



Consiglio regionale del Veneto  
Servizio studi documentazione biblioteca



*[Alluvione del 1 novembre 2010 a Vicenza zona Araceli]*

## **VALUTAZIONE INTEGRATA DEL RISCHIO ALLUVIONALE Il metodo SERRA (Socio-Economic Regional Risk Assessment)**

Venezia, agosto 2016

Veneto Tendenze 1/ 2016

Servizio studi documentazione biblioteca - Dirigente capo Claudio Giulio Rizzato

Sito: <http://www.consiglioveneto.it/>

@ [ssdb@consiglioveneto.it](mailto:ssdb@consiglioveneto.it)

☎ 0412701612

☎ 0412701622

**Veneto Tendenze** - Quaderno di documentazione

**VALUTAZIONE INTEGRATA DEL RISCHIO ALLUVIONALE** è stato curato da Giuseppe Sartori (Ufficio territorio CRV); con il contributo specialistico di Carlo Giupponi e Laura Falchi Università Ca' Foscari di Venezia, del Centro interdipartimentale Venice Centre for Climate Studies (VICCS).

Ha collaborato Serenella Poggi.

La foto di copertina è di Erroscia  
[CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)], via Wikimedia Commons

Riproduzione a cura del Centro stampa del Consiglio Regionale.

**VALUTAZIONE INTEGRATA DEL RISCHIO ALLUVIONALE**  
**Il metodo SERRA (Socio-Economic Regional Risk Assessment)**

INDICE

0. RINGRAZIAMENTI	Pag. 6
1. SOMMARIO	Pag. 7
2. INTRODUZIONE: OBIETTIVI E CONTENUTI	Pag. 8
3. DISASTRI NATURALI E ALLUVIONI	Pag. 11
4. VALUTARE IL RISCHIO IDROGEOLOGICO	Pag. 12
5. VALUTAZIONE INTEGRATA DEL RISCHIO SECONDO L'APPROCCIO "KULTURISK"	Pag. 17
6. PROCEDIMENTO "SERRA" PER LA VALUTAZIONE INTEGRATA DEI DANNI NELLA CORNICE "KULTURISK" E SUA APPLICAZIONE IN CASI STUDIO	Pag. 27
7. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	Pag. 35
8. BIBLIOGRAFIA E LETTURE	Pag. 36
9. RIFERIMENTI	Pag. 41
10. ALLEGATO "APPLICAZIONE DI SERRA AL CASO STUDIO DI DACCA, CAPITALE DEL BANGLADESH"	Pag. 42



*“L’acqua corrente è quella, che si piega con tanta docilità e condiscendenza a tutti i bisogni, ai comodi ed ai piaceri dell’uomo: che zampilla nelle fontane de’ suoi giardini, che mormora ne’ suoi ruscelli, che inaffia ed infiora le sue praterie: essa gli muove l’incudine per fabbricar l’aratro da fender la terra, e gli ordigni prodigiosi delle arti, che ci moltiplicano con tanta utilità. le braccia e le mani: essa si compiace di passar per mezzo alle nostre città popolose, e di portarci fin sulle soglie delle nostre abitazioni le derrate, e le merci delle vicine e delle remote contrade.*

*Ma questa stessa acqua corrente così benefica, così docile, e quasi serva dell’uomo, diviene spesso feroce e terribile, e ci reca immensi danni e desolazioni.*

*Non v’è alcuno di noi, che non sia stato testimone e spettator di sciagure e di rovine, allorché i venti australi ci portano le lunghe e stemperate piogge, o liquefanno col caldo lor soffio le nevi che coprivano le montagne. Allora i torrenti ed i fiumi, sormontando, o squarciando gli argini da cui erano trattiene, assalgono furiosamente le città e le campagne, spargendo da per tutto lo spavento e la strage.*

*Ora la scienza dell’acque non solo ha per oggetto di piegarle e dirigerle, come si è accennato, ai nostri usi e bisogni, ma quello altresì di preservare dalle loro incursioni le nostre frequenti città ed ubertose provincie.”*

[Dal saggio "Sull'acque correnti" del Conte Senatore Francesco Mengotti, Milano 1810]

## **0. RINGRAZIAMENTI**

La realizzazione di questa monografia nasce principalmente dalla collaborazione volontaria e gratuita con il prof. Carlo Giupponi e i suoi collaboratori dott. Vahid Mojtahed, dott. Animesh K. Gain, dott. Stefano Balbi, dott. Claudio Biscaro, e con la dott.ssa Laura Falchi Università Ca' Foscari di Venezia, del Centro interdipartimentale Venice Centre for Climate Studies (VICCS).

Uno speciale ringraziamento per la disponibilità e collaborazione, all'ing. Michele Ferri dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione, Dirigente di riferimento per il Settore Attività connesse all'europrogettazione.

L'apporto conoscitivo degli specialisti a questo approfondimento sulle metodologie di valutazione dei rischi collegati alle alluvioni e agli altri imprevisti c.d. "ambientali", potrà migliorare qualitativamente le determinazioni del decisore soprattutto sulle scelte di ordine locale non più rinviabili per responsabilizzare le amministrazioni del Veneto di fronte alle necessarie politiche di pianificazione e uso del territorio elementi determinanti gli scompensi territoriali.

A tutti il sentito ringraziamento del Servizio studi documentazione biblioteca del Consiglio regionale del Veneto.

## 1. SOMMARIO

In questo Quaderno di Documentazione viene presentata in sintesi una metodologia per la valutazione integrata del rischio alluvionale, che considera i fattori di rischio legati alle specifiche criticità territoriali e le possibili conseguenze di fenomeni meteorologici estremi, anche in relazione con i mutamenti climatici e le alterazioni ambientali e antropiche del territorio.

Lo scopo è di fornire informazioni circa i metodi di valutazione socio-economica integrata del rischio alluvionale, comprensiva cioè sia della valutazione della vulnerabilità e dell'esposizione al rischio, che della stima dei danni diretti e tangibili e di danni conseguenti e collaterali ad un evento alluvionale, secondo quanto sviluppato nell'operativo **SERRA** (*Socio-Economic Regional Risk Assessment*) del progetto **KULTURisk** (*Knowledge Based Approach to develop a Culture of Risk Prevention*).

Questo report spiega quindi come produrre strumenti adeguati di stima integrata del rischio e di valutazione dei benefici della sua riduzione in termini economici.

Riassumendo brevemente l'approccio generale di KULTURisk, si può parlare di un approccio integrato che si basa sul concetto di rischio come risultante della combinazione di pericolo (H = Hazard) relativo alla severità oggettiva dell'alluvione; dell'esposizione (E) e della vulnerabilità (V), quest'ultime valutate rispetto a specifici recettori: persone, attività economiche, beni culturali, componente ambientale (in accordo con la direttiva europea sulle alluvioni e gli orientamenti più recenti a livello internazionale).

Gli elementi descritti permettono il calcolo dei danni attesi in relazione ai rischi di diversi scenari pericolosi. Per il calcolo si utilizza la matrice dei costi totali (TCM) dove si dividono i possibili costi in quattro quadranti: **costi diretti** relativi ai costi tangibili/intangibili nel luogo e durante l'evento avverso; mentre i **costi indiretti** comprendenti i costi generati al di fuori del periodo di tempo o della posizione geografica dell'evento; **costi tangibili** relativi a beni e servizi tangibili; **costi intangibili**, quali perdita di vite umane, di beni culturali, e di servizi ecosistemici.

Nell'approccio proposto si confrontano le diverse soluzioni plausibili da valutare, rispetto ad uno "scenario di base" in assenza delle stesse. Gli effetti attesi dalle misure sono quindi espressi sia in termini di benefici monetari (costi evitati), per mezzo di analisi costi-benefici (CBA) o analisi costi-efficacia (CEA).

La funzione di questi strumenti (stima del rischio, mappe del rischio, analisi costi benefici o analisi costi-efficacia) è di fornire una efficace valutazione dei possibili interventi per coadiuvare gli attori istituzionali nella pianificazione della gestione del territorio. In particolare, la valutazione economica dei benefici della riduzione del rischio è di grande rilevanza per la politica pubblica in quanto può aiutare a determinare i vantaggi relativi di possibili misure. Una particolare attenzione si è posta nella valutazione dei vantaggi economici di misure di tipo non strutturale (ad esempio sistemi di allerta precoce).

Nelle pagine che seguono vengono descritti: il quadro concettuale di KULTURisk; la valutazione integrata dei danni e costi socio-economici di un disastro; come aggregare gli impatti su diversi possibili ricettori (quali impatti su popolazione, sistemi naturali, attività economiche e patrimonio culturale); le metodologie di valutazione delle possibili misure; la validazione del metodo in specifici casi studio. Inoltre, si valutano quali elementi del metodo SERRA trovino continuazione nel "*Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto idrografico delle Alpi Orientali*" e quali tipi di analisi economica potrebbero essere utilizzati in future implementazioni del Piano. In allegato si riporta una l'applicazione di SERRA al caso-studio di Dacca, Bangladesh, a scopo dimostrativo.

## 2. INTRODUZIONE: OBIETTIVI E CONTENUTI

Negli ultimi anni si osserva un aumento delle perdite e dei danni legati ai disastri idro-meteorologici a livello globale e regionale legato sia all'intensificarsi di fenomeni meteorologici estremi a seguito dei cambiamenti climatici globali sia ad un utilizzo fortemente antropizzato dei territori come quello Veneto, caratterizzato dalla diffusa densità abitativa e dalla ricchezza di attività economiche e di beni culturali.

In relazione a questa situazione risultano sempre più necessari strumenti in grado di valutare le conseguenze di disastri idro-meteorologici e soprattutto di indicare quali misure siano più efficaci nel ridurre le conseguenze avverse.

In risposta a questa necessità, è stato portato a termine nell'ambito del settimo programma quadro dell'Unione Europea il progetto **KULTURisk** "*Knowledge Based Approach to develop a Culture of Risk Prevention*" e il suo approccio operativo di valutazione economica del rischio **SERRA** (*Socio-Economic Regional Risk Assessment*). Tra i partner di progetto vi erano CORILA (Consorzio per il coordinamento delle ricerche inerenti al sistema lagunare di Venezia), l'Università Ca' Foscari con il Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica, Statistica (per la parte inerente una valutazione fisico-ambientale del rischio) ed il Dipartimento di Economia, che si è occupato della stima dei costi e della valutazione economica di possibili misure di gestione del rischio alluvionale in stretta collaborazione con l'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione.

Il progetto ha prodotto una cornice concettuale per la valutazione integrata del rischio, ed in particolare ha sviluppato strumenti di valutazione economica delle conseguenze di alluvioni e delle possibili misure per ridurre l'impatto sulla popolazione, sulle attività economiche, sui sistemi naturali e sul patrimonio culturale.

La partecipazione attiva dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione e dell'Università Ca' Foscari di Venezia allo sviluppo di KULTURisk ha permesso la strutturazione di metodologie e l'acquisizione di approcci condivisi che sono poi potuti confluire, con opportune modifiche ed integrazioni, nello sviluppo di strumenti di gestione territoriale locale quali il "Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto idrografico delle Alpi Orientali".

### *La valutazione integrata del rischio*

Dalla revisione dello stato dell'arte riguardante i rischi derivanti da alluvioni emerge che:

- La presenza di diversi approcci al problema della valutazione del rischio causa interpretazioni contrastanti di concetti quali "vulnerabilità" e "rischio". Vi sono sostanziali discrepanze in letteratura, che è frammentata in molteplici filoni disciplinari, alcuni si focalizzano sulla conoscenza delle calamità attraverso l'analisi del rischio, mentre altri sull'importanza di capire il comportamento e le conseguenze per le comunità locali coinvolte attraverso la valutazione della vulnerabilità.
- La valutazione del rischio e dei benefici derivanti da una sua riduzione si focalizza spesso sui danni, cioè sui costi diretti tangibili, mentre anche altri costi diretti o indiretti ed intangibili sarebbero da prendere in considerazione per una migliore comprensione dei costi complessivi;
- In generale gli aspetti sociali ed economici vengono meno considerati, mentre sono cruciali per la valutazione del rischio.

Fino agli anni '90, la gestione dei disastri si concentrava principalmente sulla risposta dei governi, comunità e organizzazioni internazionali alle conseguenze dei disastri, cioè a seguito del verificarsi dell'evento. Al giorno d'oggi l'attenzione è stata notevolmente spostata verso il ruolo della conoscenza e della prevenzione (UNISDR, 2005) poiché l'occorrenza del disastro è soggetta ad

una incertezza intrinseca e la gravità di un disastro dipende sempre più dal comportamento delle persone colpite e dalla loro capacità di adattamento. Tuttavia, le catene causali tra i vari concetti non sono ancora chiaramente definite.

Il quadro metodologico KULTURisk e il suo approccio operativo SERRA sono stati sviluppati proprio in risposta a queste debolezze con particolare riguardo a:

1. integrazione delle dimensioni fisiche / ambientali e quelle socio-economiche;
2. considerazione delle capacità sociali di ridurre il rischio,
3. valutazione economica del rischio che va oltre i costi tangibili diretti per il supporto delle misure di mitigazione del rischio.

### *Obiettivi e contenuti*

Negli ultimi anni si osserva un aumento delle perdite e dei danni legati ai disastri idro-meteorologici a livello globale legate sia all'intensificarsi di fenomeni meteorologici estremi a seguito dei realtà Veneta non è immune a tali variazioni. Al contrario, a causa della sua posizione e struttura geografica essa è caratterizzata naturalmente da una complessa fenomenologia in campo meteorologico con precipitazioni intense, forti raffiche di vento, trombe d'aria ed eventi alluvionali piuttosto frequenti. A questa tendenza di base si aggiunge l'acutizzarsi dei fenomeni naturali legati al cambiamento climatico globale e all'antropizzazione della regione con forti disomogeneità tra aree urbane completamente cementificate e paesaggi per lo più agricoli. Inoltre il Veneto è una regione con zone a forte densità abitativa, ricca di attività economiche e con una forte concentrazione di beni culturali.

Tutti questi fattori contribuiscono ad aggravare il rischio di forti danni dovuti a fenomeni meteorologici estremi, ed in particolar modo alluvioni. E' necessario quindi affrontare i possibili rischi con opportune misure e politiche gestionali.

Tuttavia, lo sviluppo e l'attuazione di efficaci politiche di riduzione del rischio richiedono in primo luogo lo sviluppo di approcci di valutazione accurati, in grado di considerare attentamente i pericoli, la vulnerabilità di un certo territorio e in grado di monetizzare il costo totale di possibili eventi alluvionali, al di là dei soli costi tangibili che vengono generalmente presi in considerazione. La valutazione dei costi è infatti alla base della scelta di possibili politiche di riduzione del rischio sostenibili. Inoltre, la limitatezza delle risorse finanziarie richiede il miglioramento della stima dei costi per contribuire ad un'efficiente allocazione delle risorse.

Lo scopo di questa relazione è quindi di spiegare cosa si intenda con valutazione integrata del rischio alluvionale, che sia comprensiva sia dei danni diretti e tangibili sia di danni conseguenti e collaterali ad un evento alluvionale. In particolare, ci si concentrerà sull'approccio sviluppato nell'ambito del progetto europeo **KULTURisk** e l'approccio **SERRA** per la stima dei costi (Gain et al, 2015).

Nel documento vengono quindi definiti i concetti di rischio, di vulnerabilità, di valutazione integrata dei danni e di costo totale in relazione ai disastri idro-meteorologici. Ci si focalizzerà sulla stima monetaria dei possibili danni e sulla valutazione del costo totale, e si descriveranno brevemente altri strumenti quali le carte del rischio.

Le diverse tipologie di danno – danni tangibili, intangibili, diretti ed indiretti - e loro monetizzazione in costi verranno spiegate citando anche vari metodi di valutazione economica ed alcuni metodi di calcolo. Saranno discusse informazioni pratiche sui metodi più appropriati nei diversi casi in termini di scala, disponibilità di dati e risorse tecniche e si approfondiranno i punti critici e i possibili errori nella stima del rischio alluvionale, che necessitano di essere considerati attentamente.

Ci si approccerà poi alla valutazione dei benefici socio-economici derivanti dalla riduzione del rischio considerando il confronto di diversi scenari in cui venga prevista l'adozione di misure preventive o di piani alternativi di gestione degli eventi alluvionali per individuare quelli che garantiscano migliori benefici.

Infine si propongono due sezioni per approfondire le metodologie di valutazione del rischio in alcuni casi studio del progetto KULTUrisk e nel nuovo piano di gestione del rischio alluvioni della Regione Veneto sviluppato dal Distretto idrografico delle Alpi Orientali della Regione Veneto in ottemperanza alla Direttiva Europea Alluvioni (Direttiva 2007/60/EC che individua le azioni prioritarie per la valutazione e il monitoraggio dei pericoli naturali a livello Europeo) (EC, 2007).

### 3. DISASTRI NATURALI E ALLUVIONI

Un disastro è definito come la conseguenza di un pericolo che impatti negativamente un sistema socio-ecologico (Okuyama e Sahin, 2009; EEA, 2010).

Tra i disastri naturali, grande importanza hanno le inondazioni, in particolare le inondazioni fluviali. In Europa le alluvioni costituiscono il rischio naturale più pericoloso in termini di perdite economiche (EEA, 2010). Tra il 2003 e il 2009, 26 grandi eventi hanno prodotto perdite economiche dirette di circa 17 miliardi di euro e 320 decessi umani. Questo diventa ancora più rilevante alla luce dei cambiamenti climatici futuri che potrebbero influire in modo significativo sulle caratteristiche principali di eventi pericolosi, in termini di grandezza, periodo di ritorno, distribuzione geografica e scala.

Si prevede che in Europa vi sarà un aumento di forti precipitazioni a latitudini settentrionali e medie in inverno e un aumento dell'entità e / o della frequenza di inondazioni dovute a forti piogge per alcuni bacini (Trenberth et al, 2007;.. Bates et al, 2008; IPCC, 2011). Per questi motivi la gestione integrata dei rischi da inondazione è diventata una priorità per l'Unione europea (EC, 2007; EFAS, 2010). La stessa regione Veneto è stata colpita recentemente da diversi fenomeni alluvionali causati da precipitazioni intense con gravi danni, ricordiamo ad esempio quella del 1 novembre 2010 a Vicenza e nel veronese (Figure 1-5 nelle prossime pagine).

A livello regionale Veneto si evidenzia che l'andamento dei fenomeni meteorologici estremi, effettuato su dati a partire dagli anni '90 (Dal dossier "Eventi meteorologici estremi" Sartori e altri, 2012), è riassumibile in:

- calo delle precipitazioni annue attribuibile alla diminuzione osservata nel periodo 1956-2004;
- maggiore contributo dei giorni più piovosi sull'ammontare totale delle precipitazioni, con particolare riferimento alla pianura;
- tendenza all'aumento in pianura di eventi intensi di breve durata ( 3, 6, 12 ore);
- calo nell'ultimo ventennio dei tempi di ritorno di precipitazioni massime annuali soprattutto in pianura;
- ripetersi con frequenza annuale di fenomeni estremi di precipitazione costiera.

Tuttavia bisogna considerare che il set di dati utilizzato è limitato e che spesso vi è un distacco tra l'estrema rilevanza ed eco che i fenomeni estremi hanno sui media di comunicazione, dando una percezione di fenomenologia in aumento anche a prescindere dall'eventuale *trend* effettivo.

In generale, l'entità dei disastri naturali è direttamente correlata all'intensità del pericolo nonché all'esposizione e alla vulnerabilità del sistema ecologico sociale (Crichton, 1999; Rose, 2004b). L'entità di disastri legati all'acqua, come alluvioni, si può valutare in molti modi: numero di morti, numero di costruzioni crollate, chilometri di strade distrutte, perdita di denaro a causa della interruzione delle attività economiche, ecc.

Tra i diversi modi, lo studio della stima delle perdite economiche dovuta a disastri naturali è di estrema attualità in quanto tali perdite sono aumentate negli ultimi anni a livello globale e regionale, e si prevede un ulteriore aumento in futuro in relazione ai cambiamenti ambientali (intensificarsi di eventi estremi) e all'aumento della popolazione e delle attività nelle zone esposte (Downton e Pielke, 2005; WB-IEG, 2006; CRED, 2007; 2008; 2010; Okuyama e Sahin 2009, UNISDR, 2009; IPCC, 2012). Inoltre la valutazione monetaria è uno strumento facilmente utilizzabile e comprensibile dal punto di vista politico-gestionale.



Figura 1: Vicenza 1 novembre 2010, esondazione del Bacchiglione e del Retrone.  
(foto del Comitato alluvione veneto 2010)

#### 4. VALUTARE IL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Fino agli anni '90, la gestione dei disastri si concentrava principalmente sulla risposta dei governi, comunità e organizzazioni internazionali alle conseguenze dei disastri, cioè a seguito del verificarsi dell'evento. Al giorno d'oggi, la Strategia Internazionale delle Nazioni Unite per la riduzione dei disastri sta promuovendo lo sviluppo di un processo che sposta l'attenzione dalla protezione contro i pericoli alla gestione del rischio, attraverso la *Hyogo Framework for Actions* (UNISDR, 2005). Lo stesso processo viene sostenuto a livello europeo (EC 2007 Direttiva 60), in cui, nel caso di inondazioni, particolare enfasi è posta sulle misure di mitigazione non strutturali (Green et al., 2011). Questo cambiamento è dovuto a due motivi principali :

- l'occorrenza del disastro è soggetta ad una incertezza intrinseca che sarà aggravata dai cambiamenti climatici;
- la gravità di un disastro dipende sempre più dal comportamento delle persone colpite e dalla loro capacità di gestione e adattamento.

A partire dalle indicazioni della *Hyogo Framework for Actions* (UNISDR, 2005) e della direttiva europea alluvioni (2007/60/CE) molte ricerche hanno sviluppato buone pratiche, norme e approcci per eseguire in modo accurato e completo la valutazione delle perdite, del disastro e la modellazione del rischio.

Tuttavia, gli studi disponibili sono principalmente focalizzati sull'analisi delle conseguenze dei danni su ricettori specifici - per esempio, la popolazione, edifici o l'agricoltura - trascurando la coesistenza di molteplici ricettori presenti nella stessa regione geografica.

Inoltre, molti studi si concentrano principalmente sulla mappatura del rischio, mentre approcci globali e comprensivi che integrino punti di vista ambientale, sociale ed economico sono scarsi. Infine, le valutazioni del rischio alluvionale sono ancora caratterizzate da notevole incertezza, che deve essere affrontata e chiaramente comunicata ai responsabili delle decisioni.

### Approcci alla valutazione del rischio idrogeologico e di processi legati all'acqua

Ai fini del supporto delle attività decisionali per una lungimirante gestione del territorio emerge sempre più la necessità di metodi e strumenti in grado di valutare le conseguenze avverse del rischio alluvionale in modo integrato, comprensivo e coerente.

Tuttavia, gli approcci di valutazione del rischio e le decisioni gestionali che da questo discendono sono per loro stessa natura multidisciplinari, poiché richiedono contributi di molteplici discipline, dall'idrologia alle scienze ambientali a quelle economiche e sociali. La presenza di diversi modi e approcci al problema a seconda della disciplina di partenza continua a causare la presenza di interpretazioni contrastanti di concetti cruciali quali "**Vulnerabilità**" e "**Rischio**" in relazione alle calamità naturali.

Dalla revisione dello stato dell'arte riguardante i rischi derivanti da calamità naturali (alluvioni in particolare) emerge che:

- ♣ vi sono sostanziali discrepanze in letteratura, che è frammentata in molteplici filoni disciplinari;
- ♣ i due filoni di ricerca di maggiore impatto da cui discendono i due principali approcci sono quelli che partono considerando la riduzione del rischio di disastri (*Disaster Risk Reduction DRR*) e quelli che partono dall'adattamento al cambiamento climatico (*Climate Change Adaption CCA*);
- ♣ la valutazione del rischio e dei benefici derivanti da una sua riduzione si focalizza spesso sui danni, cioè sui costi diretti tangibili, mentre anche altri costi diretti o indiretti e intangibili sarebbero da prendere in considerazione per una migliore comprensione dei costi complessivi (Balbi et al., 2013);
- ♣ in generale gli aspetti sociali ed economici vengono meno considerati, mentre sono cruciali per la valutazione del rischio.

Uno degli approcci più diffusi per il calcolo del rischio, quello utilizzato dalla comunità di ricerca basata sullo studio della riduzione del rischio (DRR), si riferisce al rischio come danno atteso, più precisamente come costi tangibili diretti, calcolati in funzione del pericolo (Hazard), della vulnerabilità fisica ed ambientale (Vulnerability) e dell'esposizione (Exposure) (Crichton, 1999):

$$R = f (H, V, E) \quad [1]$$

Il primo elemento Pericolo (*Hazard = H*) è caratterizzato da distribuzioni di probabilità o da specifici tempi di ritorno, e insieme al secondo -Vulnerabilità- (*Vulnerability = V*) viene espresso come indice adimensionale. Il terzo termine -Esposizione- (*Exposure = E*) dà l'unità di misura del rischio che può essere espresso sia in termini fisici che monetari.

Tale approccio si riscontra anche nella normativa italiana DPCM 29.9.1998 in cui il Rischio è definito in base alla formula precedente, più precisamente come prodotto della pericolosità dell'evento naturale, per la vulnerabilità e l'esposizione del territorio colpito:

$$R = P \times V \times E \quad [2]$$

L'approccio DRR è diretto e molto usato, ma tende ad avere ridotta considerazione della complessità delle diverse dimensioni del rischio e in particolare della dimensione sociale. Per utilizzare questa formula è necessario semplificare, aggregare e comprimere i diversi aspetti di rischio per produrre due indici adimensionali di Pericolo e Vulnerabilità. Questo risulta complesso quando ci si confronta con la dimensione sociale della vulnerabilità (Cutter, 1996), che è distinta

dalla vulnerabilità biofisica ma si trova aggregata in una singola nozione di "vulnerabilità del luogo".

Altri approcci, tra cui quello della comunità di ricerca CCA (adattamento ai cambiamenti climatici), sono maggiormente focalizzate sulla valutazione della vulnerabilità. Gli studi CCA considerano la vulnerabilità come la risultante di condizioni e processi sociali. In particolare essa deriva dalla combinazione dello stato attuale di adattabilità del sistema socio-ecologico e dei potenziali impatti derivanti dall'esposizione ad uno specifico pericolo in relazione alla sensibilità locale (Klein, 2004; Parry, 2007).

Attualmente, questi due tipi di approcci tendono a convergere e gli effetti di questa interazione sono chiaramente visibili nella pubblicazione IPCC *"Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation"* IPCC SREX (Field et al., 2012). Nel quadro CCA adottato dall'IPCC - AR4 (Parry, 2007) il concetto di rischio era assente e la vulnerabilità derivava dalla combinazione dei potenziali impatti, dell'esposizione e della sensibilità, mentre nel più recente IPCC - SREX, il rischio è centrale. Tuttavia, le catene causali tra i vari concetti non sono chiaramente definite, limitando così la possibilità di ricavare metodi di valutazione operativa che non siano controversi.

#### *Strumenti per la valutazione del rischio e dei benefici derivanti dalla riduzione del rischio*

L'aumento dei costi dei disastri naturali rendono una priorità il miglioramento della qualità e dell'affidabilità dei metodi di valutazione del rischio per informare esaurientemente chi si occupa di politiche di mitigazione e gestione del rischio (Mysiak e Markandya, 2009).

Tra gli strumenti più usati per la valutazione del rischio, e per i quali viene fatta specifica richiesta da parte di normative quali la direttiva Europea Alluvioni (2007/60/ EC), vi sono le mappe di rischio alluvionale. Queste mappe sono in grado di evidenziare le potenziali conseguenze avverse di fenomeni alluvionali in relazione a diversi tempi di ritorno (cioè alla probabilità che si manifesti un certo disastro in un certo lasso temporale) di tali fenomeni in specifiche aree geografiche.

Tali mappe, unitamente ai risultati di altre analisi e alle opportune valutazioni economiche, rappresentano gli strumenti di base per la pianificazione ed il supporto delle strategie decisionali e gestionali. In particolare, insieme alla valutazione economica dovrebbero permettere alle autorità competenti di prendere decisioni identificando le soluzioni preferibili, bilanciando le performance tecniche economiche e ambientali, i conflitti sociali, la mancanza di certezza delle valutazioni, etc. Per quanto riguarda la valutazione economica dei benefici della riduzione del rischio essa prende in esame i possibili danni causati da un'alluvione in una certa area. A seconda del grado di monetizzazione (cioè, caratterizzato dal valore di mercato) e la vicinanza all'area maggiormente colpita, i danni da inondazione possono essere classificati in quattro categorie:

1. **danni diretti tangibili,**
2. **danni diretti non tangibili,**
3. **danni indiretti tangibili,**
4. **danni indiretti non tangibili** (Giupponi et al. 2014).

I costi tangibili possono essere misurati come perdite dirette di attività economiche o di scorte, o dagli effetti indiretti conseguenti sui flussi economici, come il PIL o il consumo.

Conseguenze indirette tangibili colpiscono la popolazione vicino alla zona di inondazione alterando le loro attività o possono essere legati a ciò che accade dopo il diluvio e durante la fase di recupero (Green et al., 2011).

Tra i costi non tangibili si considera la perdita di vite umane, di beni culturali, e dei servizi ecosistemici colpiti direttamente o indirettamente nello spazio e nel tempo.

Attualmente, i metodi disponibili di valutazione del rischio da alluvioni sono principalmente limitati ai danni diretti tangibili. Infatti, il più delle volte una stima dettagliata dei costi tangibili diretti è sufficiente per confrontare e giustificare la scelta di misure alternative di riduzione dei rischi, in particolare quando le misure di riduzione del rischio strutturale sono combinate (ad esempio, dighe, argini, ecc.).



Figura 2:  
2 novembre 2010, rottura dell'argine del canale di Roncagette il fiume Bacchiglione esonda nella bassa padovana (Casalserugo, Bovolenta, Ponte San Nicolò)  
(foto del Comitato alluvione veneto2010)

La sola stima dei danni tangibili diretti non è sempre sufficiente quando si tratti di valutare i benefici di misure non strutturali e di preparazione/prevenzione poiché l'importanza dei costi intangibili e indiretti potrebbe aumentare notevolmente. E' necessario infatti considerare che il rischio alluvionale è definito come le perdite attese in termini di vite, stato di salute, opportunità di sostentamento, beni e servizi derivante dalle interazioni tra pericoli antropici e naturali e vulnerabilità degli elementi (UNISDR 2004). Per tale motivo, la valutazione dovrebbe comprendere tutte le possibili dimensioni delle conseguenze, ivi compresi i danni economici, sociali, psicologici e ambientali (Merz et al.2010).

Ad oggi, pochissimi studi forniscono una valutazione completa sulle restanti categorie di danni. Jonkman et al. (2008) per esempio, stima gli impatti in termini di possibili perdite di vite umane e di salute, Cutter et al. (2013), invece, propongono una metodologia per incorporare la vulnerabilità sociale nella pianificazione della gestione dei rischi di inondazione degli Stati Uniti, mentre Escuder-Bueno et al. (2012) forniscono una valutazione integrata del rischio di alluvione nel contesto europeo. Nelle parti in via di sviluppo del mondo, tali valutazioni integrate di rischio sono ancora rare, in un recente studio, descrive le tecniche geospaziali per la valutazione del rischio e la vulnerabilità. Inoltre, gran parte degli approcci proposti forniscono rappresentazioni concettuali delle relazioni tra pericolo, vulnerabilità, esposizione, ma non identificano le relazioni causali e funzionali, necessarie per qualsiasi tentativo di sviluppare algoritmi operativi. In alcuni casi, vengono proposti una sorta di indici (ad esempio, indice di vulnerabilità) utilizzabili eventualmente per mappe di distribuzione spaziale, ma la struttura funzionale rimane molto semplice.

Tra gli approcci di letteratura più utilizzati per la valutazione probabilistica del rischio vi è quello proposto dalla Piattaforma CAPRA (Cardona et al., 2010) come una combinazione operativa di modelli disciplinari multipli e di analisi costi-benefici per il supporto decisionale.

Il progetto MOVE invece sviluppa un quadro concettuale alternativo e piuttosto complesso in cui il rischio è determinata dalle interazioni tra la dimensione ambientale in termini di rischi/pericoli

(hazard) e la società con le sue caratteristiche specifiche di sensibilità, fragilità, resilienza, ecc (MOVE Project, 2010).

Un approccio più meccanicistico basato sulla dinamica dei sistemi e sulla nozione di modellazione socio-ecosistemica viene descritto in (Turner et al., 2003) che focalizza nuovamente sull'analisi della vulnerabilità in relazione alle nozioni di resilienza, esposizione, sensibilità, etc. , ma senza l'esplicita considerazione del rischio.

Infine, il progetto KULTURisk e il suo approccio operativo SERRA (Socio-Economic Regional Risk Assessment) affrontano i temi di una struttura funzionale complessa che tenga in considerazione i quattro tipi di danno possibile (tangibili, non tangibili, diretti e indiretti) in relazione a disastri alluvionali. Per questa complessità e capacità di integrazione dei vari aspetti del rischio in un'unica cornice concettuale, si porta ad esempio l'approccio KULTURisk per la Valutazione Integrata dei Rischi nelle prossime sezioni.



Figura 3 : Soave (VR) le acque tracimate dal torrente Tramigna entrano nel centro storico novembre 2010



Figura 4 : Soave (VR) Rottura dell' argine del torrente Alpone vicino S.R.11, novembre 2010 (Foto Comune di Soave)

## 5. VALUTAZIONE INTEGRATA DEL RISCHIO SECONDO L'APPROCCIO "KULTURISK"

Il progetto KULTURisk (EU settimo programma quadro FP7) propone una nuova metodologia per la valutazione integrata dei rischi, concentrandosi su diversi tipi di catastrofi legate all'acqua, come inondazioni, alluvioni improvvise in ambito urbano, frane e smottamenti causati da forti piovosità.

Tra i partner di progetto ricordiamo l'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione e del CORILA (Consorzio per la Gestione del Centro di Coordinamento delle Attività di Ricerca Inerenti il Sistema Lagunare di Venezia). La partecipazione attiva dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione ha permesso la strutturazione condivisa di metodologie e l'acquisizione di approcci che sono poi potuti confluire, con le opportune modifiche, nello sviluppo di strumenti di gestione territoriale locale quali l'importante "*Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto idrografico delle Alpi Orientali*".

Si è parlato nei precedenti paragrafi delle difficoltà di comunicazione tra comunità e ambiti con approcci diversi. Per lo sviluppo di un efficace metodologia di valutazione risulta quindi necessario intendersi innanzitutto sui termini. All'interno del consorzio del progetto KULTURisk, un lungo processo di collaborazione e di scambio ricorsivo di bozze e documenti ha permesso di costruire un glossario condiviso (Tabella 1), basato principalmente su IPCC-SREX (Field et al., 2012) e UNISDR *Hyogo Framework* (UNISDR, 2005).

In seguito alla definizione dei termini principali è stato possibile entrare nel merito dello sviluppo dell'approccio metodologico. In particolare, il quadro metodologico KULTURisk e il suo approccio operativo SERRA (*Socio-Economic Regional Risk Assessment*) sono stati sviluppati a partire dai ben consolidati studi di letteratura regionale (Landis, 2004), con particolare riguardo a:

- integrazione delle dimensioni fisiche / ambientali e quelle socio-economiche;
- considerazione delle capacità sociali di ridurre il rischio;
- valutazione economica del rischio che va oltre i costi tangibili diretti per il supporto delle misure di mitigazione del rischio;
- integrazione degli approcci di *Disaster Risk Reduction* DRR e *Climate Change Adaption* CCA.

Pertanto, l'approccio operativo SERRA ha l'ambizione di offrire un'interfaccia efficace e un terreno comune per esperti che lavorano in diverse discipline, con l'obiettivo comune di sostenere le decisioni per le azioni di mitigazione del rischio.

Figura 5:  
Ponte degli Angeli, Vicenza 16 novembre 2010  
(Foto di Mariela Victoria De Marchi Moyano)



Tabella 1: Glossario condiviso KULTURisk e confronto terminologia adottata da IPCC e UNISDR.

	KULTURisk	Terminologia IPCC-SREX 2012, UNISDR 2009
Attenuazione	Considera le barriere strutturali ed esplicita al pericolo che possono diminuire l'esposizione.	N/A
Capacità di adattamento	(IPCC-SREX, 2012)	<b>IPCC:</b> Combinazione dei punti di forza, degli attributi e delle risorse a disposizione di un individuo, comunità, società o organizzazione (prima del pericolo) per preparare e intraprendere azioni per ridurre le ripercussioni negative, moderare il danno, o sfruttare le opportunità favorevoli. <b>UNISDR:</b> N/A
Capacità di superamento ( <i>Coping Capacity</i> )	(IPCC-SREX, 2012)	<b>IPCC:</b> La capacità delle persone, organizzazioni e sistemi, di affrontare, gestire e superare condizioni avverse sulla base delle competenze e risorse disponibili e delle opportunità. <b>UNISDR:</b> Abilità delle persone organizzazioni o sistemi di affrontare e gestire condizioni avverse e disastri utilizzando capacità e risorse disponibili
Conseguenze	Esprese come matrice totale dei costi	N/A
Costi diretti	Costi dovuti ai danni prodotti da un pericolo durante l'evento disastroso (Merz et al., 2010).	N/A
Costi indiretti	Quelli indotti da un pericolo che avvengono al di fuori della zona o del momento dell'evento fisico.	N/A
Costi intangibili	Valori persi a causa del disastro che non possono o che è difficile/controverso monetizzare perché non costituiscono beni di mercato.	N/A
Costi tangibili	I costi, che possono essere facilmente specificati in termini monetari perché si riferiscono ad attività di mercato (Merz et al., 2010).	N/A
Esposizione	(IPCC-SREX, 2012)	<b>IPCC:</b> La presenza di persone, mezzi di sussistenza, servizi e risorse ambientali, infrastrutture o beni economici, sociali o culturali in luoghi che potrebbero essere influenzati negativamente. <b>UNISDR:</b> Persone, immobili, sistemi o altri elementi presenti in zone a rischio che sono in tal modo soggetti a perdite potenziali.
Pericolo	(IPCC-SREX, 2012)	<b>IPCC:</b> Il potenziale verificarsi di un evento fisico naturale o indotti dall'uomo che può causare la perdita della vita, lesioni o altri effetti sulla salute, come pure i danni e la perdita di proprietà, infrastrutture, mezzi di sussistenza, la fornitura di servizi, e delle risorse ambientali. <b>UNISDR:</b> Un fenomeno, sostanza, attività umana o condizione pericolosa che può causare la perdita della vita, lesioni o altri effetti sulla salute, danni alla proprietà, perdita di mezzi di sussistenza e di servizi, danni sociali ed economici, o danni ambientali.
Pathway	Le caratteristiche geomorfologiche della regione sotto la valutazione, che influenzano il modo in cui si propagano i pericoli e di conseguenza l'esposizione. Esso comprende barriere naturali.	N/A
Percezione del rischio/consapevolezza	La visione d'insieme del rischio percepito da una persona o da un gruppo comprendendo il sentimento, il giudizio e la cultura (ARMONIA project, 2007).	<b>IPCC:</b> N/A <b>UNISDR:</b> Il grado di conoscenza comune dei rischi delle catastrofi, i fattori che portano a disastri e le azioni che possono essere intraprese individualmente e collettivamente per ridurre l'esposizione e la sensibilità ai rischi, aumentando la capacità di adattamento.
Ricettori	Un'entità fisica, con una estensione geografica specifica, che è caratterizzato da particolari caratteristiche (esseri umani esempio, aree protette, città, etc.).	N/A
Rischi	Combinazione della probabilità che avvenga un certo pericolo con le sue conseguenze	<b>IPCC:</b> La probabilità in un certo periodo di tempo di gravi alterazioni nel normale funzionamento di una comunità o di una società a causa di eventi fisici pericolosi che interagiscono con condizioni sociali vulnerabili, portando ad effetti negativi a persone e materiali, o effetti ambientali che richiedono una risposta di emergenza per rispondere a bisogni umani fondamentali esigendo anche di sostegno esterno per il recupero. <b>UNISDR:</b> La combinazione tra la probabilità di un evento e le sue conseguenze negative.
Suscettibilità	Valutazione fisica/ambientale dei ricettori, es. la probabilità che i ricettori possano essere danneggiati da qualsiasi pericolo dati i loro fattori strutturali.	N/A
Value factor	Il valore sociale, economico e ambientale dei ricettori esposti.	N/A
Vulnerabilità	La combinazione di sensibilità e capacità sociali che determinano la propensione o la predisposizione di una comunità, di sistema, o bene a essere influenzato negativamente da un pericolo specifico.	<b>IPCC:</b> La propensione o la predisposizione a essere influenzati negativamente. <b>UNISDR:</b> Le caratteristiche e le circostanze di una comunità, di sistema, o bene che lo rendono sensibili agli effetti dannosi di un pericolo.

In SERRA il rischio viene considerato come funzione del pericolo (Hazard), dell'esposizione e della vulnerabilità. La formula generale [1] viene quindi utilizzata nei vari processi proposti in SERRA (ad esempio quando il pericolo è zero il rischio risulta nullo), ma l'algoritmo non viene necessariamente costretto a produrre due indici indipendenti e adimensionali ( $H = \text{Hazard}$  e  $V = \text{Vulnerability}$ ) da moltiplicare con un indice di esposizione  $E$  monetario. La Figura 6 illustra come le variabili di formula [1] vengano valutate per produrre una quantificazione del rischio con SERRA.

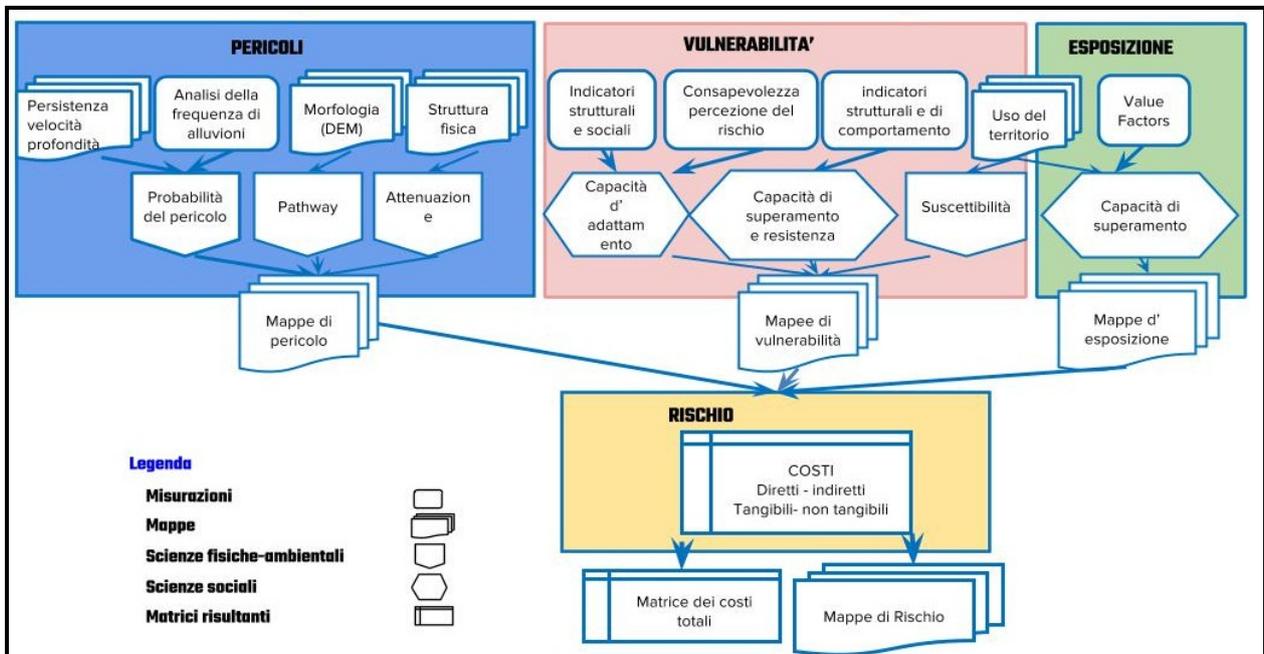


Figura 6: L'ambito concettuale di KULTURisk con l'individuazione delle principali fonti di dati per la quantificazione dei costi e del rischio

Nel caso di un evento alluvionale, il pericolo viene mostrato in genere come una o più mappe di intensità espresse in termini di profondità, persistenza, e/o velocità dell'evento alluvionale, ottenute dall'analisi e modellazione idrologica, con riferimento ai tempi di ritorno e alle misure di intensità. In aggiunta, devono essere considerati i possibili ricettori, individuati dalla direttiva europea sulle alluvioni nelle categorie: persone, attività economiche, beni culturali, componente ambientale (EC, 2007).

L'esposizione identifica la presenza di persone e di un certo assetto territoriale (costruzioni, strutture, attività) e per quanto possibile il loro valore sociale, ambientale ed economico. Nel caso di completa monetizzazione dei danni e dei costi, l'esposizione espressa in termini monetari può rappresentare il termine  $E$  dell'equazione [1] da moltiplicare per gli indici normalizzati di pericolosità e vulnerabilità.

La vulnerabilità viene anch'essa visualizzata come mappe di vulnerabilità derivanti dalla combinazione di componenti fisico/ambientali (F/E) e sociali. Le componenti fisico-ambientali vengono valutate dalla probabilità che i ricettori situati nella zona considerata possano venire danneggiati (sensibilità dei ricettori). Le componenti sociali possono essere descritte attraverso il grado di preparazione *ex ante* per combattere quel pericolo e ridurre il suo impatto negativo (capacità d'adattamento) e le competenze *ex post* per far fronte e superare gli impatti del pericolo considerato (capacità di superamento), data una certa percezione e consapevolezza del rischio di una comunità.

Poiché pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sono normalmente riportate su mappe, ossia, sono spazialmente esplicite, una buona parte delle elaborazioni può essere realizzata in un contesto GIS

(*Geographical Information System*). Esempi sono le mappe di aree inondate o inondabili prodotte da modelli idrologici, o mappe basate su censimento rappresentanti la distribuzione di edifici o persone, e altri indicatori utilizzati per calcolare le capacità di adattamento e di ricostruzione. Gli elementi sopra descritti permettono il calcolo dei danni attesi in relazione ai rischi di diversi scenari pericolosi. L'utilizzo previsto dell'approccio proposto è principalmente quello di supportare il processo decisionale e in particolare l'identificazione delle misure di attenuazione dei rischi (ad esempio misure di difesa rispetto al pericolo alluvionale in Figura 7). A tal fine, si confrontano di solito le soluzioni plausibili da attuare con uno "scenario di base". Gli effetti attesi dalle misure sono quindi espressi sia in termini di benefici monetari (costi evitati) o per mezzo di indicatori di efficacia rispetto ai costi previsti, per mezzo di analisi costi-benefici (CBA) o analisi costo-efficacia (CEA).



Figura 7: Contrà San Pietro (Vicenza 16 novembre 2010). Preparativi di difesa dall'esonazione (Foto di Mariela Victoria De Marchi Moyano)

*La dimensione economica: il concetto di costo totale e la matrice dei costi totali in KULTURisk*

Le valutazioni del rischio tradizionali hanno considerato spesso dei costi che possiamo definire costi tangibili diretti, legati cioè alla perdita diretta di beni tangibili o alla mancata produzione di beni o servizi tangibili. Questi costi vengono valutati in modo anche molto dettagliato, ma così facendo si trascura una serie di costi necessari a fornire una quantificazione complessiva del rischio (Balbi et al. 2014).

Ad esempio, un sistema di allarme potrebbe ridurre solo in parte la quantità di costi tangibili diretti (ad esempio, è possibile spostare l'auto, ma non la casa), ma può: ridurre il numero di vittime e salvare la vita (costi intangibili diretti); modificare il comportamento delle persone, evitando traumi di lunga durata (costi intangibili indiretti); prevenire i costi di evacuazione a seguito del disastro (costi indiretti tangibili).

Quindi i costi "veri" dei disastri includono costi, compresa la perdita di vantaggi, difficili da identificare e quantificare (Downton e Pielke, 2005).

I costi diretti sono i costi dovuti ai danni provocati dal pericolo e che si verificano durante l'evento fisico; costi indiretti sono quelli indotti dal disastro, ma si verificano, nello spazio o di tempo, separatamente dall'evento fisico. I costi tangibili sono quelli derivanti dagli impatti economici e sono oggetto di ben consolidata ricerca nel campo dell'economia delle calamità naturali (NRC, 1999); i costi intangibili sono quei valori persi a causa di un disastro, che non possono, o sono difficili

e/o controversi da monetizzare in quanto costituiscono beni non di mercato (NRC, 1999), hanno spesso a che fare con l'impatto sulle persone e sull'ambiente.

Il concetto di costo totale (ad esempio, Albala-Bertrand 1993; Wind et al, 1999) mira a determinare l'onere complessivo imposto da una catastrofe su un socio-ecosistema. In economia pubblica il concetto di costo totale si è spesso approssimato con il concetto di costo sociale (Coase, 1960) ed è simmetrico al valore economico complessivo (Freeman, 1979) utilizzato in economia ambientale per stimare le prestazioni fornite dalle risorse naturali.

Per andare oltre i costi tangibili diretti e poter valutare il costo totale, vanno considerati i seguenti requisiti metodologici e operativi:

1. una descrizione funzionale delle prevedibili conseguenze;
2. la considerazione di altri tipi di impatti per cui emerga un'espressione in termini monetari;
3. l'applicazione di metodi di valutazione economica dei beni non di mercato, al fine di fornire i valori monetari per beni immateriali;
4. l'esame dei metodi di valutazione alternativi, ad esempio analisi costo-efficacia, in quei casi in cui l'analisi costi-benefici non sia possibile o desiderata.

La Matrice dei costi totali (Figura 8) è un utile strumento per visualizzare in forma disaggregata e poi calcolare i costi legati ai diversi tipi di danni. Si ottiene dividendo il problema in quattro quadranti risultanti dalle categorie di tangibilità e immediatezza.



Figura 8: La matrice dei costi totali per la valutazione del costo totale.

#### Costi tangibili

I costi tangibili, o materiali, possono essere misurati come perdite dirette di attività economiche o di scorte (*stock*), o dagli effetti indiretti conseguenti sui flussi economici, come il PIL o il consumo (Balbi, 2013; Benson e Clay, 2003; Cavallo e Noy, 2010; Green et al., 2011; Messner et al., 2007).

Per differenziare costi tangibili diretti e indiretti si dividono gli effetti in conseguenze di primo ordine o di ordini superiori a seconda della contiguità con l'evento e si considerano gli ordini superiori come costi indiretti.

Le conseguenze di primo ordine sono situate nella zona di inondazione e dipendono dal contatto con la fonte di pericolo: nel caso di inondazioni, quindi, l'acqua (Green et al., 2011), includendo

anche i costi per i servizi di emergenza, tra cui la spesa pubblica per l'evacuazione e la pulizia, e i costi sanitari (Penning-Rowsell e Wilson, 2006) (Figura 9).

Conseguenze del secondo ordine colpiscono i ricettori vicino alla zona di inondazione alterando le loro attività (Green et al., 2011) e dipendono anche dalla struttura della rete del sistema, piuttosto che sulla vicinanza spaziale del recettore per il diluvio. Per esempio, se una strada secondaria è allagata, può indurre effetti indiretti nel raggio di pochi chilometri. Ma se una stazione è allagata, può avere centinaia di chilometri di conseguenze. I costi indiretti di questo tipo dovrebbero includere i costi dovuti all'arresto della produzione e di deviazione del traffico.

Conseguenze di terzo ordine sono legate a ciò che accade dopo l'evento e durante la fase di recupero (Green et al., 2011). I costi indiretti di questo tipo dovrebbero includere: calo o aumento degli investimenti, calo del reddito nazionale / regionale, i costi di opportunità di spese di bilancio delle inondazioni legate, aumento delle importazioni alimentari, ecc. (Olsen e Porter, 2011). Altri costi indiretti potrebbero includere i costi derivati dall'inflazione a causa degli effetti negativi sul sistema dei rifornimenti (Cavallo e Noy, 2010).

Una parte importante delle analisi sui costi indiretti si è concentrata sugli effetti delle inondazioni sul reddito o sul prodotto interno lordo (PIL) (Green et al., 2011), evidenziando che gli effetti delle inondazioni sulla crescita potrebbero essere significativi nel breve termine, ma insignificanti nel medio e lungo termine (Albala-Bertrand, 1993) e che ci sono effetti positivi dopo il disastro se vengono forniti aiuti (Merz et al., 2010). Tuttavia, i costi sociali del disastro non sono accuratamente rappresentati dalla variazione del PIL (CE, 2009), mentre altri indicatori di benessere potrebbero essere più appropriati, ad esempio Rodriguez-Oreggia et al. (2010) dimostrano che esiste un impatto significativo delle calamità naturali nel ridurre l'Indice di Sviluppo Umano (HDI) e nell'aumentare il livello di povertà.

Per quanto riguarda la dimensione spaziale, tecniche di modellazione tradizionali devono essere riviste alla luce della globalizzazione e dell'interconnessione delle economie (Merz et al., 2010). Questo può richiedere algoritmi per modellizzare blocchi e limitazioni di forniture post-evento e ricostruzioni graduali in contesti spaziali disaggregati (Van der Veen e Logtmeijer, 2005). Altri approcci semi-quantitativi hanno invece esplorato la possibilità di includere l'opinione degli *stakeholders* e di esperti (Merz et al., 2010, Wind et al, 1999; NRC, 2000).



Figura 9: Esempio di danneggiamento dall'alluvione del novembre 2010 in un negozio di Monteforte d'Alpone (VR)

### *Costi non tangibili (immateriali)*

Costi non tangibili come la perdita di vite umane, di beni culturali, e dei servizi ecosistemici sono state ampiamente trascurate nel campo dell'economia delle catastrofi naturali. Questi costi sono più difficili da stimare per due ragioni:

- (1) potrebbe essere difficile la loro identificazione (ad esempio, qual è l'effetto di un'alluvione su un ecosistema?)
- (2) potrebbe essere difficile, controverso e scomodo monetizzarli (ad esempio come contabilizzare eventuali morti e feriti).

Accanto alla perdita economica, i potenziali impatti sugli individui sono: mortalità, infortuni, malattie (per esempio, diarrea, trasmessa da vettori) ed infezioni, inquinamento chimico, nutrizione e popolazione sfollata.

La mortalità in un'analisi costi-benefici implica la quantificazione di vite umane in termini monetari discussa nella letteratura come "valore statistico della vita", che è un concetto ampiamente utilizzato per la valutazione delle molte iniziative di salute e sicurezza (Jonkman e Vrijling 2008 ; Doucouliagos et al, 2011). Anche gli impatti sulla salute psicologica o mentale, come lo stress, l'evacuazione, l'interruzione della quotidianità, la perdita della casa e perdita di oggetti personali vengono riconosciuti, ma solo una piccola parte di questi effetti è catturato da costi sanitari diretti (Green et al., 2011).

La perdita del patrimonio culturale è un ulteriore impatto ed è solo un'approssimazione considerare i danni ai beni materiali storici, poiché alcuni disastri possono influenzare anche beni culturali intangibili come il folclore, le tradizioni, la lingua. Tuttavia, bisogna considerare che possono sorgere anche dei vantaggi sociali dalla redistribuzione dei beni dopo un evento disastroso (McSweeney e Coombs, 2011).

L'impatto ambientale è legato alle caratteristiche specifiche di un certo bacino, il cui ambiente è il risultato di ecosistemi interdipendenti, che si sviluppa intorno al regime idrico prevalente. Gli ecosistemi e le specie presenti possono essere considerati come i ricettori del pericolo. Inondazioni (e frane) possono avere anche effetti ecologici positivi, ad esempio quando l'apporto di sedimenti in zone umide porta al rafforzamento dell'avifauna ed in generale al mantenimento del carattere naturale di queste aree e della diversità biotica (FLOODsite, 2009). Effetti sfavorevoli si verificano se le inondazioni invadono zone con ecosistemi intolleranti all'acqua, o quando portano ad erosione o deposizione di sedimenti a scapito delle specie presenti, o alla dispersione di sostanze inquinanti (FLOODsite, 2009). La diminuzione della qualità del suolo e la perdita della struttura del terreno sono sicuramente da considerare come impatti ambientali negativi non tangibili (Leschine et al., 1997, Alcamo et al., 2003).

Da un lato, potrebbe essere accettato che i costi intangibili rimangano non-monetizzati, e quindi indicati come impatti, ma d'altro canto è necessario identificarli ed includerli in ogni valutazione che abbia l'ambizione di essere realistica e completa.

### *La dimensione sociale: adattabilità e capacità di superamento degli eventi avversi per la prevenzione del rischio in KULTURisk*

Una delle principali innovazioni di SERRA è di considerare dettagliatamente le capacità sociali (adattabilità e capacità di gestione e superamento) nel processo di misurazione del rischio mediante la matrice dei costi totali TCM, tentando così di rendere operativa e per quanto possibile quantificabile la valutazione della vulnerabilità sociale.

I sociologi di solito indagano queste capacità sociali in casi studio reali per mezzo di questionari e interagendo con gli attori locali, in un approccio di ricerca semi-quantitativa (Steinfuhrer et al.,

2009). In effetti, le variabili che misurano tali capacità dovrebbero essere scelte in base al contesto di applicazione. Tuttavia, come mostrato in Cutter et al. (2003), un insieme ridotto di indicatori basati su dati secondari può essere comunque selezionato per approssimare la vulnerabilità sociale.

Si propone qui un elenco di variabili e indicatori, come mostrato nella Tabella 2, che può comporre un insieme ridotto di dati per approssimare le capacità sociali, dichiarando le nostre ipotesi circa i loro contributi alla matrice dei costi totali TCM. Alcuni degli indicatori possono influenzare sia le capacità di adattamento che quelle di superamento -ricostruzione, come ad esempio il livello di reddito. Una società con livello di reddito più elevato potrebbe ottenere una maggiore capacità di adattamento, integrando sistemi di allerta a livello di comunità, oppure a livello individuale prendendo misure precauzionali, come fortificare gli edifici residenziali. Allo stesso modo, il reddito più alto può influenzare la capacità di superamento dell'evento quando viene aumentata la capacità della comunità o degli individui di far fronte a inondazioni. Pertanto, è necessario un esame attento per testare empiricamente il significato di ciascun indicatore, evitando doppi conteggi e correlazioni interne. Mentre la maggior parte degli indicatori possono essere ricavati da dati secondari o da censimenti, alcune variabili potrebbero essere difficili da ricavare, senza attività di raccolta dati ad hoc. Questo è particolarmente evidente per la fiducia o percezione del rischio, che è una componente importante del quadro.

**Tabella 2: Indicatori sociali per la capacità di adattamento e gestione delle crisi e loro effetti sui costi**

Variabile	Capacità adattamento	Capacità superamento	Indicatori	Costi			
				Diretto tangibile	Diretto intangibile	Indiretto tangibile	Indiretto intangibile
Età		X	Percentuale di popolazione al disotto dei 5 anni; al disopra dei 65 anni; età mediana		+		+
Sesso		X	% di femmine; % di famiglie con capofamiglia femminile;		+		+
Struttura familiare		X	% di famiglie mono-genitoriali; %di famiglie numerose (più di 4 persone)		+		+
Disabilità	X	X	% di residenti in case di cura o riposo; % di residenti disabili o malati		+		+
Reddito	X	X	Reddito pro capite, valore monetario medio delle abitazioni occupate dai proprietari; affitto medio; rating del credito degli inquilini	+		+	
Disparità sociale	X	X	Indice di Gini per i redditi; % di capofamiglia che guadagnano più/meno di soglie determinate; persone dipendenti dai servizi sociali	+	+		
Educazione	X		% della popolazione di 25 anni o più senza diploma di scuola superiore; % di popolazione con istruzione superiore			-	+
Occupazione	X		% di disoccupati; tipo di occupazioni (tempo pieno, part time, partita IVA, etc.)			+	+
Rete di sicurezza		X	Negativo di qualità delle relazioni all'interno della comunità; Percentuale di popolazione isolata;		+		+
Fiducia		X	Misura della fiducia della popolazione rispetto alla propria salvaguardia, ricavata da questionari	+			-
Percezione del rischio	X	X	Misura della percezione dell'esposizione al rischio, ricavata da questionari				
Governo del rischio	X	X	numero pro capite di ospedali; numero pro capite di medici; gov. locale. rapporto debito/entrate; L'accesso (numero) ai posti di sicurezza durante l'evento; Numero di volontari della Croce Rossa; Ore spese per la formazione e la manovra	-	-	-	-
Sistemi di allerta	X	X	Numero di sistemi di allerta precoce in atto per tipologia di pericolo	-	-	-	-
Diffusione della percezione del rischio	X	X	% di famiglie assicurate; % delle attività economiche assicurate;	-			
Diversificazione economica	X	X	Indice Herfindahl normalizzato per settore economico (primario secondario terziario), contributo al PIL o all'occupazione	+		+	
Interconnettività delle economie	X	X	Scambi commerciali netti in beni o servizi : % di residenti che viaggiano oltre l'area modellizzata	-		+	+
Immigrati		X	% Locatari/affittuari; % di residenti recenti/immigrati	-	+		+

### Metodologie di valutazione dei costi economici e dei benefici derivanti dalla riduzione dei rischi

Il primo passo per la valutazione dei benefici della riduzione del rischio consiste nell'individuazione dei potenziali costi di un determinato disastro (ad esempio un'alluvione con un tempo di ritorno specifico), senza considerare alcuna delle misure di prevenzione da valutare, cioè nello scenario base. Un secondo passo è quello di stimare le riduzioni di costi previsti per la stessa catastrofe con le misure di riduzione del rischio in atto (benefici di scenari alternativi) e dei loro costi di implementazione. La misura preferita è quella che fornisce il miglior rapporto costi/benefici, e nel caso di valutazioni costi/efficacia la misura preferita è tipicamente quella che permetta di ottenere l'obiettivo di prevenzione dei rischi con il minimo costo.

**Tabella 3. Sintesi di metodologie di stima dei costi (adattata da Logar and van den Bergh, 2012)**

Metodologia	Cluster	Diretti Tangibili	Indiretti Tangibili	Diretti Intangibili	Indiretti Intangibili	Scala suggerita	Dati necessari	Risorse/capacità necessarie	Applicazione tipica	Riferimenti
Prezzo di mercato	MB	<b>X</b>	<b>X</b>			Meso	Prezzi e quantità nel mercato	Piuttosto semplice	Perdita di raccolti	Rayhan and Grote, 2010
Funzione di produzione	MB	<b>X</b>	<b>X</b>			Micro	Risultati e parametri delle funzioni di produzioni	Analisi di regressione	Valore di un input danneggiato nell'economia	Nakano et al., 2011
Costo di sostituzione	MB	<b>X</b>		<b>X</b>		Meso	Costo di sostituzione, fattore di deprezzamento	Piuttosto semplice	Danni alle proprietà residenziali	Middelmann-Fernandes, 2009.
Mercato surrogato	NMB			<b>X</b>	<b>X</b>	Micro	Indagini ad hoc, valore delle proprietà	Analisi di regressione	Valore di servizi a rischio	Samarasingh e and Sharp, 2010
Valutazione contingente	NMB			<b>X</b>	<b>X</b>	Micro	Indagini ad hoc, dati da censimento	Analisi di regressione, lavoro in campo	Valore nell'aumentare la protezione da alluvioni	Brouwer et al., 2009
Esperimento di scelta	NMB			<b>X</b>	<b>X</b>	Micro	Indagini ad hoc, dati da censimento	Analisi di regressione, lavoro in campo	Valore di sistemi di allerta precoce	Zhai et al., 2007
Soddisfazione della vita	NMB			<b>X</b>	<b>X</b>	Micro	Indagini ad hoc, dati da censimento	Analisi di regressione, lavoro in campo	Stress derivante dal vivere in un'area ad alto rischio alluvionale	Luechinger and Raschky, 2009
Modelli econometrici regionali	T&ESM	<b>X</b>	<b>X</b>			Meso	Indagini ad hoc, transazioni, consumo, etc.	Analisi di regressione	Costi degli effetti a cascata a seguito della crisi	Takasaski et al., 2004
Equilibrio generale calcolabile	T&ESM	<b>X</b>	<b>X</b>			Macro	Tabelle I/O e SAM, elasticità, etc.	Modellizzazione con software ad hoc (es GAMS)	Costo di interruzione dell'approvvigionamento di beni critici	Rose and Liao, 2005
Input-Output (SAM)	T&ESM	<b>X</b>	<b>X</b>			Macro	Transazioni, salari, consumi, tasse, etc	Piuttosto semplice	Costi di effetti indiretti di secondo o più ordine	Okuyama and Sahin, 2009
Simulazione economica integrata	T&ESM	<b>X</b>	<b>X</b>			Micro, Meso	Dati biologici, idrologici e socio-economici	Strumenti appositi e capacità di programmazione	Shock a livello sistemico e dinamiche relative	Werner and McNamara, 2007
Benefit Transfer	N/A	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	Meso, Macro	Precedenti studi primari simili	analisi di regressione per soluzioni raffinate	Valore di servizi ecosistemici	Brander et al., 2012

**Nota a tabella 3:** Tipi di metodi di valutazione: approcci basati sul mercato (MB), metodi non basati sul mercato (*non-market-based* NMB), metodi di modellazione di sistemi economici tradizionali e accoppiati (T&ESM). Le **X** in grassetto identificano il campo di applicazione preferibile.

In Tabella 3 si propone una breve sintesi delle principali metodologie di stima dei costi applicati ai disastri idro-meteorologici e si rimanda alla letteratura specifica per la loro spiegazione (Balbi et al., 2013). I metodi utilizzabili possono essere divisi in tre gruppi principali di tecniche di valutazione (vedi seconda colonna): (1) metodi basati sul mercato (MB), (2) metodi non basati su beni di mercato (NMB), e (3) metodi di modellazione di sistemi economici tradizionali ed integrati (T&I ESM). Ognuno di questi metodi ha un'applicazione specifica ed aiuta a monetizzare le diverse voci della matrice totale dei costi (Balbi et al., 2013).

## 6. PROCEDIMENTO “SERRA” PER LA VALUTAZIONE INTEGRATA DEI DANNI NELLA CORNICE “KULTURISK”

Al fine di affrontare questioni e contesti applicativi eterogenei, il quadro KULTURISK proposto è necessariamente generico, semplificato nella sua concettualizzazione generale, ma ancora piuttosto complesso nella sua attuazione pratica. Per renderlo operativo, viene qui proposto e descritto l’approccio per la valutazione integrata del danno con SERRA.

L’applicazione di SERRA a vari casi studio del progetto ha dimostrato che non vi è un unico procedimento per la quantificazione dei diversi punti. Al contrario, il procedimento dovrebbe essere definito secondo gli obiettivi e le condizioni specifiche (es. disponibilità dei dati, limiti dello studio, ecc.) di ogni implementazione.

Il processo SERRA si svolge tramite una serie di passi, per ognuno dei quali presenta vari gradi di libertà. Per ogni passo è necessario fare delle scelte metodologiche caso-specifiche (Giovannini et al., 2008):

- individuazione del contesto applicativo in termini di scenari e misure;
- selezione di indicatori e *data-mining* (indagine dei dati);
- scelta delle procedure di normalizzazione;
- scelta dei metodi di ponderazione;
- selezione degli algoritmi di aggregazione.

Il primo passo verso l’attuazione del quadro è l’identificazione del contesto applicativo. Questa è una scelta strategica, che dipende non solo dal socio-ecosistema considerato, ma anche dallo scopo dell’applicazione influenzando così il livello di dettaglio dell’analisi e il metodo di valutazione. Elementi fondamentali di tale fase introduttiva sono la definizione del quadro normativo (in Europa la direttiva Alluvioni CE / 60/2007 nelle sue implementazioni nazionali), l’identificazione delle fonti di informazione e sistemi di gestione, le ambizioni e le preferenze dei soggetti interessati in termini di metodi di valutazione economica.

Il secondo passo coinvolge la scelta degli indicatori e la raccolta dati: la valutazione tradizionale del rischio fondata su costi tangibili si concentra su dati storici di portata dei fiumi, precipitazione, *Digital Elevation Model* (DEM), mappe di uso del suolo, mappe di infrastrutture ecc.

Questi dati sono di solito disponibili da autorità regionali o nazionali, o distretti idrografici. Essi sono utilizzati per il calcolo degli indicatori come ad esempio “il tempo di ritorno” degli eventi estremi. Più impegnativa è l’identificazione di indicatori per le capacità sociali. L’elenco degli indicatori riassunti nella Tabella 2 si può considerare come un riferimento che considera informazioni normalmente disponibili dai censimenti nazionali.

La normalizzazione è la procedura necessaria per trasformare i valori espressi nelle unità di misura dei diversi indicatori con valori adimensionali (es.  $0 \div 1$ ), per consentire la valutazione comparativa e l’aggregazione (Giupponi et al, 2013a; Nardo et al., 2005). La normalizzazione è necessaria soprattutto per due componenti della formula di valutazione del rischio [1] che sono espressi come indici adimensionali (H pericolo e V vulnerabilità), ma possono servire anche per E (esposizione) qualora non si opti per la completa monetizzazione. Il tipo di funzione di normalizzazione dipende dagli indicatori considerati, dalle preferenze degli esperti e dai decisori coinvolti nel processo di valutazione.

Alcune delle diverse funzioni di normalizzazione disponibili sono:

- ⇒ Classificazione cioè classificare in classi precedentemente selezionate ciascun valore dell’indicatore. I principali vantaggi dell’approccio classificatorio sono la sua semplicità e l’indipendenza da possibili valori anomali. Gli svantaggi sono la perdita di informazioni sui livelli assoluti e l’impossibilità di trarre conclusioni sulle differenze di prestazioni.

- ⇒ Standardizzazione (z-score); è una delle procedure di normalizzazione più comunemente usate in cui tutti gli indicatori possono essere convertiti in una scala comune con media zero e deviazione standard (dispersione dei dati) unitaria.
- ⇒ Normalizzazione massimi-minimi è ottenuta attraverso la determinazione di valori desiderabili e dei meno accettabili (vengono cioè definiti i migliori e i peggiori), poi si scalano linearmente i valori misurati tra le due soglie.
- ⇒ Funzione valore; si tratta di una normalizzazione che utilizza rappresentazioni matematiche di giudizi soggettivi umani, offrendo la possibilità di trattare in modo esplicito, logico e sistematico opinioni e giudizi soggettivi di persone intervistate (Beinat, 1997).
- ⇒ Distanza da una misura di riferimento; considera il rapporto tra per un generico valore e un valore di riferimento per quell'indicatore. Il riferimento potrebbe essere un obiettivo da raggiungere per esempio in termini di efficacia della misura o dell'azione intrapresa.
- ⇒ Scale categoriali in cui vengono selezionate in primo luogo le categorie, che possono essere numeriche (es. uno, due, o tre stelle) o qualitative (es. 'pienamente raggiunto', 'parzialmente realizzato', o 'non raggiunto'). I punteggi vengono poi assegnati a ciascuna categoria, per esprimere giudizi valutativi.

A seguito della normalizzazione, i dati sono espressi con valori adimensionali rispetto ad una medesima scala (es.: 0 = pessimo sino ad 1 = ottimo) e si può quindi passare alla ponderazione (*Weighting*) per esprimere l'importanza relativa di singoli indicatori nel calcolo degli indici compositi, come ad esempio l'indice di vulnerabilità. I pesi sono essenzialmente giudizi di valore, quindi soggettivi, e hanno la proprietà di rendere espliciti gli obiettivi che sottostanno alla costruzione di un certo indice. A seconda del giudizio soggettivo, si possono assegnare pesi differenti cioè importanza differente ai diversi indicatori. Non esiste quindi una metodologia universalmente accettata per assegnare i pesi ai singoli indicatori prima di aggregarli in un indice composito, pertanto, i pesi possono sempre essere messi in discussione e ad esempio essere sottoposti ad analisi della sensibilità dai risultati. Per questo è necessario esplicitare come viene costruito il modello pesato coinvolgendo tutti i soggetti e gli attori interessati. In molti casi, per valutare la sensibilità dei risultati finali a questa fonte di soggettività, vengono applicati vettori di peso differenti forniti dai diversi *stakeholders* e si confrontano i modelli ottenuti.

Le procedure di ponderazione comunemente utilizzate (Belton & Stewart, 2002) sono:

- ✓ Metodi di ponderazione statistica
- ✓ Pesi uguali
- ✓ Analisi delle Componenti Principali
- ✓ Analisi fattoriale
- ✓ Modelli di regressione multipla
- ✓ Metodi di ponderazione partecipativi
- ✓ Giudizio di esperti
- ✓ Confronti a coppie

Nella valutazione basata sugli indicatori, l'esito (gli indici R, H, V, E) è il risultato di un'aggregazione, cioè di una combinazione, spesso gerarchica, di vari indicatori in uno o più nodi convergenti o in un unico indice generale del rischio. L'aggregazione di indicatori è un compito cruciale dal momento che la metodologia scelta ha un impatto sostanziale sul calcolo dell'indice finale. Infatti la scelta del metodo di aggregazione comporta dei compromessi tra perdita di informazioni,

complessità computazionale, adesione alle preferenze dei decisori, trasparenza delle procedure, ecc.

Tra i possibili operatori di aggregazione a disposizione presentiamo i seguenti:

- Operatori statistici; più comunemente utilizzati nella pratica, data la semplicità di calcolo e l'immediatezza e trasparenza del processo di aggregazione. Sono tipicamente compensatori cioè un cattivo punteggio in un criterio può essere compensato da un buon punteggio in un altro, "nascondendo" così la presenza del cattivo punteggio nell'indice finale e, soprattutto, non sono in grado di prendere in considerazione qualsiasi interazione tra i criteri.
- Medie quasi aritmetiche (comprendono anche medie geometriche e armoniche).
- Media ponderata ordinata (OWA) (basata sulle somme ponderate con i criteri ordinati per grandezza, e i pesi possono essere modellati per esprimere quantificatori vaghi).
- Operatori logici; gli operatori "AND" sono una famiglia di operatori che esprimono congiunzione logica (risultando in un comportamento pessimistico che assegna il valore più basso dei diversi criteri nell'aggregazione), mentre gli operatori "OR" considerano la disgiunzione logica (comportamento ottimistico).
- Misure non-additive (NAM) introdotti per superare gli inconvenienti di compensazione interna degli operatori statistici di tendenza (media) (Giupponi et al., 2013a).

#### *Applicazione di SERRA in casi studio del progetto KULTURisk*

Per avere un impatto sul processo decisionale l'approccio proposto deve diventare parte del processo di attuazione delle politiche, in particolare per la mitigazione del rischio alluvionale e per l'adattamento al cambiamento climatico. A tal fine vengono presentati alcuni casi studio su cui è stata effettuata la valutazione integrata dei danni utilizzando l'approccio SERRA, evidenziando alcuni dei principali risultati e come base per la discussione sulla metodologia di validazione del metodo e la sua estensione ad altri casi.

Un approfondimento applicativo della metodologia nel caso studio di Dacca, capitale del Bangladesh, viene invece riportato in allegato, a cui si rimanda per un'ampia spiegazione di come vengano individuati i singoli indicatori, come vengano valutati e aggregati sia considerando la dimensione sociale che quella economica.

#### Mareggiate nelle zone costiere - Somerset nel Regno Unito (Quinn et al 2013).

I soggetti interessati hanno esaminato i rischi futuri in relazione a possibili proiezioni circa l'innalzamento del livello del mare considerati come altrettanti scenari di pericolo e hanno sottolineato l'importanza di considerare la vulnerabilità sociale nella valutazione del rischio. La valutazione del rischio SERRA è stata effettuata per tutte le categorie di ricettori e sono stati riassunti in forma di mappe e tabelle di rischio. Per il rischio alle persone, considerata la tipologia più grave di rischio, i risultati sono stati riportati in termini di numero di persone a rischio di morte attraverso le mappe e monetizzando altri rischi come traumi, lesioni, ed evacuazione.

Inondazioni torrenziali in bacini alpini - Barcelonnette in Francia (Mukolwe et al 2014).

Sono stati considerati tre scenari di misure di mitigazione del rischio, sia strutturali che non strutturali, comprensivi del miglioramento dell'alveo fluviale. Quindi, i risultati sono stati inseriti in una valutazione dei costi-benefici e confrontati nella loro capacità di ridurre i danni a tutti i possibili ricettori. Due diverse serie di mappe sono state utilizzate per illustrare il rischio in termini monetari ottenuto da SERRA e in termini non monetari dall'applicazione RRA (*Regional Risk Assessment*).

Alluvioni urbane - fiume Sihl a Zurigo (Svizzera) (Ronco et al, 2015, 2014A.)

La parte inferiore del bacino del fiume Sihl in Svizzera è stata selezionata come caso studio per la valutazione del rischio regionale fisico-ambientale. La valutazione si è concentrata sull'analisi di eventi di piena estremi (e a bassa probabilità) con un periodo di ritorno di 300 anni, in grado di inondare fino all'area critica intorno alla stazione centrale di Zurigo. I punteggi di rischio per tutti i ricettori (persone, edifici, infrastrutture, aree agricole, ambienti naturali e semi-naturali e del patrimonio culturale) e il punteggio totale di rischio sono stati calcolati e mappati. Le principali conclusioni della RRA (*Regional Risk Assessment*) hanno dimostrato che i ricettori altamente colpiti sono le persone, gli edifici e le infrastrutture e che i punteggi a più alto rischio sono concentrati geograficamente nel centro profondamente urbanizzato della città. Lesioni e decessi attesi sono dovuti principalmente all'alta densità di popolazione e alla presenza di persone vulnerabili; gli edifici allagati sarebbero per lo più quelli facenti parte del tessuto urbano continuo e discontinuo; le infrastrutture allagate comprenderebbero strade e ferrovie (Ronco et al., 2015).

Inondazioni in bacini fluviali transfrontalieri Danubio in Europa centrale( DeLuca et al, 2014) e Vipava / Vipacco (in Slovenia / Italia).

Il caso di studio transfrontaliero Vipava / Vipacco si trova tra l'Italia e la Slovenia con valutazione della sola parte RRA (*Regional Risk Assessment*) a causa della mancanza di dati alla risoluzione spaziale desiderata sul lato sloveno. Tuttavia, in seguito si è potuto calcolare il costo economico con SERRA sulla parte italiana. La valutazione è stata fatta alle risoluzioni 50-100 m per la parte di esposizione e vulnerabilità e 5 m per la componente di rischio.

Per il caso studio del Danubio sono stati valutati tutti i livelli di rischio su uno scenario di base relativo allo *status-quo* e su 3 scenari alternativi di riduzione del rischio basati sull'installazione di sistemi di allerta precoce con diversi tempi morti e affidabilità delle previsioni climatologiche. La risoluzione della analisi è stata impostata a 100 m per la vasta scala del bacino. I risultati della valutazione dei rischi sono stati riportati utilizzando le mappe per tutti i possibili ricettori e a livello nazionale mentre i rischi in termini monetari sono stati riportati in tabelle per ogni paese mettendo in evidenza le differenze che l'esame della vulnerabilità sociale porta alla valutazione del rischio. Questa analisi ha dimostrato particolare le differenze di rischio tra paesi ad alto reddito e paesi a basso reddito del bacino a causa del valore dei beni esposti.

*La valutazione del rischio nel "Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto idrografico delle Alpi Orientali"*

Grazie alla partecipazione attiva dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione allo sviluppo di KULTURisk e all'attenzione di tutti i partner KULTURisk, si sono potuti sviluppare approcci metodologici condivisi di valutazione integrale del rischio, compatibili con quanto richiesto dalle normative europee e regionali. Alcuni dei concetti sviluppati hanno poi costituito una base di conoscenza utile ai lavori dell'autorità di Bacino. In particolare, alcuni aspetti sono potuti confluire, con opportune modifiche ed integrazioni, anche nello sviluppo

di strumenti di gestione territoriale locale quali il "Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto idrografico delle Alpi Orientali".

Il piano si sviluppa in risposta alle richieste della direttiva europea alluvioni 2007/60/CE con Decreto legislativo n. 49/2010 di recepimento. Alcuni dei principi contenuti nella direttiva erano già stati anticipati dalla L. 183/89 con i piani di bacino, successivamente integrati e maggiormente orientati sul concetto di rischio idraulico dalla L. 365/2000 attraverso la quale hanno preso forma i cosiddetti piani di assetto idrogeologico (PAI). Il documento di piano è stato sviluppato con il contributo delle diverse strutture della Regione Veneto e della Regione Friuli Venezia Giulia, delle Province Autonome di Trento e Bolzano, del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, del Ministero delle Infrastrutture, di ISPRA e del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile.

Il piano tiene conto delle seguenti importanti fasi individuate dalla Commissione Europea (*Guidance for Reporting under the Floods Directive 2007/60/EC-2013*):

- stabilire riferimenti certi (nomina delle autorità competenti e degli ambiti territoriali di riferimento);
- valutare preliminarmente il rischio da alluvioni, quale punto di partenza per avere un primo ordine di grandezza dei problemi;
- predisporre le mappe della propensione alla pericolosità e del rischio quale presupposto per operare le scelte;
- predisporre il piano di gestione del rischio da alluvione quale esito finale del processo di valutazione.

La valutazione preliminare è stata operata utilizzando i piani per l'assetto idrogeologico (PAI) disponibili. La terza fase, cioè la mappatura secondo i criteri chiesti dall'Europa, è stata effettuata generalmente senza promuovere alcuna nuova iniziativa conoscitiva. Quindi ad oggi la risposta italiana non è ancora sufficiente e bisogna tenere in conto che i piani vanno aggiornati con continuità per poter rispondere al meglio alle esigenze di gestione del territorio, in particolare si prevede una costante "manutenzione del piano" cioè un suo aggiornamento ed integrazione obbligatoria ogni 6 anni per mantenerlo come un buon strumento di prevenzione.

In linea con quanto proposto per l'approccio KULTURisk (v. anche caso studio di Dacca in allegato), nel piano di gestione viene considerato innanzi tutto il contesto territoriale, le caratteristiche climatiche e quelle morfologiche. Nel piano si descrivono precisamente i vari bacini e gli interventi strutturali più rilevanti per dare un quadro preciso dello stato attuale, anche in relazione ai cambiamenti climatici.

Il Distretto Idrografico delle Alpi Orientali interessa le Province Autonome di Trento e Bolzano, le Regioni Veneto, Friuli Venezia Giulia e una ridotta porzione della Lombardia e inoltre porzioni di territorio della Svizzera, Austria e Slovenia. In questo contesto gli strumenti di pianificazione vengono elaborati per ambiti territoriali definiti "unità di gestione".

A seguito della definizione precisa del contesto territoriale, la valutazione del rischio alluvioni viene effettuata mediante l'elaborazione di mappe della pericolosità e di mappe del rischio di alluvioni a livello distrettuale in cui riportare le potenziali conseguenze negative associate a vari scenari di alluvione.

Al posto di effettuare una valutazione preliminare del rischio sono stati utilizzati i Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) redatti ai sensi della Legge 183/1989 e le relative mappe prodotte con le indicazioni e le modalità pubblicate nel DPCM del 29 settembre 1998 a seguito della Legge 267/1998 per procedere subito alla elaborazione di mappe di pericolosità. Si è partiti dal definire le

aree di allagabilità considerando: aspetti riguardanti la rete idrografica di riferimento; l'idrologia; aspetti idrodinamici e specifiche utilizzate nella modellazione dei fenomeni idraulici fluviali e di inondazioni marine. Si sono analizzate le situazioni di pericolo dei PAI, le indicazioni del Genio Civile e Consorzi di Bonifica, e altri casi particolari, utilizzando uno schema geomorfoclimatico che lega la risposta idrologica del bacino alle caratteristiche fisiche e geomorfologiche del sistema idrografico. Per far ciò si è considerato il tempo di ritorno degli eventi meteorici, senza simulare i processi di evapotraspirazione. Le condizioni iniziali delle variabili per la determinazione della precipitazione efficace sono stati determinati mediante taratura con riferimento all'evento storico di riferimento per tenere conto indirettamente anche dei processi di scioglimento nivale. La risposta del bacino idrografico alle alluvioni è stata stimata utilizzando un modello (integrato) in grado di riprodurre i processi di produzione e di propagazione dei deflussi.

Una volta stabiliti i criteri metodologici per generare i dati richiesti dalla Direttiva 2007/60/CE, è stato anche stabilito l'approccio metodologico per la determinazione della pericolosità, vulnerabilità, esposizione e conseguentemente del rischio, facendo riferimento sia al glossario sia alla cornice metodologica generale sviluppata precedentemente in KULTURisk.

L'approccio metodologico per la determinazione della pericolosità si basa sull'assunzione che essa sia dovuta all'altezza dell'acqua e alla velocità assunta dall'acqua nel luogo considerato costruendo una "Funzione Intensità" che vari nel *range*  $0 \div 1$ . L'intensità dell'alluvione viene cioè considerata come funzione di altezza e velocità e divisa in tre classi: bassa ( $0 \div 0.4$ ), media ( $0.4 \div 0.8$ ) e alta ( $0.8 \div 1$ ).

I dati acquisiti sono stati "trasformati" rispetto a tre scenari di alta (tempo ritorno 30 anni), media (tempo ritorno 100 anni), bassa (tempo ritorno 300 anni) probabilità previsti dalla Direttiva EU in termini di funzione di intensità di danno potenziale e conseguentemente di rischio. Le mappe di pericolosità, in accordo con la direttiva Europea, riportano la perimetrazione del possibile allagamento e la profondità delle acque, mentre la loro velocità è considerata opzionale.

Nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto idrografico delle Alpi Orientali, vulnerabilità ed esposizione sono state riferite a tre macro-categorie di elementi esposti o ricettori del rischio (come da allegati I direttiva europea 96/61/CE e IV 2000/60 CE e del D. Lgs. n. 49 del 23.02.2010): popolazione; attività economiche comprendenti edifici, agricoltura, ambienti naturali e semi-naturali, infrastrutture e strutture strategiche; beni ambientali e culturali-archeologici.

La vulnerabilità è stata valutata rispetto alle tre macrocategorie. In particolare, la vulnerabilità delle persone fa riferimento a valori critici del prodotto tirante d'acqua e velocità del flusso, la vulnerabilità delle attività economiche è valutata come danni agli edifici e strutture, la vulnerabilità dell'ambiente e dei beni culturali è a sua volta espressa in relazione alla possibile contaminazione, all'erosione e alla distruzione di spazi aperti (es, attrazioni turistiche e riserve naturali).

La valutazione dell'esposizione considera anch'essa le tre macrocategorie: l'esposizione della popolazione è riferita alla densità di popolazione e dalla durata temporale della presenza umana in un certo luogo; l'esposizione delle attività economiche viene espressa attraverso i costi di ripristino, mancata produzione e mancata fruizione del servizio; per ambiente e beni culturali ci si riferisce ai cambiamenti che l'evento causa sull'assetto ambientale.

Il rischio è stato a sua volta quantificato considerando che il rischio di un elemento esposto assuma una gradazione compresa tra 0 e 1, dove 0 e 1 sono rispettivamente i casi di assenza di rischio o massimo rischio dell'elemento esposto. La valutazione della pericolosità e del rischio è stata effettuata sullo scenario di base, che non prevede dunque misure preventive. Per ogni macro-categoria si è valutato il rischio specifico ( $R_p$ ,  $R_E$ ,  $R_A$ ) poi aggregati nel rischio totale ( $R$ ) utilizzando una media pesata secondo la formula:

$$R = \frac{p_p \times R_p + p_E \times R_E + p_A \times R_A}{p_p + p_E + p_A}$$

dove

$p_p$  = peso alla macro-categoria persone =10;

$p_E$  = peso alla macro-categoria attività economiche =1;

$p_A$  = peso alla macro-categoria ambiente =1

La pesatura dei rischi riflette la maggiore importanza data alla macro-categoria persone in termini di incolumità alla popolazione. Questo sistema di aggregazione delle diverse componenti e la relativa pesatura hanno il loro precedente nella decennale esperienza dei piani di valutazione del rischio della provincia autonoma di Trento. Il rischio totale viene considerato moderato, medio, elevato o molto elevato a seconda dei valori assunti. Il metodo proposto porta ad ottenere in ogni punto del territorio la classe di rischio totale per i tre diversi tempi di ritorno. Il sistema di valutazione del piano è quindi legato all'effetto diretto e tangibile dell'alluvione sui ricettori.

L'approccio implementato segue quanto proposto nel progetto KULTURisk, anche se si ferma alla valutazione dei danni tangibili diretti. Gli aspetti legati alla valutazione dell'impatto sociale potranno essere integrati nei futuri sviluppi del piano tenendo conto degli indicatori sociali ed economici proposti in SERRA (v. Tabella 2 , e paragrafo 5.).

#### *Dal piano alle politiche gestionali*

Per impostare i piani gestionali a partire dallo strumento fornito dalla valutazione del rischio e consistente in mappe di rischio, sono stati individuate le autorità competenti per l'attuazione delle misure di piano e si è predisposto un coordinamento distrettuale con le amministrazioni competenti in modo da avere una chiara ed efficace divisione dei ruoli.

Anche la popolazione viene coinvolta tramite processi di partecipazione pubblica nel cui ambito vengono condivise le conoscenze normative, scientifiche e tecniche disponibili, si consultano i soggetti interessati e si dimostra come sono stati considerati i contributi e le indicazioni dei soggetti interessati.

Nel Piano, si definiscono gli obiettivi specifici su cui agire, tra cui le conseguenze negative delle alluvioni sulla salute umana, sull'ambiente, sul patrimonio culturale, sulle attività economiche, basandosi sulle conoscenze acquisite anche grazie alle mappe di rischio.

Vengono poi individuate le tipologie di misure per il raggiungimento degli obiettivi, tra cui:

- misure preventive: evitare la costruzione di case e industrie in aree a rischio di inondazione presenti e future; adattare i ricettori esistenti al rischio di inondazioni e garantire che lo sviluppo del territorio tenga in considerazione i rischi di inondazione; promuovere usi adeguati del territorio;
- misure di protezione (sia strutturali che non per ridurre probabilità inondazione);
- preparazione (lavorare sulla capacità di risposta del sistema in caso di alluvione);
- ripristino: agire dopo il verificarsi di un evento riportando il territorio alle condizioni sociali ed economiche pre evento.

Similmente a quanto proposto in KULTURisk e descritto nelle sezioni precedenti, il Piano propone di utilizzare metodi quali l'analisi costi benefici (CBA) o l'analisi costi efficacia (CEA) o l'analisi multicriterio (MCA) per individuare le priorità tra le diverse alternative/misure da adottare. Nell'attuale redazione del Piano, si è scelta l'analisi multicriterio (considerando il documento "*Pilotprojekt Hochwasserrisiko management plan Obere Traunundlschl*", Progetto pilota del Piano di gestione del rischio di alluvioni dell'alto Traunelschl elaborato per conto del Ministero dell'Ambiente dell'Austria) in quanto permette di avere dei buoni risultati anche senza conoscere i dati economici ed altri dati necessari per le prime due.

In questa prima proposizione del piano manca quindi una piena valutazione economica dei costi delle alluvioni e dei benefici della riduzione del rischio. La letteratura economica prevede l'analisi dei costi-benefici come soluzione principe per aggregare le performance di diverse opzioni considerate, tipicamente caratterizzate da *trade-off* rispetto a diversi elementi del problema, come ad esempio i diversi ricettori. In questo senso, l'approccio di SERRA si presenta come la soluzione metodologica preferibile per futuri sviluppi del piano, anche in considerazione della grossa importanza che hanno le argomentazioni economiche in supporto alle azioni politiche. L'integrazione di SERRA nel piano è favorita anche dalla gestione del piano con piattaforma GIS entro la quale possono essere implementati gli algoritmi di SERRA.

Da questa analisi scaturisce nel concreto la definizione e la scelta delle misure operative e delle varie iniziative intraprese dagli enti amministrativi del Veneto, Friuli-Venezia -Giulia e Trentino- Alto Adige.

L'obiettivo ultimo del piano è proprio di aiutare con queste analisi, a scegliere le misure in base alla comparazione del rischio dello stato di fatto e del rischio dello stato di progetto, per poter ottimizzare gli investimenti finanziando le misure più efficaci. Particolare attenzione dovrebbe essere posta nelle misure preventive non strutturali. Per i dettagli metodologici e la descrizione specifica di tali misure si rimanda al testo del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni nel Distretto idrografico delle Alpi Orientali.

## 7. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Le alluvioni provocano gravi danni, soprattutto in società e contesti particolarmente sviluppati come quello Veneto, determinando quindi la necessità di una valutazione efficace del rischio alluvionale. Tale valutazione è molto complessa e comprende i diversi aspetti sociali, economici, ambientali sia nell'immediato che nelle conseguenze più lontane nello spazio e nel tempo.

Tra i diversi approcci sviluppati dalla comunità scientifica internazionale, quelli basati su valutazioni integrate del rischio (basate non solo su base fisica ma anche economica) risultano i più adatti ad analizzare compiutamente la realtà e a proporre soluzioni condivisibili e affidabili. La comunità europea ha lavorato in questo senso individuando e sottolineando i diversi aspetti e la natura multidisciplinare della valutazione del rischio.

In questo quadro si inserisce il contributo del progetto KULTURisk che mira a riportare nell'analisi del rischio anche gli aspetti di tipo sociale e propone dei metodi per la monetizzazione dei danni da alluvione e la valutazione economica dei benefici derivanti da azioni di mitigazione e riduzione del rischio, sia preventive che conseguenti ad un evento alluvionale.

In sintesi, secondo l'approccio proposto denominato SERRA (dall'acronimo inglese *Socio Economic Regional Risk Assessment*), il rischio viene valutato in funzione di un **pericolo**, della **vulnerabilità** e dell'**esposizione** di persone, beni, attività, sistemi ambientali e beni culturali, tenendo però conto anche della capacità di adattamento e di superamento da parte del sistema di un evento avverso. In particolare, dalla predisposizione della matrice totale dei costi prevedibili (basata su vari livelli di tangibilità e diretto coinvolgimento) emerge la possibilità di una valutazione comparativa complessiva delle possibili azioni, valorizzando il contributo dei metodi di valutazione economica nell'ambito di approcci costi-benefici o costi-efficacia. In questo processo di valutazione ci sono alcune operazioni critiche che riguardano l'inevitabile componente di soggettività da gestire per mezzo di una comunicazione trasparente delle scelte. Inoltre, una delle difficoltà nell'applicazione del metodo resta il reperimento di dati significativi di partenza.

In prospettiva il sistema sviluppato, ed in particolare la valutazione economica, può essere utilizzato in molteplici situazioni di rischio non solo legate al rischio alluvionale anche per poter ottenere un'analisi del rischio multilivello, che tenga cioè conto di diversi tipi di rischio. E' necessario però integrare e rivedere gli indicatori proposti per le alluvioni con quelli consoni al singolo tipo di rischio e di effettuare un attento processo di Validazione del metodo.

Nel caso di SERRA, è stata proposta una validazione basata su un processo partecipativo che ha coinvolto dei validatori (soggetti interessati o utenti finali che avessero familiarità con simili casi di studio) e degli esperti di diversi tipi di rischi. Il processo di validazione ha evidenziato l'importanza del concetto di probabilità nella computazione del rischio in questo tipo di analisi socio-economica, insieme allo sviluppo di scenari personalizzati in base alla probabilità di occorrenza del pericolo e la necessità di fornire una classificazione più precisa delle classi di vulnerabilità e danni, come la distinzione tra edifici "allagato, ma ancora utilizzabile" o "allagato ma temporaneamente non utilizzabile".

In rapporto al rischio alluvionale, di particolare importanza risulta la possibilità di utilizzare la valutazione economica implementandola in strumenti di gestione del territorio quali i Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni dei diversi distretti idrografici italiani, andando così oltre i requisiti minimi normativi. Così come il lavoro è stato di beneficio all'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione, si auspica che possa esserlo per altri usi simili in ambito regionale o nazionale.

## 8. BIBLIOGRAFIA E LETTURE

1. Albala-Bertrand, J.M., 1993. *Political economy of large natural disasters with special reference to developing countries*. Oxford: Clarendon Press.
2. Alcamo, J., et al., 2003. *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Washington DC: Island press.
3. Balbi, S. and Giupponi, C., 2010. *Agent-based modelling of socio-ecosystems: a methodology for the analysis of adaptation to climate change*. International Journal of Agent Technologies and Systems, 2(4), 17-38.
4. Balbi, S., Villa, F., Mojtahed, V., Giupponi, C., 2014. *Estimating the Benefits of Early Warning Systems in Reducing Urban Flood Risk to People: A Spatially Explicit Bayesian Model*, in: 2014 Proceedings of the 7th Intl. Congress on Env. Modelling and Software, San Diego, CA, USA.
5. Balbi, S., Giupponi, C., Olschewski R.; Mojtahed, V., 2013. *The economics of hydro-meteorological disasters: approaching the estimation of the total costs*, Bilbao, Basque Center for Climate Change, vol. 2013-12, pp. 1-18
6. Bates, B.C., et al., 2008. *Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC Secretariat.
7. Bedate, A., Herrero, L. C., and Sanz, J. Á., 2004. *Economic valuation of the cultural heritage: application to four case studies in Spain*. Journal of cultural heritage, 5(1), 101-111.
8. Beinat, E., 1997. *Value Functions for Environmental Management*. Kluwer Academic Publishers.
9. Benson, C. and Clay, E., 2003. *Disasters, vulnerability, and global economy*. In: A. Kreimer, M. Arnold and A. Carlin, eds. *Building safer cities: the future of disaster risk*. Washington DC: World Bank, 3-32.
10. Belton, V. and Stewart, T., 2002. *Multiple Criteria Decision Analysis, An Integrated Approach*. Springer, 2002
11. Brouwer, R., 2006. *Practical working definition environmental and resource costs and benefits* [online]. AquaMoney Project, Deliverable D12. Amsterdam: IVM, Free University. Scaricabile da: <http://www.ivm.vu.nl/en/projects/Projects/economics/aquamoney/project-deliverables/index.asp>. [Estratto il 14 gennaio 2013].
12. Cardona, O.D., Ordaz Schroder, M.G., Reinoso, E., Yamin, L., Barbat Barbat, H.A., 2010. *Comprehensive approach for probabilistic risk assessment (CAPRA): international initiative for disaster risk management effectiveness*.
13. Cavallo, E. and Noy, I., 2010. *The economics of natural disasters: a survey*. IDB Working Paper Series, 124, 1-49.
14. Clark, A. E., and Oswald, A. J., 2002. *A simple statistical method for measuring how life events affect happiness*. International Journal of Epidemiology, 31(6), 1139-1144.
15. Clark, W.A., Huang, Y., Withers, S., 2003. *Does commuting distance matter?: Commuting tolerance and residential change*. Regional Science and Urban Economics 33(2) 199-221.
16. Clawson, M., and Knetsch, J. L., 1966. *Economics of outdoor recreation*.
17. CRED, 2007. *Annual disaster statistical review: numbers and trends 2006*. Brussels: CRED.
18. CRED, 2008. *Annual disaster statistical review: the numbers and trends 2007*. Brussels: CRED.
19. CRED, 2010. *Annual disaster statistical review 2009: the numbers and trends*. Brussels: CRED.
20. Crichton, D., 1999. *Natural Disaster Management: A Presentation to Commemorate the International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR)*.
21. Crichton, D., 1999. *The risk triangle*. In *Natural disaster management* (ed. J. Ingleton), pp. 102-103. London, UK: Tudor Rose.

22. Cutter, S.L., 1996. *Vulnerability to environmental hazards*. *Progress in human geography* 20 529-539.
23. Cutter, S.L., Boruff, B.J., Shirley, W.L., 2003. *Social vulnerability to environmental hazards\**. *Social science quarterly* 84(2) 242-261.
24. Cutter, S.L., Emrich, C.T., Morath, D.P., Dunning, C.M., 2013. *Integrating social vulnerability into federal flood risk management planning*. *J. Flood Risk Manag.* 6, 332-344. doi:10.1111/jfr3.12018
25. DeLuca, C., Mojtahed, V., Gain, A., Balbi, S., Ferri, M., Giupponi, C., 2014. *Socio-Economic Regional Risk Assessment (SERRA) application to flood risk in the Vipacco Basin (north-east Italy)*, 7th Congress on Environmental Modelling and Software.
26. *Decreto legislativo 49/2010, Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni.* (10G0071)
27. Doucouliagos, H., Stanley, T.D. and Giles, M., 2011. *Are estimates of the value of a statistical life exaggerated?*. *Deakin University Economics Series*, 2, 1-28.
28. Downton, M.W. and Pielke, R.A.Jr., 2005. *How accurate are disaster loss data? The case of U.S. flood damage*. *Natural Hazards*, 35, 211-228.
29. D.P.C.M. 29/09/1998 Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2 del D.L. 11 giugno 1998, n. 180
30. EC, 2007. *Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks*.
31. EEA, 2010. *Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe, an overview of the last decade*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
32. EFAS, 2010. *European Flood Alert System* [online]. EFAS-IS Portal. Scaricabile da: <http://efas-is.jrc.ec.europa.eu/>. [Estratto il 30 Gennaio 2013].
33. Eftec, 2010. *Scoping study on the economic (or non-market) valuation issues and the implementation of the water framework directive*. London: Economics for the Environment Consultancy Ltd.
34. EPA, 2008. *Guidelines for preparing economic analyses*. Washington DC: US Environmental Protection Agency.
35. Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Dahe, Q., 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
36. FLOODsite, 2009. *Flood risk assessment and flood risk management. An introduction and guidance based on experiences and findings of FLOODsite (an EU-funded integrated project)*[online]. FLOODsite Project, Report T29-09-01 Ed. 2. Scaricabile da: <http://www.floodsite.net/html/publications2.asp?documentType=1>. [Estratto il 31 Gennaio 2013].
37. Freeman, A.M. III, 1979. *The benefits of environmental improvement: theory and practice*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
38. Gain, Animesh K.; Mojtahed, Vahid; Biscaro, Claudio; Balbi, Stefano; Giupponi, Carlo (2015), *An integrated approach of flood risk assessment in the eastern part of Dhaka City in NATURAL HAZARDS*, vol. 79, pp. 1499-1530 (ISSN 0921-030X)
39. Giovannini, E., Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, A., Hoffman, A., 2008. *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD).

40. Giupponi, C., Gain, A., Mojtahed, V., Balbi, S., 2013a. *The socio-economic dimension of flood risk assessment: insights of KULTURisk framework*, in: EGU General Assembly Conference Abstracts. p. 2456.
41. Giupponi, C., Mojtahed, V., Gain, A.K., Balbi, S., 2013b. *Integrated Assessment of Natural Hazards and Climate Change Adaptation: I. The KULTURisk Methodological Framework*.
42. Giupponi, C., Mojtahed, V., Gain, A.K., Balbi, S., Biscaro, C., 2014a. *An Integrated Approach for Including Social Capacities, and Economic Valuation in Risk Assessment of Water Related Hazards in Uncertain Scenarios*, in: 2014 Proceedings of the 7th Intl. Congress on Env. Modelling and Software, San Diego, CA, USA.
43. Green, C., Viavattene, C., and Thompson, P., 2011. *Guidance for assessing flood losses* [online]. Middlesex University. ConHaz Project, Deliverable 6.1. Scaricabile da: <http://conhaz.org/project/cost-assessment-work-packages/wp1-8-final-reports> . [Estratto il 31 Gennaio 2013].
44. Greenberg, M.R., Lahr, M. and Mantell, N., 2007. *Understanding the economic costs and benefits of catastrophes and their aftermath: a review and suggestions for the U.S. federal government*. Risk Analysis, 27(1), 83-96.
45. Iacob, M., Alexandru, F., Kagitci, M., Cretan, G.C., and Iorgulescu, F., 2012. *Cultural heritage evaluation: a reappraisal of some critical concepts involved*. Theoretical and Applied Economics, 12(12), 61.
46. IPCC, 2011: *Summary for Policymakers*. In: Field, C. B., et al., eds. Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
47. IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C. B., et al., eds. Cambridge University Press, 2012.
48. Jonkman S.N. and Vrijling J.K., 2008. *Loss of life due to floods*. Journal of Flood Risk Management, 1(1), 43-56.
49. Kahneman, D., and Knetsch, J.L., 1992. *Valuing public goods: the purchase of moral satisfaction*. Journal of environmental economics and management, 22(1), 57-70.
50. Kaplan, S., 1991. *The general theory of quantitative risk assessment*, in: Risk-Based Decision Making in Water Resources V. ASCE, pp. 11–39.
51. Klein, R.J., 2004. *Vulnerability Indices—An Academic Perspective*, Proc. of the Expert Meeting “Developing a Method for Addressing Vulnerability to Climate Change and Climate Change Impact Management: To Index or Not To Index.
52. Landis, W.G., 2004. *Regional scale ecological risk assessment: using the relative risk model*. CRC Press.
53. Legge L 183/89, *Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*.
54. Leschine, T.M., Wellman, K., and Green, T.H., 1997. *The economic value of wetlands – wetlands’ role in flood protection in western Washington* [online]. Washington State Department of Ecology. Scaricabile da: <http://www.ecy.wa.gov/pubs/97100.pdf>. [Estratto il 31 Gennaio 2013].
55. Logar, I., van den Bergh, J.C.J.M., 2012. *Methods to Assess Costs of Drought Damages and Policies for Drought Mitigation and Adaptation: Review and Recommendations*. Water Resources Management, 1-14.
56. Mc Fadden, D.L., et al., 2005. *Statistical analysis of choice experiments and surveys*. Marketing Letters, 16, 183-196.

57. McSweeney K. and Coomes O, 2011. *Climate-related disaster opens a window of opportunity for rural poor in northeastern Honduras*. PNAS, 108(13), 5203-5208
58. Melching, C.S., Pilon, P.J., 2006. *Comprehensive risk assessment for natural hazards*. World Meteorological Organization.
59. Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., Thieken, A., 2010. *Assessment of economic flood damage*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10: 1697-1724.
60. Messner, F., et al., 2007. *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods* [online]. FLOODsite Project, Report T09-06-01. Scaricabile da: <http://www.floodsite.net/html/publications2.asp?documentType=1>. [Estratto il 31 Gennaio 2013].
61. Mukolwe, M., Di Baldassarre, G., Bogaard, T., 2014. *KULTURisk Methodology Application: Ubaye Valley (Barcelonnette, France)*. Hydro-Meteorological Hazards, Risks, and Disasters 201.
62. Mysiak, J., and Markandya, A., 2009. *Economic Costs of Droughts* [online]. Xerochore Project, WP2 Brief. Scaricabile da: [http://www.feem.it/userfiles/attach/2009111010573362009.07.23\\_mysiak%20jaroslav\\_paper.pdf](http://www.feem.it/userfiles/attach/2009111010573362009.07.23_mysiak%20jaroslav_paper.pdf). [Estratto il 31 Gennaio 2013].
63. Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., Giovannini, E., 2005. *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide (No. 2005/3)*. OECD publishing.
64. NRC, 1999. *The impacts of natural disasters: a framework for loss estimation*. Washington DC: National Academy Press
65. NRC, 2000. *Risk analysis and uncertainty in flood damage reduction studies*. Washington DC: National Academy Press.
66. Okuyama Y., and Sahin S., 2009. *Impact estimation of disasters: a global aggregate for 1960 to 2007*. World Bank Policy Research Working Papers, 4963, 1-42.
67. Olschewski, R., et al., 2012. *Avalanche protection by forests - A choice experiment in the Swiss Alps*. Journal of Forest Policy and Economics, in press, doi:10.1016/j.forpol.2011.10.002.
68. Olsen, A. and Porter K., 2011. *What We Know about Demand Surge: Brief Summary*. Natural Hazards Review, 12, 62.
69. Parry, M.L., 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
70. Penning-Rowsell, E. and Wilson, T., 2006. *Gauging the impact of natural hazards: the pattern and cost of emergency response during flood events*. Transactions of the Institute of British Geographers, 31, 99-115.
71. *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto idrografico delle Alpi Orientali*, [http://www.alpiorientali.it/dati/direttive/alluvioni/fd\\_20160309/PGRA\\_Relazione%20di%20Piano\\_Allegati\\_I\\_II\\_III\\_V.pdf](http://www.alpiorientali.it/dati/direttive/alluvioni/fd_20160309/PGRA_Relazione%20di%20Piano_Allegati_I_II_III_V.pdf)
72. Quinn, N., Bates, P.D., Siddall, M., 2013. *The contribution to future flood risk in the Severn Estuary from extreme sea level rise due to ice sheet mass loss*. J. Geophys. Res. Ocean. 118, 5887–5898.
73. Rodriguez-Oreggia, E., et al., 2010. *The Impact of Natural Disasters on Human Development and Poverty at the Municipal Level in Mexico*. Center for International Development at Harvard University Working Papers, 43.
74. Ronco, P., Bullo, M., Torresan, S., Critto, A., Olschewski, R., Zappa, M., Marcomini, A., 2014a. *The KULTURisk Regional Risk Assessment methodology for water-related natural hazards–Part 2: Application to the Zurich case study*. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. 11, 7875–7933.
75. Ronco, P., Gallina, V., Torresan, S., Zabeo, A., Semenzin, E., Critto, A., Marcomini, A., 2014b. *The KULTURisk Regional Risk Assessment methodology for water-related natural hazards–Part 1: Physical–environmental assessment*. Hydrol. Earth Syst. Sci. 18, 5399–5414.

76. Rose, A., 2004. *Economic principles, issues and research priorities of natural hazard loss estimation*. In: Y. Okuyama and S. Chang, eds. *Modeling of spatial economic impacts of natural hazards*. Berlin: Springer, 13-36.
77. Sahin, S., 2011. *Estimation of disasters' economic impact in 1990-2007: global perspectives*. Washington DC: World Bank.
78. Scricciu, S. S., 2007. *The inherent dangers of using computable general equilibrium models as a single integrated modelling framework for sustainability impact assessment. A critical note on Böhringer and Löschel (2006)*. *Ecological Economics*, 60(4), 678-684.
79. Throsby, D. 2007. *Regional aspects of heritage economics: analytical and policy issues*. *Australasian Journal of Regional Studies*, 13(1), 21.
80. Throsby, D., 2003. *Determining the value of cultural goods: How much (or how little) does contingent valuation tell us?* *Journal of Cultural Economics*, 27(3), 275-285.
81. Trenberth, K.E., et al., 2007. *Observations: surface and atmospheric climate change*. In: S. Solomon, et al., eds. *The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press, 235-336.
82. Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J.X., Luers, A., Martello, M.L., 2003. *A framework for vulnerability analysis in sustainability science*. *Proceedings of the national academy of sciences* 100(14) 8074-8079.
83. UN, 2008. *World economic and social survey 2008: overcoming economic insecurity*. New York: UN.
84. UNISDR, 2004. *Disaster risk reduction tools and methods for climate change adaptation*. Geneva: UNISDR.
85. UNISDR, 2005. *Hyogo framework for action 2005–2015: Building the resilience of nations and communities to disasters*, World Conference on Disaster Reduction, January, pp. 18-22.
86. UNISDR, 2009. *Global assessment report on disaster risk reduction - risk and poverty in a changing climate: invest today for a safer tomorrow*. Geneva: UNISDR.
87. Van der Veen, A. and Logtmeijer, C., 2005. *Economic hotspots: visualizing vulnerability to flooding*. *Natural Hazards*, 36, 65–80.
88. Wind, H.G., et al., 1999. *Analysis of flood damages from the 1993 and 1995 Meuse floods*. *Water Resources Research*, 35(11), 3459-3465.
89. World Bank Independent Evaluation Group (WB-IEG), 2006. *Hazards of nature, risks to development. An IEG evaluation of World Bank assistance for natural disasters*. Washington DC: World Bank.

## 9. RIFERIMENTI

Ulteriori informazioni sul tema trattato in questo Quaderno possono essere reperite in rete o richieste al gruppo di lavoro, ai link seguenti:

Sito del progetto europeo KULTURisk: <http://www.kulturisk.eu/>

Sito del centro di ricerca VICCS: [http://www.unive.it/nqcontent.cfm?a\\_id=172748](http://www.unive.it/nqcontent.cfm?a_id=172748)

Sito del dipartimento di Economia e Management dell'Università Ca' Foscari di Venezia: [http://www.unive.it/nqcontent.cfm?a\\_id=133846](http://www.unive.it/nqcontent.cfm?a_id=133846)

Pagina del prof. Giupponi all'interno del sito web di ateneo di Ca' Foscari: <http://www.unive.it/data/persone/5592720>

Sito dell'Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione: <http://www.adbve.it/>

## 10. ALLEGATO “APPLICAZIONE DI SERRA AL CASO STUDIO DI DACCA, CAPITALE DEL BANGLADESH

L’approccio SERRA precedentemente descritto è stato utilizzato a scopo dimostrativo per la valutazione del rischio alluvionale della parte orientale della città di Dacca, capitale del Bangladesh (Gain et al. 2015). Si tratta di un’applicazione che mostra si possa applicare l’approccio teorico proposto in una situazione reale, realizzata con dati disponibili e contatti con esperti locali, che non ha alcuna pretesa di fornire dei valori da utilizzarsi per decisioni o politiche a livello locale.

La combinazione delle piogge monsoniche stagionali e di flussi ascensionali trans frontaliere (Gain et al, 2011.; Gain et al., 2013) rendono la regione particolarmente vulnerabile a gravi inondazioni. La mappa della città di Dacca è riportata in Figura A1 dove si può osservare la parte di città investigata (124 km<sup>2</sup>) e che la parte orientale di Dacca è circondata da una rete di fiumi e, al contrario della parte occidentale, non è protetta da misure strutturali (Gain e Hoque, 2013).

Per prima cosa viene valutato il pericolo di inondazione nell’area considerando gli intervalli di tempo tra una manifestazione di evento alluvionale e la seguente con mappe di inondazione utilizzando il modello idrologico liberamente disponibile HEC-RAS, usato per predire le fasi di alluvione e di mappare inondazioni estrapolando anche previsioni (Gain e Hoque 2013).

Le mappe della pericolosità alluvionale del sistema fluviale del Balu-Tongi Khal (vedi Figura 1) nella parte orientale di Dacca sono state preparate utilizzando gli strumenti di *geo-processing* (ad esempio, il software GIS e HEC-GeoRAS) e il modello idrologico.

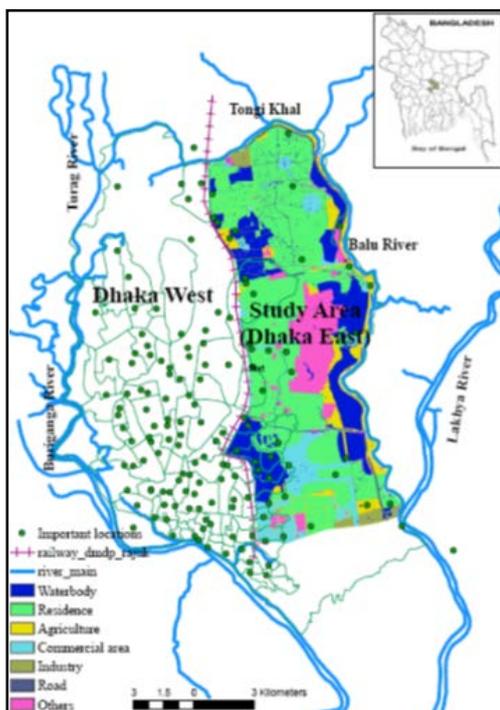


Figura A1: Dacca: mappa delle aree studiate a dimostrazione di SERRA nella parte est della città non protetta da misure strutturali contro le inondazioni.

### a. Dimensione sociale del rischio: Vulnerabilità, capacità di adattamento, capacità di recupero

La vulnerabilità viene considerata comprendendo la predisposizione delle strutture e delle infrastrutture artificiali a risentire negativamente da eventi di pericolo, e la dimensione umana della vulnerabilità consistente nella capacità di adattamento e nella capacità di recupero. Nel caso di rischi legati all’acqua vengono selezionati gli indicatori proposti nella tabella A1, considerando la disponibilità di dati e l’estensione spaziale micro-livello. Per normalizzare gli indicatori selezionati è stato scelto un approccio generalizzato di funzione valore, vale a dire una rappresentazione

matematica dei giudizi umani secondo una scala da 0 a 1 (0=caso peggiore; 1=caso ottimale) (Tabella A2).

I diversi indicatori normalizzati sono stati aggregati secondo l'aggregazione gerarchica generica del KULTURisk da cui discende quella utilizzata per il caso Dacca in figura A2 con il metodo delle medie ponderate (Giupponi et al, 2013a; Giupponi et al, 2013b).

Un indice di vulnerabilità **VI** può quindi essere calcolato in funzione degli indicatori normalizzati **x<sub>1</sub>**, **x<sub>2</sub>**, **x<sub>3</sub>** aggregati come nell'equazione che segue:

$$VI(x_1, x_2, x_3) = W_1 \cdot x_1 + W_2 \cdot x_2 + W_3 \cdot x_3$$

I pesi **w<sub>1</sub>**, **w<sub>2</sub>**, e **w<sub>3</sub>** rappresentano i pesi relativi di **x<sub>1</sub>**, **x<sub>2</sub>**, **x<sub>3</sub>**.

**Tabella A1: Indicatori per le capacità di adattamento, gestione della crisi e suscettibilità**

Componenti	Variabili	Scenario attuale	Scenario con misure migliorative
Capacità d'adattamento (AC)	Sistemi di allerta precoce	Tempo morto prima dell'allerta	Sistemi di allerta precoci, informazioni dettagliate e affidabili con conseguente diminuzione della vulnerabilità
		Informazioni fornite nei meccanismi d'allerta	
		Affidabilità	
Capacità di gestione crisi	Diffusione del rischio	Presenza o assenza di assicurazioni contro le alluvioni	AC alta se la popolazione è assicurata
	Introiti	Introiti/ salari dipendenti dall'agricoltura (% della popolazione)	Numeri bassi aumentano AC, perché introiti da agricoltura sono più vulnerabili alle alluvioni.
Suscettibilità	Educazione	Rapporto di alfabetizzazione, LR (%)	La capacità aumenta con alfabetizzazione diffusa
	Demografia	Grado di dipendenza, DR (%)	Capacità diminuisce con dipendenza alta
Suscettibilità	Edifici	Età (% di edifici con più di 30 anni)	Valori alti sono molto suscettibili alle alluvioni
		Tipi (% edifici con struttura di bassa qualità)	
		Materiali (% di edifici in terra o legno)	

**Tabella A2: valori normalizzati per scenari base e migliorativi della capacità di adattamento (0 = caso peggiore, 1 = caso ottimale).**

Componenti	Variabili	Indicatori	Scenario base (normalizzato)	Scenario con misure migliorative (normalizzato)
Capacità d'adattamento (AC)	Sistemi di allerta precoce	Tempo di allerta	0,75	1
		Informazioni fornite nell'allerta	0,25	0,75
		Affidabilità	0,25	0,75
	Diffusione del rischio	Presenza di assicurazioni	0	1

Nel metodo SERRA ad un scenario di base viene confrontato con uno o più migliorato quelle derivanti dalla applicazione delle misure alternative plausibili. Nelle condizioni di base per città di Dacca, vengono considerati l'attuale schema del sistema di allerta e lo schema di copertura assicurativa dell'area di studio. Il sistema di allerta corrente può essere descritto come agente solo 24-48 ore prima con scarsa affidabilità e poche informazioni. Inoltre, attualmente un regime di assicurazione finanziaria contro le inondazione non esiste. Figura A3 mostra la distribuzione della vulnerabilità per la condizione di base del sistema di allerta e di assicurazione. Nello scenario alternativo di Figura A3, si simula un sistema di allerta migliorato con un nuovo sistema di assicurazione di alluvione, i valori sono invece tabulati in tabella A3. In condizioni originarie, la gamma vulnerabilità è 0,28-0,70, mentre nello scenario migliorato la vulnerabilità è riportata a valori 0,12-0,54. Questi valori, come riportato nelle rispettive mappe, verranno moltiplicati per i valori monetari presentati nella sezione seguente.

Figura A2: Combinazione gerarchica degli indicatori e loro pesi relativi

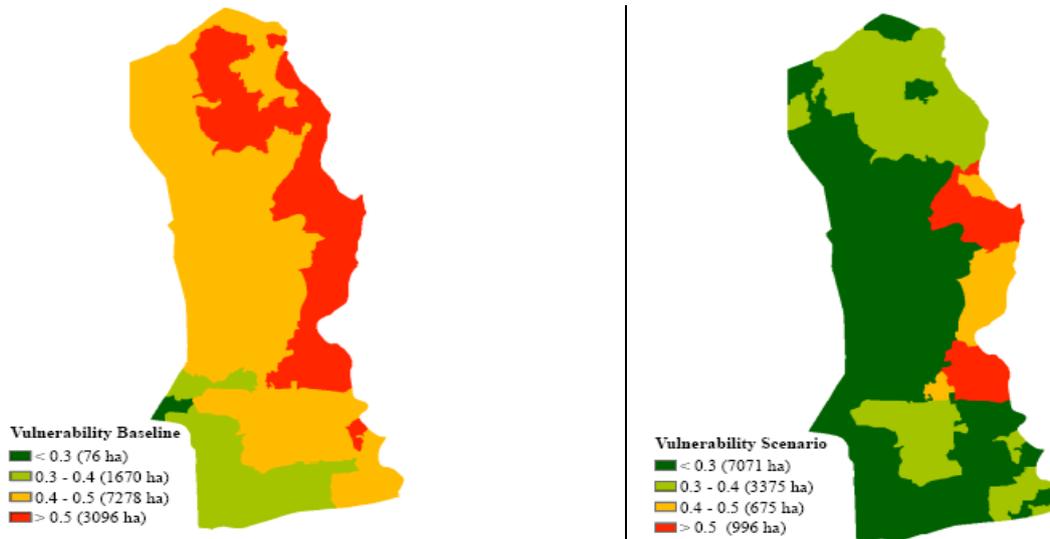
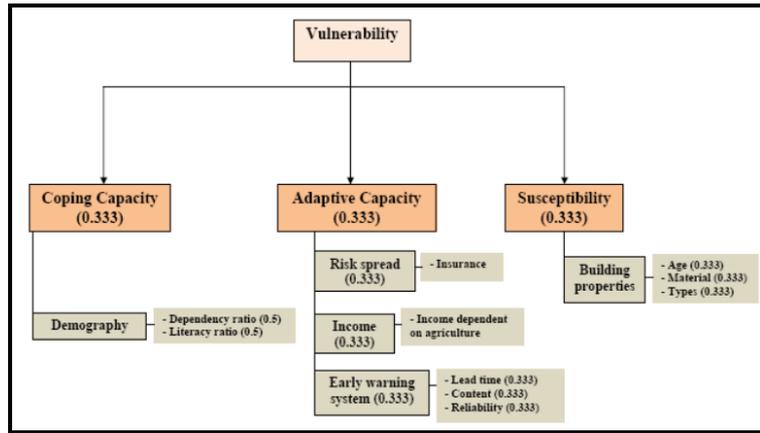


Figura A3: Risultati dell'aggregazione della vulnerabilità per lo scenario attuale (sinistra) e con le misure migliorative di allerta precoce e assicurazione contro le alluvioni (destra).

**b. Costi diretti**

Per la valutazione economica del rischio, consideriamo in primo luogo i danni a persone, cioè perdita di vite umane e lesioni come costi diretti e immateriali. In relazione al documento di orientamento proposto da DEFRA & EA (2006).

- Si può definire la severità dell'alluvione (*flood severeness*) come direttamente proporzionale alla profondità raggiunta dall'acqua ( $d_i$ ), alla velocità di inondazione ( $v_i$ ) ed ai detriti ( $DF_i$  fattore detriti 1 = urbano o 0,5 = non urbano) tutti presi in considerazione per una cella unitaria di territorio  $i$ :

$$FS_i = \frac{(d_i \times (v_i + 0.5) + DF_i)}{10}$$

- Si identifica poi il numero di persone esposte al rischio, come risultante del numero di persone della popolazione ( $N_i$ ) per la severità ( $FS_i$ ) e per l'indice di vulnerabilità descritto nel precedente paragrafo ( $VI_i$ ):

$$n.p.r._i = N_i \times FS_i \times VI_i$$

- Il numero di infortuni viene calcolato in modo analogo considerando le persone a rischio ed un fattore  $\alpha$  calibrato mediante dati storici

$$n.inj.j = [n.p.r_j \times \alpha \times VI_j]$$

- Il numero di vite a rischio è invece calcolato come

$$n.dth.j = \frac{n.inj.j \times \beta \times FS_j}{10}$$

per questa valutazione, è stato assunto  $\alpha = 1$  e  $\beta = 1,5$ .

- Il costo degli infortuni si calcola considerando il possibile numero di infortuni e valutando i benefici che avrebbe portato una prevenzione di essi (Rice 1967, Landefeld, 1982, Atkinson, 2006).

Il miglioramento della capacità adattativa ed un sistema di allarme precoce si stima permetterebbe di ridurre il numero di persone esposte, ferite e morte del 33%, 55% e 56% (Tabella A4). Il numero delle persone salvate viene quindi interpretato come il beneficio delle misure di mitigazione del rischio. Tuttavia, in questo studio non viene considerato il costo di attuazione di queste misure per indisponibilità dei dati.

Un altro punto chiave è la durata dell'alluvione, che ci permette di stimare il costo di sistemazione delle famiglie e la loro perdita di reddito. Si calcola il numero di persone evacuate che hanno bisogno di essere alloggiati in un altro luogo dopo l'evento, e in base al numero di persone esposte come calcolato prima e dimensione della famiglia media in Bangladesh, che è 4,3 persone (BBS, 2001), si stima il numero di famiglie esposte. Considerando una media di 6 settimane, il costo di sistemazione stimato sulla base di famiglie esposte moltiplicato per l'affitto medio mensile e il reddito perso si ottengono i risultati esposti in tabella A5. Investendo in misure di mitigazione del rischio, il costo dovuto per l'affitto e la perdita di reddito è ridotto del 33%, che è un beneficio lordo di 110,7 milioni BDT per le persone.

Dopo aver calcolato il danno alle persone, si passa al calcolo dei rischi e dei costi diretti relativi alle attività economiche. Per il calcolo del danno monetario a diverse categorie di utilizzo del territorio (es. residenziale, commerciale, industriale, agricolo, trasporti, ecc.) sono state scelte funzioni profondità-danno (*depth-damage*) considerando profondità dell'acqua e durata (Dutta et al, 2003; Mojtahed et al., 2013). Si definisce in questo modo la suscettibilità del capitale integrando la dimensione sociale della vulnerabilità. Il danno totale previsto in ciascuna cella dei terreni allagati è quindi:

$$D_{ki} = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_s P_j [Suc_{sk} \cdot Asm_{ski} Vul_{si}]$$

dove  $P_j$  è la probabilità di inondazione con tempo di ritorno  $J$ ,  $Suc_{sk}$  è la suscettibilità di tipo  $k$  del recettore  $s$ ,  $Asm_{ski}$  è la media dell'area di tipo  $k$  di recettore  $s$  nella griglia  $i$ , e  $Vul_{si}$  è la vulnerabilità del recettore  $s$  nell'area  $i$ .

Tabella A4: Sintesi dei risultati di rischio alla popolazione ottenuti per un tempo di ritorno di 100 anni

Tipi	Vulnerabilità con scenario base	Vulnerabilità con scenario con misure migliorative
Nr di persone esposte	18.740	12.394
Nr di potenziali feriti	8.686	3.805
Nr di potenziali morti	500	217

Tabella A5: Costi alle persone: perdita di introiti ed affitti

Categoria di costo	Vulnerabilità scenario base	Vulnerabilità scenario migliorato	% riduzione
Nr famiglie esposte	4.358	2.882	33 %
Costo affitti temporanei	130.740.000 ₳*	86.460.000 ₳	33%
Costo introiti persi	196.110.000 ₳	129.690.000 ₳	33%
Costo totale	326.850.000 ₳	216.150.000 ₳	33%

\* = La moneta ufficiale del Bangladesh è il Taka = ₳

I danni attesi per le diverse categorie di uso del suolo per Dacca considerando un tempo di ritorno di 100 anni sono mostrati spazialmente in Figura A4. Il rischio atteso in prossimità del fiume, del suo corpo idrico e in regioni con attività produttive è superiore a causa di maggiore probabilità di inondazioni ed elevato valore economico. I costi complessivi di danni a categorie di uso del suolo in base e scenari alternativi sono, secondo questo primo studio effettuato a scopo dimostrativo, 1,33 miliardi di BDT e 900 milioni di BDT, rispettivamente. Pertanto, il beneficio lordo di investire in capacità di adattamento è una riduzione del 32% di danni ad un recettore di attività economiche, quali edifici residenziali e commerciali.

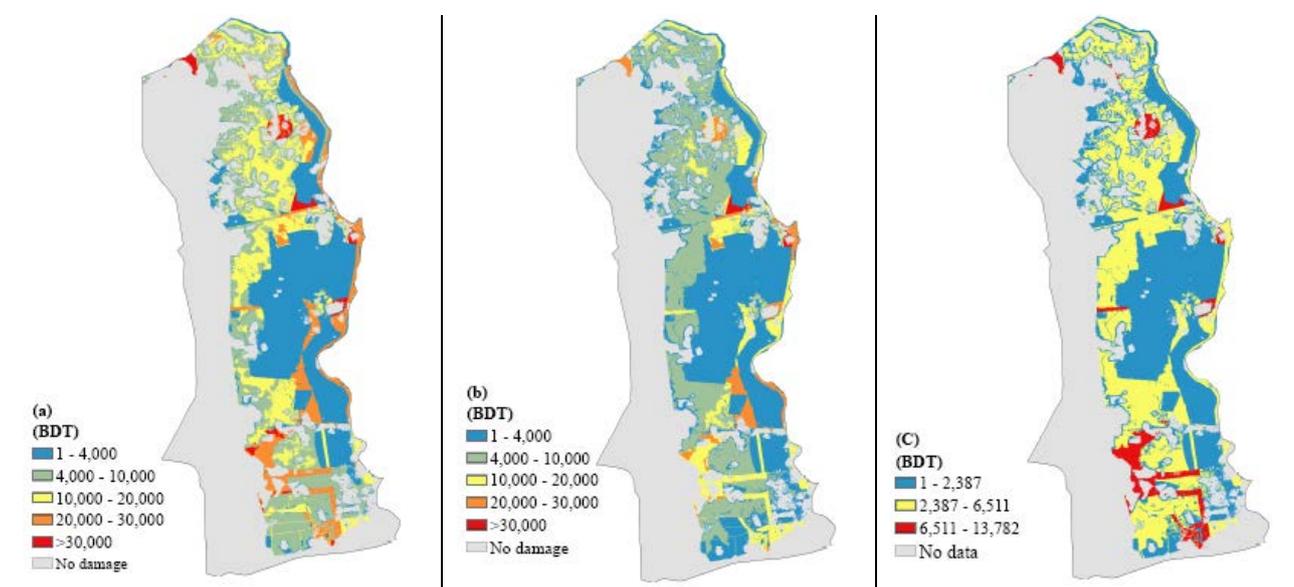


Figura A4: rischio per diverse categorie di usi del territorio nello scenario attuale (a), migliorato (b) e beneficio della riduzione del rischio su un tempo di ritorno di 100 anni (c)

### c. Costi indiretti

Costi indiretti sono ad esempio i costi legati al fatto che parte della forza lavoro non riesce a raggiungere il posto di lavoro a causa di un evento alluvionale. Possiamo dedurre le variazioni dei flussi di pendolarismo e la perdita quotidiana delle fabbriche utilizzando dati demografici e conoscenze circa la produzione delle industrie, la loro posizione e il numero dei loro dipendenti. Nel caso di Dacca, selezioniamo l'industria del tessile per il calcolo degli effetti indiretti, perché è il più importante settore economico in Bangladesh (Islam et al, 2013; Keane e Te Velde, 2008). In questo

studio ci concentriamo sulla superficie di Motijheel (qui di seguito M) e un'altra area chiusa da più a nord (di seguito N), che si trova nel sud-ovest della città di Dacca ed è protetta dalle inondazioni da un terrapieno. Le attività economiche consistono in un *cluster* di 225 fabbriche di abbigliamento (Hoque et al., 2006) ed impiegano più di 94.000 lavoratori. I lavoratori si recano a piedi al lavoro sia dalla parte protetta della città che dalla parte non protetta a est, come dimostra uno studio preliminare sul modello di viaggio dei lavoratori (Hoque et al., 2006). In assenza di dati dettagliati sui flussi di traffico della popolazione urbana a Dacca, abbiamo stimato la mobilità delle persone utilizzando due diversi modelli che incorporano la preferenza per gli individui di accorciare le distanze pendolari (Clark et al., 2003): un modello di gravità e un modello di radiazione (Simoni et al., 2012). La forza di attrazione è proporzionale alla dimensione delle imprese, cioè, il numero di addetti, e decade fortemente con la distanza (Tabella A6).

La forza di attrazione viene calcolata come

$$aa_i = \frac{size_i}{f(r)}$$

dove  $r$  è la distanza da un gruppo di aziende, e  $size_i$  è il numero di dipendenti all'interno del *cluster*. Grazie alla vicinanza alla zona non-protetta di provenienza dei lavoratori, l'attrazione per il cluster M rispetto al cluster N è tra 7,5 e 8,5 volte superiore. Per capire la quantità di forza lavoro che vive in K e si sposta ad ovest verso i gruppi di M e N, dobbiamo supporre che la percentuale di lavoratori del settore TC che vivono nella parte orientale di Dacca non differisce da quella di tutta la città, cioè, 8,9% della popolazione. In questo caso quasi 25670 lavoratori del settore TC vivono in K: circa 22800 pendolari al quartiere M, mentre il resto va a N. Una riduzione della forza lavoro influenzerà negativamente le imprese: nel gruppo M, una riduzione di circa 22800 lavoratori diminuirà la forza lavoro totale del 24,2%, mentre in N la riduzione è del 8,4%. Nello scenario alternativo, un più efficiente sistema di allerta precoce consentirebbe alla popolazione di ottenere una sistemazione diversa nella parte occidentale protetta da parte della famiglia, amici o in strutture temporanee. Queste azioni sarebbero certamente ridurre il numero di persone che non possono raggiungere il posto di lavoro, e quindi ridurre l'effetto negativo del diluvio sull'attività economica dell'industria TC.

Tabella A6: sintesi dei dati

	Ovest	Est	
Densità di popolazione (persone /Km <sup>2</sup> )	25.144	9.861	
	cluster M	cluster N	
Lavoratori	94.350	34.498	
Numero di aziende	225	75	
	superficie (km <sup>2</sup> )	Distanza da M (km)	Distanza da N (km)
nord Khilket e Kamalapur (K)	0.6	1.9	3.3
K centro	14.3	4.2	7.2
K sud	14.3	4.4	7.4

## Riferimenti bibliografici dell'allegato

1. Atkinson, G., Mourato, S., 2006. *Cost-benefit analysis and the environment: recent developments*.
2. Clark, W.A., Huang, Y., Withers, S., 2003. *Does commuting distance matter?: Commuting tolerance and residential change*. *Regional Science and Urban Economics* 33(2) 199-221.
3. DEFRA, Environment\_Agency, 2006. *Flood and Coastal Defence R&D Program: Flood Risk to People, Phase 2, FD2321/TR2 Guidance Document*.
4. Del Ninno, C., 2001. *The 1998 Floods in Bangladesh: Disasters Impacts, Household Coping Strategies and Response*. Intl Food Policy Res Inst.
5. Dutta, D., Herath, S., Musiakke, K., 2003. *A mathematical model for flood loss estimation*. *Journal of hydrology* 277(1) 24-49.
6. Gain, Animesh K.; Mojtahed, Vahid; Biscaro, Claudio; Balbi, Stefano; Giupponi, Carlo (2015), *An integrated approach of flood risk assessment in the eastern part of Dhaka City in NATURAL HAZARDS*, vol. 79, pp. 1499-1530 (ISSN 0921-030X)
7. Gain, A., Hoque, M., 2013. *Flood risk assessment and its application in the eastern part of Dhaka City, Bangladesh*. *Journal of Flood Risk Management* 6(3) 219-228.
8. Gain, A., Immerzeel, W., Sperna Weiland, F., Bierkens, M., 2011. *Impact of climate change on the stream flow of lower Brahmaputra: trends in high and low flows based on discharge-weighted ensemble modelling*. *Hydrology and Earth System Sciences* 15(5) 1537-1545.
9. Giupponi, C., Gain, A., Mojtahed, V., Balbi, S., 2013a. *The socio-economic dimension of flood risk assessment: insights of KULTURisk framework*, in: EGU General Assembly Conference Abstracts. p. 2456.
10. Giupponi, C., Giove, S., Giannini, V., 2013b. *A dynamic assessment tool for exploring and communicating vulnerability to floods and climate change*. *Environmental Modelling & Software* 44 136-147.
11. Giupponi, C., Mojtahed, V., Gain, A.K., Balbi, S., 2013c. *Integrated Assessment of Natural Hazards and Climate Change Adaptation: I. The KULTURisk Methodological Framework*.
12. Hoque, M.S., Debnath, A.K., Mahmud, S., 2006. *Impact of garment industries on Road safety in metropolitan Dhaka*, Proceedings of International Conference on Traffic Safety in Developing Countries.
13. IPCC, 2011: *Summary for Policymakers*. In: Field, C. B., et al., eds. Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
14. IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C. B., et al., eds. Cambridge University Press, 2012.
15. Islam, M.M., Khan, A.M., Islam, M.M., 2013. *Textile Industries in Bangladesh and Challenges of Growth*. *Research Journal of Engineering Sciences* 2(2) 31-37.
16. Keane, J., Te Velde, D.W., 2008. *The role of textile and clothing industries in growth and development strategies*. Mimeo. London: Overseas Development Institute Investment and Growth Programme.
17. Landefeld, J.S., Seskin, E.P., 1982. *The economic value of life: linking theory to practice*. *American Journal of Public Health* 72(6) 555-566.
18. Mojtahed, V., Giupponi, C., Biscaro, C., Gain, A.K., Balbi, S., 2013. *Integrated Assessment of Natural Hazards and Climate-Change Adaptation: II. The SERRA Methodology*.

19. Rice, D.P., Cooper, B.S., 1967. *The economic value of human life*. American Journal Of Public Health And The Nations Health 57(11) 1954-1966.
20. Rice, D.P., Hodgson, T.A., 1982. *The value of human life revisited*. American Journal of Public Health 72(6) 536-538.
21. Simoni, F., González, M.C., Maritan, A., Barabási, A.-L., 2012. *A universal model for mobility and migration patterns*. Nature 484(7392) 96-100.
22. UNISDR, 2005. *Hyogo framework for action 2005–2015: Building the resilience of nations and communities to disasters*, World Conference on Disaster Reduction, January, pp. 18-22.