio, ridurre la pericolosità H con le azioni di mitigazione (figura 16):

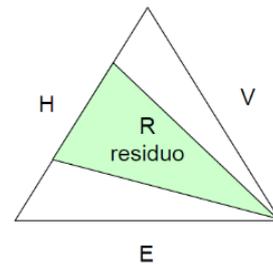


Figura 16: schema riduzione pericolosità

Oppure ridurre l'esposizione E delle persone e dei beni nella zona a rischio.

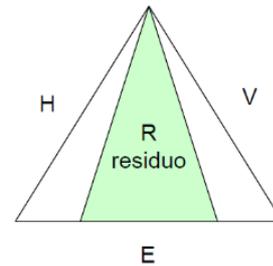


Figura 17: schema riduzione esposizione

Infine, riducendo anche la vulnerabilità V dei beni esposti, si vede in figura 18 come agendo sui tre fattori si riesca a ridurre notevolmente il rischio.

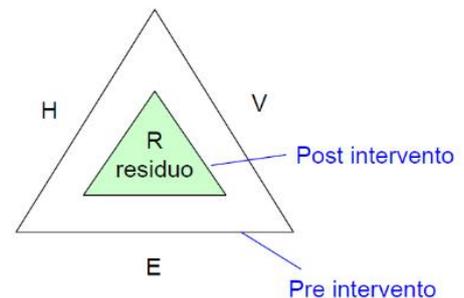


Figura 18: schema riduzione dei tre fattori coinvolti

Analizzando nel suo complesso la normativa e gli enti coinvolti nella gestione del rischio alluvionale, si può comprendere come negli anni si è cercato di uniformare a livello europeo le leggi, con la Direttive Acque e la Direttiva Alluvioni. Ed inoltre, in Italia prima di tutti, si è passati gradualmente da ragionare a livello di ente amministrativo a ragionare su larga scala con i bacini idrografici.

Negli anni sono stati sviluppati dei modelli per stimare il danno dopo un evento estremo. Ogni modello può essere utilizzato in un contesto ben preciso, infatti in casi particolari possono essere creati modello appositi.

Il lavoro svolto mette a frutto una considerazione inerente all'analisi costi-benefici: essa risulta essere un'operazione complessa, che necessita una quantità considerevole di dati di partenza, oltre a stime da porre in itinere. Per questo fino ad oggi è poco utilizzata, e talvolta viene effettuata a lavori conclusi, quando la reperibilità dei dati risulta essere più facile. Si crede, però, che questa operazione sia sempre più necessaria, soprattutto per introdurre una scelta oggettiva sui progetti di azioni di mitigazione da intraprendere, limitando l'impronta politica.

Come già detto, il modo più semplice per ridurre il rischio è ridurre la pericolosità con azioni di mitigazione strutturali e non strutturali.

Si è visto come, soprattutto in Italia, la popolazione mostra riluttanza verso la stipula di assicurazioni per coprire il rischio alluvionale. La causa principale è la consapevolezza che in ogni caso l'ente statale offrirà comunque un contributo ai cittadini dopo la catastrofe. Negli ultimi anni, però, le imprese che si trovano in aree a rischio alluvione, iniziano a cercare soluzioni. Infatti, per il settore industriale il danno subito da un alluvione è duplice e spesso non quantificabile, in quanto oltre al danno materiale causato dall'acqua, si ha il danno indiretto causato dal fermo dell'attività, con conseguenza perdita di lavoro, di clienti e quindi di profitti. Per questo vi sono esempi, come quello della Ferrero di Alba, che dopo aver subito ingenti danni da alluvione, decide di costruire tutto intorno allo stabilimento un muro impermeabile con sistemi di cancelli con chiusura ermetica, per preservare l'impianto di produzione e non subire danni.

Questo è un esempio di come le aziende si trovano ad essere vulnerabili di fronte agli eventi estremi e talvolta vincolate alla funzionalità delle infrastrutture, come il terminal di Novara est, raffigurato in figura 19. Si tratta di un luogo di scarico mezzi a ruote dai treni. Il luogo presenta un solo accesso su rotaia, con un ponte sul torrente Terdoppio. Questo rappresenta a tutti gli effetti un punto debole di questo impianto industriale, in quanto in caso di evento estremo con conseguente danno al ponte utilizzato, l'attività del terminal sarebbe interrotta.



Figura 19: Terminal di Novara est

Nasce così l'esigenza di rafforzare la partnership tra pubblico e privato. Nel 2015 nasce il progetto Derris: DisastEr Risk Reduction INsurance. Derris è un progetto europeo rivolto alla pubblica amministrazione ed alle imprese, con l'obiettivo di ridurre i rischi causati da eventi climatici estremi. Questo progetto include, tra gli altri, una compagnia di assicurazioni e la Città di Torino. Esso fornisce la formazione per la valutazione e la gestione del rischio, mettendo a disposizione delle imprese un modello di auto-valutazione dei rischi. Il fine ultimo di Derris è quello di tutelare il territorio, cercando strumenti finanziari per convogliare capitali destinati alla riduzione dei rischi.

Nel Piano di Resilienza Climatica della città di Torino, pubblicato nel luglio 2020, viene descritto il progetto Derris sviluppato sul territorio torinese, coinvolgendo 30 imprese. In questo ambito sono stati realizzati una serie di percorsi formativi e sopralluoghi in azienda, con lo scopo di trasmettere competenze di valutazione e gestione del rischio, la costruzione e diffusione di strumenti per ridurre al minimo i danni a livello di singola azienda ma anche a livello di distretto di imprese.

Questo è il primo tassello per una vera e proficua collaborazione sul territorio tra PA e PMI che dovrà essere amplificato ed adottato su scala globale.

BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA

Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Legge 18 maggio 1989, n. 183

Gazzetta ufficiale delle Comunità europee - DIRETTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO, del 23 ottobre 2000

Gazzetta ufficiale dell'Unione europea - DIRETTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO, del 23 ottobre 2007

Arrighi, M. Brugioni, F. Castelli, S. Franceschini and B. Mazzanti - (Flood risk assessment in art cities: the exemplary case of Florence (Italy) - C. 2015

Bianci C., Salvati P., Rapporto Periodico sul Rischio posto alla Popolazione italiana da Frane e Inondazioni - 2021

Francesca Carisi, Kai Schröter, Alessio Domeneghetti, Heidi Kreibich, and Attilio Castellarin - Development and assessment of uni- and multivariable flood loss models for Emilia-Romagna (Italy) 2018

Jennifer K. Poussin, W.J. Wouter Botzen & Jeroen C.J.H. Aerts (2013) Stimulating flood damage mitigation through insurance: an assessment of the French CatNat system, *Environmental Hazards*, 12:3-4, 258-277, DOI, 2013

Jeroen C. J. H. Aerts - A review of cost estimates for flood adaptation, *Water* 2018, 10(11), 1646; <https://doi.org/10.3390/w10111646>

Jones, CP; Coubourne, WL; Marshall, J.; Rogers, SM Valutazione degli standard edilizi del National Flood Insurance Program. American Institutes for Research e NFIP Evaluation Working Group, 2006. Disponibile online: <http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=2592>

Juliane Albrecht, Thomas Hartmann, Land for flood risk management—Instruments and strategies of land management for polders and dike relocations in Germany, 2021

Lindersson, S., Brandimarte, L., Mård, J., and Di Baldassarre, G.: Global riverine flood risk - how do hydrogeomorphic floodplain maps compare to flood hazard maps?, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 21, 2921-2948, <https://doi.org/10.5194/nhess-21-2921-2021>, 2021.

Mattia Amadio et al. Testing empirical and synthetic flood damage models: the case of Italy

Mazzoleni, M., V. Odongo, E. Mondino, and G. Di Baldassarre. 2021. Water management, hydrological extremes, and society: modeling interactions and phenomena. *Ecology and Society* 26(4):4.

Mazzoleni, M., Mård, J., Rusca, M., Odongo, V., Lindersson, S., & Di Baldassarre, G. (2021). Floodplains in the Anthropocene: A global analysis of the interplay between human population, built environment, and flood severity. *Water Resources Research*, 57, e2020WR027744.

M.A.U.R. Tariq, O.A.C. Hoes and N.C. Van de Giesen - Development of a risk-based framework to integrate flood insurance, 2013

Molinari D. et al., Are flood damage models converging to "reality"? Lessons learnt from a blind test. 2020

Reimund Schwarze & Gert G Wagner - In the Aftermath of Dresden: New Directions in German Flood Insurance 2004

Riccardo Cesari, Leandro D'Aurizio - Calamità naturali e coperture assicurative: valutazione dei rischi e policy options per il caso italiano. Luglio 2019

Rosso Renzo - Rischio idrologico e protezione idraulica del territorio - CUSL (Milano), 2002

Sara Lindersson , Luigia Brandimarte , Johanna Mård , and Giuliano Di Baldassarre - Global riverine flood risk - how do hydrogeomorphic floodplain maps compare to flood hazard maps? 2021

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni 2021 - Distretto del Fiume Po: allegato 4.2 Alluvione di Lodi del 2002: sperimentazione ex-post dell'analisi costi-benefici

Gattai, Flood damage assessment in support of the definition of risk mitigation strategies, 2019.

<http://hdl.handle.net/10589/145620>

Siti consultati:

www.prefettura.it

www.isprambiente.gov.it

www.mite.gov.it

www.isprambiente.gov.it

www.protezionecivile.gov.it

www.politicheagricole.it

www.idrogeo.isprambiente.it

www.comune.torino.it

www.derris.eu

RINGRAZIAMENTI

Giunto a questo traguardo molto importante per me, vorrei innanzitutto ringraziare il relatore della mia tesi di laurea magistrale, il Prof. Daniele Ganora, il quale si è dimostrato molto disponibile nei miei confronti e con il quale sono riuscito ad applicare la mia preparazione da ingegnere gestionale su un argomento prettamente legato all'ambiente ed al territorio.

Ringrazio infinitamente la mia famiglia per il costante supporto e con la quale, fortunatamente, sono riuscito a convivere in tutti questi anni di università, senza dovermi trasferire lontano da casa.

Ringrazio tutti i compagni di corso che si sono susseguiti negli anni e con i quali ho condiviso il bello ed il meno bello del periodo universitario.

Ringrazio gli amici di sempre, quelli che comprendevano che durante la sessione esami si usciva poco la sera.

Ringrazio il Politecnico di Torino, che in questa avventura mi ha dato tanto. In questi anni si è scritta una parte molto importante della persona che sono adesso.

Ringrazio me stesso, per aver continuato a credere in questo percorso formativo ed averlo portato a compimento. Dovessi scegliere un'altra volta, rifarei la stessa scelta.

Grazie a tutti!

Rubiano Federico 278055