

REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana  
Assessorato Territorio e Ambiente

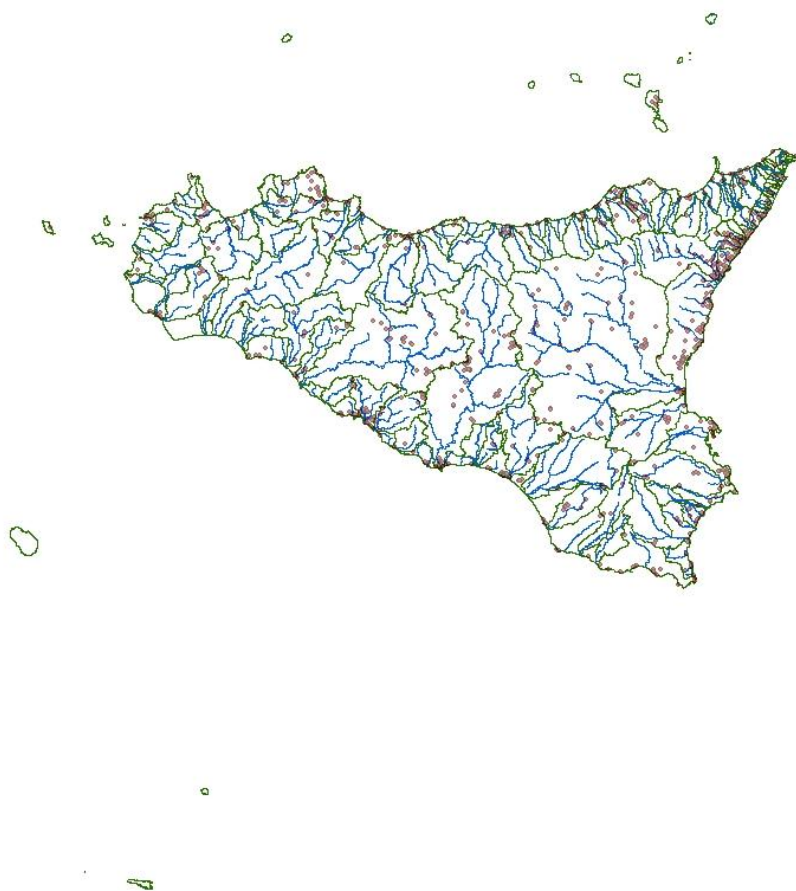
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE  
Servizio 3 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

## **Piano di gestione del Rischio di Alluvioni**

**Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni**

### **ALLEGATO C**

#### **ANALISI COSTI-BENEFICI. VALUTAZIONE ECONOMICA DEL DANNO ATTESO**



**Novembre 2015**



## INDICE

<b>1.</b>	<b>ANALISI COSTI-BENEFICI. VALUTAZIONE ECONOMICA DEL DANNO ATTESO</b>	<b>1</b>
1.1.	<i>Curve di danno</i>	3
1.2.	<i>Metodologia di valutazione e mappatura del danno</i>	5
1.1.1	<i>Metodo con le curve “tiranti idrici-danno”</i>	5
1.1.2	<i>Metodo speditivo</i>	8
1.3.	<i>Valutazione dell’incertezza del danno atteso</i>	9
1.4.	<i>L’Analisi Costi-Benefici degli interventi del Piano</i>	10
1.5.	<i>Metodologia di elaborazione dell’Analisi Costi-Benefici</i>	11
1.6.	<i>Valutazione del danno atteso medio annuo</i>	14



## 1. ANALISI COSTI-BENEFICI. VALUTAZIONE ECONOMICA DEL DANNO ATTESO

La definizione di una metodologia di valutazione del danno causato da un'alluvione risulta propedeutica per l'elaborazione di una mappa territoriale dei beni esposti, del livello di esposizione e delle analisi costi-benefici degli interventi di mitigazione. Le mappe del rischio, ai sensi della Direttiva 2007/60/CE, devono indicare le potenziali conseguenze negative (danni) derivanti dalle alluvioni sulla salute umana, l'attività economica, il patrimonio culturale e l'ambiente. In particolare, la Direttiva stabilisce che le mappe di rischio debbano mostrare le potenziali conseguenze avverse associate alle inondazioni, nell'ambito di ciascun scenario di evento, esprimendo tali conseguenze in termini di:

- numero indicativo degli abitanti potenzialmente interessati;
- tipo di attività economiche insistenti sull'area potenzialmente interessata;
- impianti di cui all'allegato I della direttiva 96/61/CE del Consiglio, del 24 settembre 1996, sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento, che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di alluvione;
- aree protette potenzialmente interessate, individuate nell'allegato IV, paragrafo 1, punti i), iii) e v) della direttiva 2000/60/CE;
- altre informazioni considerate utili dagli Stati membri, come l'indicazione delle aree in cui possono verificarsi alluvioni con elevato volume di sedimenti trasportati e colate detritiche e informazioni su altre notevoli fonti di inquinamento.

Tuttavia, né la suddetta Direttiva né il decreto 49/2010 sono accompagnati da linee guida per la predisposizione di tali mappe e per la valutazione del danno, attività propedeutica anche all'elaborazione dell'ACB. Per la stima del danno, gli elementi e le informazioni territoriali che andranno ricercate, all'interno delle aree a rischio di alluvione, sono individuate nelle seguenti 4 macrocategorie:

- Popolazione interessata dalle inondazioni;
- Attività economiche (agricoltura, attività estrattive, ecc.) ed infrastrutture e strutture strategiche (autostrade, ferrovie, porti, ospedali, scuole, servizi idrici, linee elettriche, ecc.);
- Beni culturali-archeologici;
- Beni ambientali.

L'analisi del danno (D) ricomprenderà, quindi, le suddette 4 macrocategorie indicate dalla direttiva (popolazione  $D_p$ , attività economiche  $D_e$ , beni culturali-archeologici  $D_c$ , beni ambientali  $D_a$ ):

$$D = D_p + D_e + D_c + D_a$$

Ciascuna componente di danno dovrà essere valutata nelle singole classi di uso del suolo<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Le mappe di uso del suolo dettagliate e uniformi sono necessarie per la valutazione del rischio di piena, poiché permettono di individuare gli elementi esposti a danno in caso di inondazione. L'individuazione delle varie categorie o classi di uso del suolo deve tenere conto del fatto che un maggior livello di dettaglio dei tematismi si rende necessario lì dove i danni potenziali sono maggiori o più altamente variabili (aree edificate, industrie, infrastrutture), mentre un minor livello di dettaglio può essere utilizzato lì dove i danni sono inferiori (aree a pascolo, agricole, ecc.). La classificazione di uso del suolo che si intende adottare è quella del livello 3 del Corine Land Cover.



I danni vengono solitamente classificati nelle categorie “diretti” e “indiretti”, a loro volta suddivisi in “tangibili” e “intangibili”. La distinzione tra danno tangibile e danno intangibile si basa sul fatto di poter assegnare o meno un valore monetario alle conseguenze dell’inondazione. I danni *diretti* risultano dal contatto fisico tra l’evento naturale (pioggia, mareggiata, sisma, eruzione, ecc.) e i beni ricadenti sul territorio interessato. Tali danni possono essere tangibili, come quelli agli edifici ed al loro contenuto, oppure intangibili (di difficile quantificazione), quale la perdita di un’area archeologica o il danno ad un ecosistema. I danni *indiretti* tangibili sono quelli riferiti, ad esempio, alla perdita di produzione industriale, agricola, ecc. Tali danni, a loro volta, possono causare la perdita di attività economiche (oltre che all’indotto che tali attività generano) così come la riduzione del reddito e delle entrate fiscali, costi aggiuntivi per servizi di emergenza, perdita nel valore delle proprietà, aumento dei costi di assicurazione, disoccupazione e riduzione di salari e stipendi. Tra le perdite *intangibili*, infine, si possono ricondurre tutti quegli inconvenienti di natura clinica conseguenti il recupero psico-fisico dall’evento climatologico subito, quali gli impatti dovuti ad effetti sulla salute, valutabili con il metodo delle preferenze dichiarate (valutazione contingente, ossia la disponibilità individuale a pagare per un bene “senza mercato”).

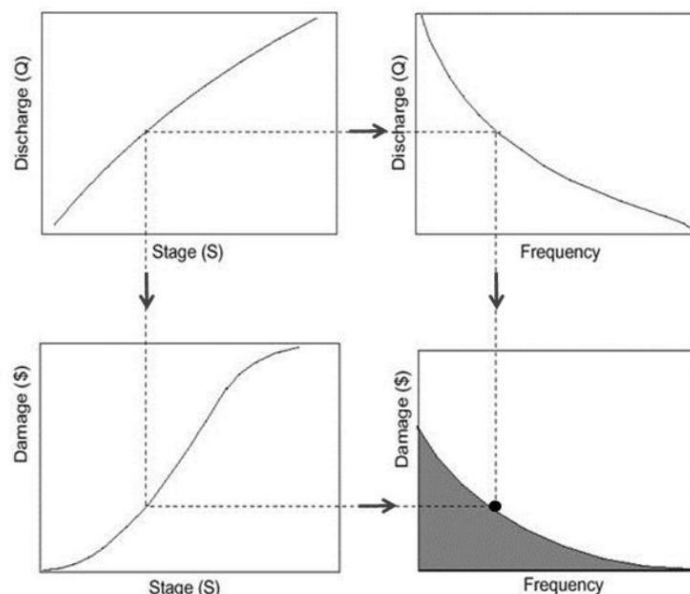
Il danno atteso<sup>2</sup> medio annuo (Expected Annual Damage, EAD), pari all’area sottesa dalla curva “*danno – frequenza di superamento*”, può interpretarsi come valore costante di una rateizzazione annua del danno, che si prevede possa verificarsi in futuro, e permette di valutare il beneficio netto conseguente ad un determinato progetto di mitigazione del danno. Per ottenere la curva “*danno-frequenza di superamento*”, la cui costruzione è empirica, si procede combinando le seguenti relazioni:

- “*danno - livello idrici*” (oppure “*danno-portata*”) che deriva dalla soluzione idraulica del problema di inondazione, noti vulnerabilità e valore economico dei beni: rappresenta il danno economico causato dai vari livelli di piena (oppure portate) in una determinata area;
- “*altezza-frequenza di superamento*” (oppure “*portata-frequenza di superamento*”): scaturisce dalle usuali analisi di frequenza degli eventi di piena.

Nella figura che segue è illustrato qualitativamente il processo logico da sviluppare per pervenire alla curva “*danno-frequenza*” (“stage” rappresenta il livello idrico dell’inondazione).

---

<sup>2</sup> Secondo la teoria della probabilità, il valore atteso di una variabile casuale discreta (che assuma cioè solo un numero finito o una infinità numerabile di valori) è dato dalla somma dei possibili valori di tale variabile, ciascuno moltiplicato per la probabilità di verificarsi. Corrisponde, quindi, alla media ponderata dei possibili risultati.



Pertanto, la soluzione iterativa del modello di danno, per portate di piena di tempo di ritorno crescente, fornisce la curva suddetta. La differenza tra il valore dell'EAD (integrale della curva) dello scenario relativo allo stato di fatto (opzione di non intervento) e il valore dell'EAD di una soluzione progettuale, rappresenta il “beneficio netto” da utilizzare per l'analisi costi-benefici relativa a quella soluzione. L'attualizzazione dei costi e dei benefici terrà poi conto della successione temporale con cui essi si presentano nell'arco del tempo che si considera come “vita utile” del progetto che dipende dal tipo di intervento che si intende realizzare.

### 1.1. Curve di danno

La valutazione di un danno può essere eseguita, in via speditiva, facendo ricorso alle cosiddette “curve di danno” le quali esprimono il “danno atteso” in funzione della pericolosità dell'evento (espresso dall'altezza idrica di allagamento) e delle caratteristiche di vulnerabilità dell'attività/bene esposto. Tali curve rappresentano lo strumento principale adottato, a livello internazionale, per la valutazione dei danni diretti a varie categorie residenziali, ossia delle curve basate sulla relazione tra la probabilità del danno subito e le caratteristiche fisiche dell'evento di pioggia (variabili idrauliche quali l'altezza idrica d'inondazione).

Esistono due tipi di curve di danno: curve di danno assoluto che legano il valore economico complessivo del danno all'altezza di allagamento; curve di danno relative<sup>3</sup> che legano il danno relativo, cioè la percentuale del danno rispetto al valore dell'elemento esposto, all'altezza di

<sup>3</sup> Un vantaggio nell'utilizzo delle curve di danno assolute consiste nel non dover valutare il valore di ogni singolo elemento esposto al rischio. Ciò comporta la riduzione delle informazioni da acquisire per lo sviluppo/applicazione del modello di danno, ma anche la necessità di disporre di un database di curve di danno costantemente aggiornato, in funzione dell'andamento del mercato. Al contrario le curve di danno relative, essendo indipendenti dal valore attuale dell'esposto, sono meno legate al particolare contesto fisico e temporale di origine e quindi maggiormente generalizzabili. Proprio per questo motivo, il secondo approccio è il più diffuso in letteratura.



allagamento. Di seguito si riporta un esempio riferito al contesto abitativo statunitense (US-ACE)<sup>4</sup> in confronto a quello Europeo<sup>5</sup>.

Le curve possono essere ricavate da inventari di danno (valutazioni di tipo statistico eseguite a posteriori) o dalla costruzione di scenari di danno (valutazioni a priori), tuttavia, non esistono ancora curve valide riconosciute per il contesto Italiano. Alla scala locale, la valutazione avviene a livello del singolo edificio, mentre, alla meso-scala la valutazione si focalizza su unità territoriali omogenee, solitamente in termini di destinazione d'uso (residenziale, industriale, agricolo, ecc.).

Metodologicamente, sulla scorta della simulazione delle aree allagate per ogni onda di piena con assegnato tempo di ritorno, attraverso il rilievo aerofotogrammetrico si evidenziano gli edifici ricadenti in tali aree e si associa ad ognuno la relativa destinazione d'uso e il valore economico a nuovo, ricavando i prezzi dalle quotazioni immobiliari locali. L'entità del danno percentuale in funzione dell'altezza dell'acqua raggiunta nell'edificio (curve parametriche da costruire), incrociato con il valore economico di mercato dell'immobile, darà così luogo al valore di danno assoluto dell'immobile per ciascun livello di allagamento.

Nelle aree agricole a rischio inondazione il danno atteso è legato ai valori dei seguenti parametri: colture in atto (specie e varietà, fase del ciclo colturale, produzioni medie); caratteristiche agricole dei terreni e presenza di infrastrutture agricole e degli impianti irrigui; altezza dell'acqua; tempo di permanenza dell'acqua. In linea generale il calcolo può essere semplificato valutando il danno come percentuale del valore del terreno o delle colture, considerando solo l'altezza di allagamento. La curva seguente mostra un esempio di curva di danno percentuale, in funzione dell'altezza di allagamento, proposta da James e Lee<sup>6</sup>.

Sulla base della ripartizione delle colture riportata nell'ultimo censimento dell'Agricoltura, si può quindi calcolare la media ponderata dei danni ipotizzabili per le principali coltivazioni di ciascuna categoria di uso del suolo<sup>7</sup> e per ciascun livello idrico di allagamento in funzione del tempo di ritorno.

Per altre tipologie di danno si riscontrano, in letteratura, ulteriori curve in funzione dell'altezza di allagamento ma che risultano sempre pertinenti allo specifico contesto in cui sono state elaborate. Nella figura seguente sono rappresentate le curve di danno (funzione del tirante idrico) relative a agricoltura in serra, agricoltura in pieno campo, aree ricreative, strutture abitative e loro contenuto, industrie e strade.

Altro andamento, riportato di seguito, riguarda le curve di danno US-ACE relative ad unità abitative ad un solo piano (Chicago), autovetture, attività commerciali (New Orleans) e strutture ospedaliere (Galveston Hospital).

---

<sup>4</sup> US Army Corps of Engineers: Generic depth-damage relationships for residential structures with basements. Economic Guidance Memorandum (EGM) 04-01, 2003.

<sup>5</sup> Huizinga H.J., 2007: Flood damage functions for EU member states. Technical report, HKV Consultants. Lo studio riguarda gli impatti legati alle vite umane, ambiente e proprietà nei 27 Stati membri dell'UE, oltre a Norvegia, Svizzera, Croazia e Turchia. Il valore economico ottenuto è funzione del livello di danno e l'uso specifico del terreno allagato.

<sup>6</sup> James L. D., Lee R. R., (1971), "Economics of water resources planning", Mc Graw-Hill, New York.

<sup>7</sup> Per i frutteti il valore massimo del danno atteso può essere rappresentato dalla perdita dei frutti al momento della raccolta, mentre, per i seminativi può essere stimato a partire da un valore medio espresso in €/ha.



Per le metodologie di valutazione delle diverse tipologie di danno si farà riferimento alla pubblicazione della collana “Manuali e Linee guida” n.82/2012, a cura di ISPRA, dal titolo “Proposta metodologica per l’aggiornamento delle mappe di pericolosità e di rischio. Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi da alluvioni” (ver. Luglio 2013).

## 1.2. Metodologia di valutazione e mappatura del danno

Ai fini della valutazione del danno potenziale diretto causato da un’inondazione, a partire dalla conoscenza delle classi di uso del suolo presenti nell’area d’interesse, sarà applicata una metodologia basata sull’utilizzo di curve di danno in funzione dell’altezza idrica d’inondazione o, in alternativa, una metodologia più speditiva basata sulla conoscenza dei valori massimi di costo (espressi in €/m<sup>2</sup>) da applicare per le prevalenti tipologie di suolo (CORINE LandCover) ricadenti nell’area di esondazione. Le due metodologie sono di seguito descritte.

### 1.1.1 Metodo con le curve “tiranti idrici-danno”

Come primo passo per stimare l’impatto economico diretto delle alluvioni, è possibile utilizzare le funzioni di danno potenziale. In un lavoro prodotto nel 2007 dai consulenti della società olandese HKV<sup>8</sup>, per conto del “Joint Research Centre” della Commissione Europea, per ciascuno dei 27 Stati membri dell’Unione (oltre 4 Stati non UE) sono state valutate delle funzioni di massimo danno, relative a 44 classi d’uso del suolo (classificazione CORINE LandCover), sulla base dei costi a nuovo (sostituzione) e dei costi di produttività valutati nei Paesi Bassi. I risultati dello studio, tuttora non pubblicato, sono stati adoperati e resi noti in un altro lavoro di ricerca del 2009<sup>9</sup> e sono di seguito sinteticamente esposti.

Nello studio della HKV i costi “a nuovo” (o di sostituzione) sono stati utilizzati per la valutazione dei danni fisici agli edifici, al suolo e alle infrastrutture, ipotizzando che essi vengano completamente ricostruiti o ripristinati. I costi sulla produttività, invece, sono stati utilizzati per la stima dei costi d’interruzione di quelle attività produttive ubicate all’interno e all’esterno della zona allagata. Gli stessi metodi di valutazione sono stati applicati per determinare le funzioni di danno per ciascuna categoria, in tutti i paesi dell’UE-27, sulla base dei costi di sostituzione e dei costi di sulla produttività, riferendoli ai prodotti nazionali lordi dei 27 Stati membri dell’Unione Europea.

La metodologia è basata su una fase preliminare in cui, tutti i dati disponibili relativi ai danni da inondazione e alle funzioni di danno, sono stati raccolti per tutti gli Stati europei mediante dei questionari. Il secondo passo è stato il confronto delle caratteristiche economiche dei diversi paesi (27 UE e 4 extra UE) attraverso indici statistici quali:

---

<sup>8</sup> Huizinga H.J., 2007: *Flood damage functions for EU member states. Technical report, HKV Consultants.* <http://www.hkv.nl>

<sup>9</sup> M. Rusmini, 2009. “Pan-European flood hazard and damage assessment; evaluation of a new If-SAR Digital Terrain Model for flood depth and flood extent calculation”. *International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede.* Il lavoro è stato focalizzato sul miglioramento della metodologia di valutazione dei danni conseguenti ad un evento di piena con tempo di ritorno di 100 anni, su scala europea, nell’ambito del progetto “European Flood Alert System” (EFAS). La stima dei danni consiste nella valutazione dei pericoli e nella stima delle perdite economiche all’interno del bacino del fiume Po.

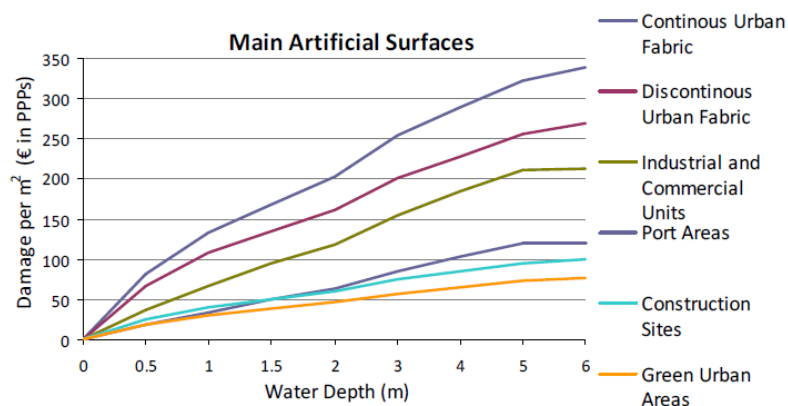




- PIL (prodotto interno lordo): prodotto economico lordo totale di uno Stato o valore pro-capite;
- PIL-PPS (potere d'acquisto standard): una moneta fittizia che considera le differenze nei valori dei prezzi nazionali;
- PIL-PPP (parità del potere d'acquisto): è il PIL convertito in dollari internazionali usando tassi paritari d'acquisto: un dollaro internazionale ha lo stesso potere di acquisto del dollaro negli Stati Uniti.

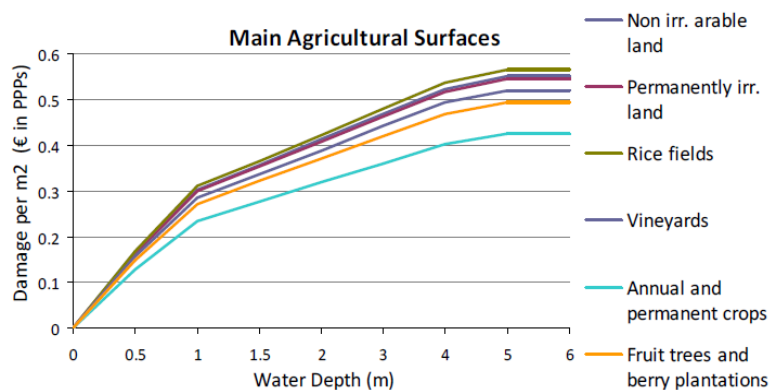
Gli esperti della HKV hanno raccolto i dati in letteratura inerenti le funzioni “tirante idrico-danno” elaborando delle curve di danno armonizzate, per ogni classe di uso del suolo, sulla base di una media territoriale. Le nuove “funzioni medie” che ne sono scaturite associano 8 diverse altezze idriche (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 o più metri) ad una percentuale di danno (valori da 0 a 1) per ciascuna delle categorie di beni esposti considerati. In questo modo la valutazione della vulnerabilità è rappresentata da “funzioni medie” i cui valori vanno da 0 a 1, mentre gli elementi a rischio sono rappresentati dai valori massimi dei danni valutati per ciascuna classe d’uso del suolo. Le classi più rilevanti sono risultate essere le seguenti 5: zone residenziali e beni contenuti, zone commerciali e industriali e beni contenuti, infrastrutture stradali, agricoltura. I risultati finali sono rappresentati dalle funzioni “tirante idrico-danno” che esprimono il danno in termini di euro/m<sup>2</sup> a parità di potere d'acquisto (PPP).

Per ciascuno dei 31 paesi coinvolti sono state elaborate altrettante funzioni di danno secondo le più importanti classi d’uso del suolo del CORINE Landcover. Le funzioni “profondità-danno” valide per l'Italia sono state fornite dall’EFAS<sup>10</sup>. Le funzioni principali per le aree urbanizzate e artificiali e per quelle agricole sono mostrate nelle due figure seguenti.



<sup>10</sup> L’European Flood Awareness System - EFAS ([www.efas.eu](http://www.efas.eu)) è stato sviluppato presso il Joint Research Centre della Commissione europea, in stretta collaborazione con i servizi nazionali idrologici e meteorologici, la Protezione Civile Europea.





Funzioni “profondità-tirante idrico” per le principali classi di uso del suolo in Italia

Pertanto la metodologia può essere così riepilogata: il primo input è rappresentato dalle mappe di pericolosità d’inondazione determinate per i vari tempi di ritorno; il secondo input è il database del CORINE LandCover; il terzo e ultimo dato di input per la determinazione del danno potenziale è rappresentato dall’elaborazione delle funzioni “profondità-danno”.

Per definire i soli impatti diretti, sarà dunque utilizzata la suddetta metodologia spaziale. La mappa CORINE-LandCover sarà sovrapposta all’area effettiva della piena, utilizzando le funzioni di danno relative definite come costo del danno (in €-PPP) per ogni metro quadrato d’uso specifico del territorio. L’impatto economico diretto provocato dall’alluvione verrà calcolato moltiplicando ciascun valore di danno per le corrispondenti categorie di suolo individuate attraverso la mappa CORINE-Land Cover.

Segue uno schema a blocchi della metodologia che sarà adottata.

A tale scopo il modello indicato come “metodo raster”, a cura dell’ENEA<sup>11</sup>, consentirà di ottenere una rappresentazione pressoché continua del danno nell’area interessata da potenziale inondazione. Il modello si basa sulla costruzione di un grid del tirante con accuratezza pari al passo del modello digitale del terreno. Per poter effettuare tutte le operazioni di analisi spaziale è necessario che i restanti tematismi (uso del suolo, ecc.) vengano convertiti in formato grid. Tale metodo comprende i seguenti passi:

- Simulazione idraulica delle aree inondate;
- Rappresentazione della superficie di inondazione mediante TIN;
- Conversione in DEM del modello spaziale del piano di inondazione (l’attributo di ciascuna cella è costituito dal valore dell’altezza idrica in corrispondenza del baricentro della cella stessa);
- Costruzione del raster del tirante mediante combinazione del DEM di inondazione e del DEM del terreno (l’attributo di ciascuna cella è costituito dal valore del tirante in corrispondenza del baricentro della cella stessa);
- Conversione della copertura di uso del suolo in formato raster con passo pari all’ampiezza della cella nel DEM del terreno;
- Valutazione della vulnerabilità (curve “altezza di inondazione-danno percentuale”);

<sup>11</sup> [http://www.afs.enea.it/protprev/www/lineeguida5/Fase\\_Interpretativa.htm](http://www.afs.enea.it/protprev/www/lineeguida5/Fase_Interpretativa.htm)



- Costruzione delle carte di vulnerabilità idraulica in formato grid;
- Calcolo del danno totale associato all'evento di piena di frequenza assegnata;
- Definizione della curva "frequenza di superamento-danno totale".

### 1.1.2 Metodo speditivo

Una metodologia di riferimento per le valutazioni speditive degli impatti economici delle inondazioni riguarda uno studio sul bacino del fiume Po<sup>12</sup>, in seguito all'alluvione del 2000, che prende spunto dai risultati della stessa ricerca del 2007 condotta a livello europeo dai consulenti della HKV (per conto del JRC).

I risultati della ricerca della HKV indicano che, in media, nei 27 stati membri dell'unione europea, gli edifici residenziali subiscono i maggiori danni da inondazione, con un valore stimato di 575 €/m<sup>2</sup>, o equivalentemente la percentuale più alta di danni totali pari al 39%. Per i settori dell'industria e del commercio i danni causati dalle inondazioni ammontano a 476 e 409 €/m<sup>2</sup>, rispettivamente, o equivalentemente al 32% e al 27% dei danni totali, rispettivamente. I danni agli altri settori, come le strade e l'agricoltura ammontano a 18 e 0,59 €/m<sup>2</sup>. Notevoli danni da inondazione sono stati stimati per i Paesi Bassi, la Germania e la Francia, tutti al di sopra dei valori medi europei. Infine, il Lussemburgo ha avuto i valori più alti di danni massimi (espressi in €/m<sup>2</sup>) mentre la Bulgaria ha mostrato i valori più bassi tra i 27 stati membri.

Per quanto riguarda l'Italia, si stima che i danni da inondazione agli edifici residenziali hanno il valore più alto tra tutte le categorie, raggiungendo il costo di 618 €/m<sup>2</sup>, o equivalentemente la percentuale più alta di danni totali, circa il 42%. I danni ai settori del commercio e dell'industria sono stati stimati pari a 511 e 440 €/m<sup>2</sup> rispettivamente o, equivalentemente, al 35% e al 30% dei danni totali, rispettivamente. I danni agli altri settori, come le strade e l'agricoltura ammontano a 20 e 0,63 €/m<sup>2</sup>, rispettivamente.

	Residential building	Commerce	Industry	Road	Agriculture
EU27	575	476	409	18	0.59
Italy	618	511	440	20	0.63
Luxembourg	1443	1195	1028	46	1.28
Germany	666	551	474	21	0.68
Netherlands	747	619	532	24	0.77
France	646	535	460	21	0.66
Bulgaria	191	158	136	6	0.2

<sup>12</sup> Fabio Farinosi, Lorenzo Carrera, Alexandros Maziotis, Jaroslav Mysiak, Fabio Eboli, Gabriele Standardi. "Policy-relevant assessment method of socio-economic impacts of floods: an Italian case study. LIAISE Working paper, project n.243826". Questo documento stima degli impatti socio-economici diretti e indiretti dell'alluvione del 2000 che ha avuto luogo in Italia nel bacino del fiume Po, utilizzando una combinazione del modello di Equilibrio Generale Calcolabile (CGE) e dell'Analisi Spaziale e Multicriterio.



**Tabella 1.1** - Valori di danno massimo da inondazione (€/m<sup>2</sup>) per categoria di danno, riferiti ai paesi dell'UE (HKV, 2007)

Sulla base dei valori dei danni massimi stimati nella relazione dei consulenti della HKV (2007), nello studio del bacino del fiume Po è stato calcolato l'impatto economico diretto dell'alluvione avvenuta nel 2000, moltiplicando i valori di danno massimo al metro quadrato (di ciascuna categoria) per le corrispondenti superfici, interessate dalle inondazioni, classificate attraverso CORINE Land Cover. Al fine di quantificare i diversi usi del suolo, sono state considerate le seguenti ipotesi:

- poiché CORINE-Land Cover non distingue tra aree industriali e commerciali, è stata applicata la media dei rispettivi valori di costo al metro quadrato (475,5 €/m<sup>2</sup>);
- nelle aree urbane discontinue è stato applicato il 50% del valore del danno riferito alle aree urbane continue (309 €/m<sup>2</sup>), a causa della loro bassa densità;
- per il trasporto su strada è stato applicato il 70% del valore del danno riferito alle strade (14 €/m<sup>2</sup>); tale voce include gli aeroporti e le ferrovie.

La tabella che segue riassume la stima dell'impatto economico diretto dell'alluvione avvenuta nel Nord Italia (bacino del fiume Po) nel mese di ottobre del 2000.

	Urban	Urban discontinuous	Industry/Commercial	Agriculture	Roads/Rail/Airports
Area [m2]	614,385	19,869,805	5,715,726	631,062,817	387,697
Damage [euro/m2]	618	309	475.5	0.63	14
Damage [euro]	379,689,930	6,139,769,745	2,717,827,713	397,569,575	5,427,758
Total damage [euro]	9,640,284,721				

**Tabella 1.2** - Valori di danno massimo (€/m<sup>2</sup>) e totale, per categoria di danno, riferiti al bacino del fiume Po nell'alluvione del 2000

Analizzando i risultati si è concluso che, anche se il danno è grossolanamente sottovalutato (9,6 miliardi di € ai prezzi del 2007), perché si riferisce soltanto ai costi diretti, la stima ottenuta dalla combinazione di CORINE-Land Cover e dei valori di danno massimo al metro quadrato è confrontabile con l'ordine di grandezza del danno totale valutato da altre fonti<sup>13</sup>.

Si ritiene, pertanto, di poter ricorrere a tale metodologia speditiva in tutti quei casi in cui non sia possibile disporre in tempi brevi di altezze idriche nelle aree di esondazione.

### 1.3. Valutazione dell'incertezza del danno atteso

Un'analisi di sensibilità viene utilizzata per identificare i parametri/valori critici. Un parametro critico è quello per il quale piccole variazioni, positive o negative, del suo valore hanno un impatto relativamente importante sulle prestazioni/esiti di una misura di gestione del

<sup>13</sup> Il database internazionale sui disastri "EM-DAT International Disaster Database" per l'alluvione del Po del 2000 registra 25 morti, una popolazione di 43.000 abitanti colpita dall'inondazione e un danno complessivo di 8 miliardi di dollari americani (dato del 2009).



rischio di alluvione o di un piano. Un'analisi di sensibilità non richiede informazioni sul grado di incertezza di ogni parametro di ingresso. Di conseguenza, le informazioni ottenute forniscono soltanto una panoramica della robustezza/variabilità dei risultati ottenuti. E' quindi opportuno approfondire l'analisi per poter comprendere il livello di affidabilità dei risultati ottenuti e poter comunicare questo grado di incertezza a chi utilizzerà tali stime per prendere delle decisioni politiche.

Lo studio dell'incertezza dei risultati può essere condotto mediante un'analisi di sensibilità e l'individuazione di intervalli di confidenza delle soluzioni ottenute. I modelli di analisi del rischio utilizzano varie informazioni riguardanti il fenomeno fisico (solitamente il tirante idrico), l'esposizione (ad. es. destinazioni d'uso del suolo), il valore dell'elemento a rischio e la sua vulnerabilità. Per compiere reali progressi in questo campo vi è la necessità di migliorare i modelli climatici e gli scenari a livello regionale, soprattutto per gli eventi estremi. Inoltre, i cambiamenti di uso del suolo sono un alto fattore di incertezza in orizzonti temporali di 50-100 anni. Una volta che siano state quantificate le incertezze maggiori, potrà essere valutata la loro influenza sul risultato della valutazione. A tal fine si potrebbe ad esempio fare uso di un'analisi Monte Carlo.

La determinazione di tutte queste componenti, quindi, contiene un certo grado di incertezza che si propaga attraverso i calcoli e si accumula nella stima finale del danno atteso. Alcuni tentativi di quantificare l'attendibilità delle previsioni prodotte dai modelli di danno sono già stati fatti: essi presentano la variabilità dei risultati nella forma di distribuzione di probabilità ed individuano come fonti principali d'errore la scelta del valore da assegnare all'elemento esposto e le curve di danno (Kok et al. 2005)<sup>14</sup>.

Nel convegno sulla direttiva alluvioni “WG F Thematic workshop on Floods & Economics” tenutosi a Gand (Belgio) nell'ottobre del 2010<sup>15</sup>, i partecipanti hanno concluso che l'incertezza è insita nel processo decisionale ed in proiezione futura. E' raccomandato quindi di diminuire le incertezze nelle valutazioni economiche per rispondere alle critiche del pubblico, poiché per accedere ai futuri strumenti di finanziamento europei dovrà essere rispettato il principio del recupero dei costi.

#### 1.4. L'Analisi Costi-Benefici degli interventi del Piano

Secondo la direttiva comunitaria 2007/60/CE, il Piano deve contenere un'analisi dei costi e dei benefici (nel seguito ACB) generati da ogni singolo intervento che sarà programmato, puntando alla ricerca di una soluzione ottimale in un'ottica di benessere collettivo. In particolare, all'art.7 co.4, lett. “i” del D.Lgs 49/2010, i costi e i benefici figurano tra i diversi aspetti di cui tenere conto nell'elaborazione del Piano. In merito all'ACB essa viene richiamata nell'Allegato della direttiva e nell'Allegato 1 (Parte A – Sez.I – punto 5) del decreto legislativo 49/2010<sup>16</sup>. Inoltre, nello stesso Allegato 1 del decreto (Parte C – punto 2), i

<sup>14</sup> Kok, M., Huizinga, H., A.C.W.M., V., & A., B. (2005). Standard Method 2004: damage and casualties caused by flooding. The Netherlands: Road and Hydraulic Engineering Institute.

<sup>15</sup> Il workshop è stato organizzato nell'ambito delle attività del gruppo di lavoro sulle inondazioni in attuazione della strategia comune dell'UE (Working group F on Floods of the EU Common Implementation Strategy).

<sup>16</sup> “Qualora disponibile, per i bacini idrografici o sottobacini condivisi, descrizione della metodologia di analisi dei costi e benefici, utilizzata per valutare le misure aventi effetti transnazionali”.



criteri d'individuazione dei costi e dei benefici sono annoverati tra quegli elementi necessari alla redazione o all'aggiornamento del Piano.

La realizzazione di infrastrutture di difesa territoriale di interesse pubblico, se da un lato produce dei benefici pertinenti la tutela (incolumità, salute, ecosistemi, ecc.), la fruizione di luoghi e/o lo sviluppo economico delle comunità, dall'altro potrebbe generare dei "costi esterni", di natura ambientale e/o sociale (le cosiddette "esternalità negative"), i quali determinano ineguali effetti distributivi delle risorse pubbliche, oltre che problemi di giustizia sociale. Scopo dell'Analisi Costi-Benefici (ACB) è quello, quindi, di confrontare l'efficienza e l'efficacia di differenti alternative, in termini tecnico-economici, sociali ed ambientali, siano esse politiche pubbliche, progetti o regolamentazioni utilizzabili per la soluzione di un determinato problema.

Secondo tale impostazione, quindi, la scelta delle azioni di mitigazione del rischio dovrà basarsi sulla quantificazione socio-economica dei costi e dei benefici relativi a tutti quegli elementi e quei beni, che ricadono nelle aree interessate dalle alluvioni, quali la popolazione, gli impianti produttivi, le attività economiche, le infrastrutture di trasporto, i beni culturali, storici, archeologici e i beni ambientali. L'applicazione di tale processo di valutazione mira ad individuare soluzioni alternative, che possono essere di tipo strutturale e/o gestionale<sup>17</sup>, le quali potrebbero anche suggerire, quale intervento ottimale da realizzare, la delocalizzazione di attività economiche<sup>18</sup> o l'allagamento preordinato di alcune aree, al fine di garantire sia la riduzione del danno in caso di alluvione (in termini di vite umane, beni immobili, l'ambiente, il patrimonio storico-culturale e l'attività economica) sia, ove possibile, il ripristino delle condizioni naturali dei corsi d'acqua.

### **1.5. Metodologia di elaborazione dell'Analisi Costi-Benefici**

L'opportunità di disporre di valutazioni che integrino aspetti economici, sociali ed ambientali complessi rappresenta un'importante strumento d'analisi per una migliore scelta delle soluzioni progettuali.

L'ACB verifica se i benefici che un'alternativa di progetto è in grado di apportare alla collettività nel suo complesso (benefici sociali) siano maggiori dei relativi costi (costi sociali). Attraverso il calcolo dei benefici e dei costi del progetto, interni ed esterni (questi ultimi di natura diretta, indiretta o indotta), si cercherà di valutare se, entro i limiti temporali e fisici dell'analisi, quel progetto crea valore sociale o, al contrario, lo riduce. L'ACB risulta estesa, quindi, alle componenti finanziarie, economiche, sociali ed ambientali includendo così nel processo di valutazione tutti quegli elementi che, a seguito della realizzazione di un'ipotesi progettuale, produrranno o manifesteranno un effetto diretto, indiretto o indotto. Compito finale dell'ACB, a seguito dei risultati derivanti dai confronti (mediante indicatori sintetici<sup>19</sup>)

---

<sup>17</sup>D.L.vo 49/2010, Art.7, co.1: "I piani di gestione possono anche comprendere la promozione di pratiche sostenibili di uso del suolo, il miglioramento delle azioni di ritenzione delle acque, nonché l'inondazione controllata di certe aree in caso di fenomeno alluvionale."

<sup>18</sup> Note all'art.7 D.L.vo 49/2010: "Alle imprese industriali, artigianali, agro-industriali, commerciali, turistico-alberghiere e agri-turistiche, che in conseguenza degli eventi calamitosi del 5 e 6 maggio 1998 (eventi franosi di Sarno e Quindici) sono state distrutte o hanno subito danni agli immobili, impianti, macchinari e scorte in misura superiore al 50 per cento del loro valore, sono concessi finanziamenti agevolati, a condizione che dette imprese rilocalizzino le proprie attività in condizione di sicurezza, al di fuori delle zone a rischio".

<sup>19</sup> Quali il Valore Attualizzato Netto - VAN, il Tasso di Rendimento Interno - TRI, ecc.



tra le diverse alternative progettuali (inclusa l'opzione di non intervento), sarà quella di individuare la soluzione più vantaggiosa sia sotto l'aspetto economico-finanziario sia sotto l'aspetto socio-ambientale<sup>20</sup>. Nello specifico, un progetto sarà giudicato fattibile se i benefici sociali risulteranno superiori ai costi sociali, selezionando quell'intervento che mostra il beneficio netto più alto.

L'ACB è composta, per ciascuna alternativa progettuale da confrontare (inclusa l'opzione "zero" interventi), da un'analisi finanziaria (uscite e entrate) e un'analisi economica (costi e benefici) dei flussi di cassa che vanno attualizzati, rispettivamente, mediante un tasso di sconto finanziario ed uno economico<sup>21</sup>. Per eseguire l'ACB si deve tenere conto, oltre che del costo complessivo del progetto, anche dei costi relativi alla manutenzione delle opere durante il loro ciclo di "vita utile" e di tutti gli oneri finanziari inerenti la sua realizzazione. Le fasi principali dell'ACB sono di seguito elencate:

- identificazione dei costi e dei benefici;
- valutazione in termini monetari dei costi e dei benefici (sociali e ambientali);
- attualizzazione dei costi e dei benefici;
- calcolo degli indicatori (VAN, TRI, ecc.).

Per quanto riguarda i benefici da monetizzare, non essendoci solitamente entrate finanziarie concrete derivanti dalle tipologie di opere progettate per la mitigazione del rischio idraulico, si può fare ricorso all'analisi del danno provocato dalle alluvioni. Sarà così considerato come beneficio il danno "evitato" (a persone, beni immobili, attività economiche, aree protette, ecc.) a seguito della realizzazione delle opere o della strategia di difesa. Inoltre, le opere/strategie di mitigazione del rischio da alluvione saranno valutate sia per quanto riguarda gli aspetti di protezione idraulica da conseguire sia sotto l'aspetto dell'impatto sugli ecosistemi naturali.

In sintesi, la metodologia complessiva che si intende applicare in ciascun area di studio, per la scelta dell'intervento con i benefici sociali netti più alti, consiste nelle seguenti azioni tra loro coordinate:

- Sovrapposizione delle aree allagate, mediante GIS, alle categorie di uso del suolo (CORINE);
- Stima del valore economico dei beni esposti, per ciascuna classe di uso del suolo;
- Stima delle "curve di danno" parametriche (costi - tirante e/o velocità);
- Stima dei costi totali degli interventi di difesa possibili;
- Analisi costi-benefici delle diverse alternative di progetto;
- Scelta del progetto che genera i benefici sociali netti maggiori.

Per quanto riguarda la determinazione del valore economico dei beni esposti e le curve di danno si rimanda a quanto già descritto nei paragrafi precedenti. Nel seguito si descrivono le ulteriori categorie da poter prendere in considerazione nell'ACB, solo dopo aver condotto un'approfondita analisi economica territoriale.

---

<sup>20</sup> La logica decisionale dell'ACB è che le risorse di una collettività sono limitate e il decisore pubblico dovrebbe destinarle agli interventi che massimizzano il beneficio netto per la società.

<sup>21</sup> Si intende per analisi finanziaria quella basata su prezzi di mercato (o amministrati), che porta al calcolo di flussi di cassa effettivi (detta anche analisi degli investimenti privatistica o analisi costi-ricavi). Si intende per analisi economica quella basata su prezzi di conto, il cui scostamento dai prezzi reali riflette obiettivi non privatistici, ma sociali il cui livello dipende dall'autorità di spesa (a carattere regionale, nazionale, mondiale, ecc.). In effetti la vera ACB è l'analisi economica.





- Negli insediamenti produttivi i danni attesi possono essere classificati in due tipologie: danni diretti agli insediamenti e alle attrezzature; danni dovuti all'interruzione della produzione e alla minore efficienza lavorativa fino alla ripresa della normale attività. I danni, pertanto, possono essere stimati tenendo conto dei seguenti fattori: costo medio di costruzione a nuovo dell'insediamento potenzialmente danneggiato (comprensivo dei macchinari e delle attrezzature); danni alla produzione stimati attraverso la perdita di valore aggiunto giornaliero, per addetto, sulla base dei giorni di interruzione dell'attività produttiva (comprensivi dei giorni di allagamento, dei giorni di ripristino e di giorni ad operatività limitata).
- I danni causati alle principali infrastrutture territoriali di interesse strategico (strade, autostrade, ferrovie, ponti, viadotti, gallerie, acquedotti, elettrodotti, gasdotti, ecc.) possono essere stimati in funzione dei costi di ripristino delle varie componenti danneggiate dall'allagamento (rifacimento di massicciate, scarifica e rifacimento del conglomerato bituminoso, sistemazione delle opere d'arte minori, ripristino strada rotabile, ecc.).
- Per quanto riguarda i danni che derivano dalla mancata fruizione delle strutture e infrastrutture pubbliche di interesse strategico (scuole, ospedali, strade, approvvigionamenti idrici, forniture energetiche, ecc.) si può fare riferimento ai costi di quei servizi alternativi cui la popolazione dovrà fare ricorso in caso di alluvione (fornitura di acqua, luce e gas, costi di trasporto aggiuntivi per la fruizione di infrastrutture alternative, costi sanitari extraterritoriali, ecc.).
- Per i beni storici, culturali, artistici e etnografici di interesse rilevante (aree archeologiche, musei, ecc.), il danno consiste nella lesione del valore estetico e della fruizione visiva oltre che nella perdita materiale. Non essendo state ancora individuate metodologie condivise di stima dei danni intangibili<sup>22</sup>, si può ricorrere, oltre al conteggio dei lavori di ripristino che ristabiliscano il pregresso godimento estetico e materiale dei luoghi, alla valutazione del numero di visitatori paganti (ticket d'ingresso) persi a causa della mancata fruizione dei suddetti beni.
- Per le strutture e aree a rilevante impatto ambientale (discariche, impianti trattamento reflui, impianti industriali, ecc.) devono essere condotte specifiche analisi in merito ai potenziali danni derivanti dalla contaminazione delle matrici ambientali in seguito ad un evento alluvionale;
- Nel caso delle aree naturali danneggiate da eventi alluvionali, si può fare riferimento al valore dei cosiddetti "servizi ecosistemici"<sup>23</sup> che contengono anche i danni derivanti dalla perdita di biodiversità<sup>24</sup>. A tale scopo si può prendere in considerazione il

<sup>22</sup> Si veda il documento ISTAT, RIVISTA DI STATISTICA UFFICIALE N. 2-3/2013 "Conti patrimoniali, beni culturali ed informazione statistica: le criticità nella loro compilazione" del Prof. Fabrizio Antolini. Si ricordi, inoltre, la valutazione pari a 234 miliardi di € fatta dalla Corte dei Conti della Repubblica Italiana, ad inizio 2014, sulla ricchezza immateriale dell'Italia (opere d'arte, beni architettonici, letteratura, ecc.), inviando a tal fine una richiesta di risarcimento alle maggiori agenzie di rating internazionali in conseguenza delle precedenti decisioni di "downgrading" del debito pubblico italiano (2011 e 2012).

<sup>23</sup> Secondo il Millennium Ecosystem Assessment (2005) sono rappresentati da: supporto alla vita, approvvigionamento di cibo e materie prime, la regolazione del clima e delle maree, depurazione dell'acqua, impollinazione e controllo delle infestazioni, i valori culturali fra cui quelli estetici, educativi, spirituali, ricreativi.

<sup>24</sup> In uno studio pubblicato su Ecological Indicators (2012), basato sui pareri esperti e il metodo detto "benefit transfer" è stato stimato che ogni anno gli ecosistemi italiani erogano benefici (beni e servizi) pari ad un valore di 71,3 miliardi €/anno.





documento redatto dal Ministero dell'Ambiente DPN, dal titolo "Definizione del metodo per la classificazione e quantificazione dei servizi ecosistemici in Italia. Verso la Strategia Nazionale per la Biodiversità", del Marzo 2009.

- Nella valutazione dei costi per la gestione dell'emergenza da alluvione, è necessario effettuare delle stime a partire da eventi realmente accaduti e gestiti dalle Protezioni Civili territorialmente competenti.
- I costi rappresentati dalla potenziale perdita di vite umane, ossia i benefici in termini di persone salvate, sono generalmente stimati attraverso la quantificazione del valore della vita statistica (value of statistical life, VSL), che indica la disponibilità della collettività a pagare per una riduzione del rischio di morte in seguito a un evento alluvionale<sup>25</sup>.

Nell'ACB il danno evitato in seguito alla realizzazione di un intervento di mitigazione del rischio sarà assunto, quindi, come funzione del valore della portata di picco dell'onda di piena, associata ad un determinato tempo di ritorno, indipendente dalla durata dell'esondazione.

Il documento di riferimento per la redazione dell'ACB potrà essere la guida all'analisi costi benefici della Commissione Europea nella versione più aggiornata (*Guide to COST-BENEFIT ANALYSIS of investment projects Structural Funds, Cohesion Fund and Instrument for Pre-Accession*, 2008).

L'ACB potrà essere integrata da un'Analisi Multicriterio (MCA) al fine di combinare tutti gli impatti, monetari e non monetari, delle inondazioni e delle misure volte a ridurre i rischi di alluvione.

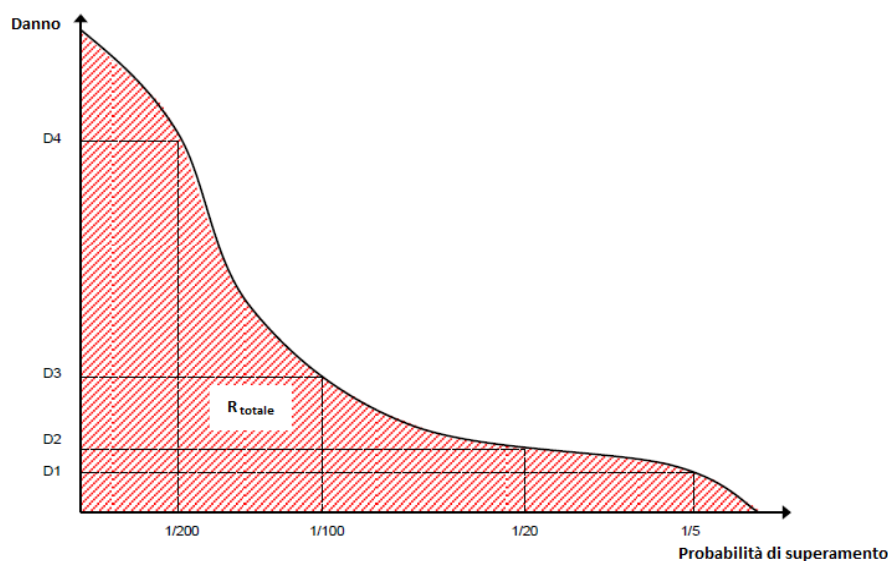
#### 1.6. Valutazione del danno atteso medio annuo

Il danno atteso medio annuo è pari all'area sottesa dalla curva "Danno – probabilità di superamento" ed equivale al rischio totale come mostrato nella successiva fig. 1.1

**Fig.** Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1- Curva "Danno - probabilità di superamento"

---

<sup>25</sup> Nella letteratura economica esistono diversi studi che hanno quantificato il VSL, attraverso tecniche di stima che si basano sulle "preferenze espresse", consistenti nel chiedere a un campione rappresentativo della popolazione di quantificare la disponibilità a pagare per vedere ridotto il rischio di morte prematura.



Spesso non è facile stabilire l'esatto andamento di tale curva perché si conoscono soltanto pochi punti di essa. In tali casi l'approssimazione fatta per valutare il suddetto "danno atteso medio annuo" (rischio) è fatta applicando la seguente formula<sup>26</sup>:

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^k D[i] * \Delta P_i \quad \text{dove} \quad \bar{D} \quad \text{è il danno atteso medio annuo}$$

con

$$D[i] = \frac{D(P_{i-1}) + D(P_i)}{2} \quad D[i] \quad \text{è il danno medio relativo a due punti, "i-1" e "i" della curva}$$

e

$$\Delta P = |P_i - P_{i-1}| \quad \Delta P \quad \text{è la probabilità dell'intervallo tra i suddetti punti}$$

Ricordando che la probabilità di superamento è pari all'inverso del tempo di ritorno si ha:

$$P_{50} = 1 / 50 = 0,02$$

$$P_{100} = 1 / 100 = 0,01$$

$$P_{300} = 1 / 300 = 0,0033$$

Nel nostro caso la "i" può assumere i valori 50, 100 e 300 (tempi di ritorno in anni), inoltre sono noti i relativi valori del danno; in cui per esempio  $D(P_{50})$  è il valore del danno per una probabilità di superamento di 0,02

quindi

$$\bar{D} = [D(P_{100}) + D(P_{300})] * (0,01 - 0,0033) / 2 + [D(P_{50}) + D(P_{100})] * (0,02 - 0,01) / 2$$

<sup>26</sup> FLOODsite, (2007): GIS-based Multicriteria Analysis as Decision Support in Flood Risk Management