



HAL
open science

Cambiamenti climatici a livello locale: stima economica del danno da alluvioni sul sistema delle infrastrutture lombarde

Massimo Fornari, Danièle Bevacqua, Giulio Alessandro de Leo

► **To cite this version:**

Massimo Fornari, Danièle Bevacqua, Giulio Alessandro de Leo. Cambiamenti climatici a livello locale: stima economica del danno da alluvioni sul sistema delle infrastrutture lombarde. 15. Congresso Società Italiana Ecologia, Sep 2005, Turin, Italy. hal-02762434

HAL Id: hal-02762434

<https://hal.inrae.fr/hal-02762434>

Submitted on 4 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Cambiamenti climatici a livello locale: stima economica del danno da alluvioni sul sistema delle infrastrutture lombarde

Massimo Fornari,^a Daniele Bevacqua,^a Giulio De Leo^a

^a Dipart. di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Parma, Parco Area delle Scienze 33/A, 43100 Parma, Italia

Abstract

Il presente lavoro riguarda gli effetti generati a livello locale dai cambiamenti climatici globali. L'obiettivo è l'individuazione di un modello per l'analisi economica del danno generato da eventi alluvionali sul sistema infrastrutturale lombardo. Adattando ad una stima economica la classica definizione di rischio (prodotto tra l'entità dei beni E , la vulnerabilità ad essi associata V e la frequenza dell'evento H), sono state analizzate tre aree campione rappresentative delle diverse realtà territoriali regionali: la prima in ambito urbano di alta pianura, la seconda in un contesto alpino e la terza in ambiente di bassa pianura scarsamente urbanizzata. Elaborando mediante un GIS i dati relativi alla definizione delle fasce fluviali stabilite dall'Autorità di Bacino del Fiume Po e i dati della Regione Lombardia riguardanti la localizzazione delle principali tipologie infrastrutturali è stato stimato il valore totale dei beni presenti (E) come prodotto tra l'estensione complessiva e dei beni all'interno della fasce (ad es. i km lineari di strade statali) ed il prezzo unitario p ad essi riferito ($E=ep$). Abbiamo quindi stimato il danno economico potenziale (epV) e quindi il danno economico atteso ($D=peVH$) su base annua. Lo scenario attuale è stato successivamente confrontato con scenari futuri di raddoppiamento e dimezzamento della frequenza degli eventi estremi di piena sulle principali aste fluviali della Lombardia.

© 2005 SIIE. All rights reserved

Keywords: Cambiamenti climatici, alluvioni, infrastrutture, danno economico

1. Introduzione

Il complesso quadro di cambiamenti climatici che stanno interessando ed interesseranno nei prossimi secoli il clima del pianeta comporterà, tra le altre cose, una variazione nella frequenza ed intensità di eventi estremi riconducibili a fattori meteo-climatici (IPCC, 2001; Milly *et al.*, 2002; EEA, 2004; Christiansen, 2003; Bronstert, 2003; Brunetti, 2004, Arnell, 1999). Fra gli eventi estremi di natura meteo-climatica le alluvioni rivestono senza dubbio un ruolo di primaria importanza su scala globale e in particolare in Europa per quanto concerne il danno economico generato.

Questo studio si inserisce all'interno di un progetto pilota per l'analisi e la gestione delle emissioni di gas serra a livello regionale denominato "Kyoto Lombardia". L'obiettivo finale è l'individuazione di un modello per l'analisi del danno economico generato da eventi alluvionali sul sistema delle infrastrutture lombarde basato sulla definizione classica di rischio (DPCM n°180/98, UNESCO, 1984), dove il rischio R è stato calcolato come prodotto tra il valore dei beni E , la vulnerabilità associata ad ognuno di essi V e la pericolosità H ovvero la frequenza o probabilità di accadimento dell'evento. Il modello, adattato per una stima del rischio in termini economici, è stato applicato a tre

aree campione localizzate in diversi ambiti territoriali al fine di stimare il livello di rischio attuale e confrontarlo con ipotetici scenari di cambiamento climatico.

2. Materiali e metodi

Per ottenere una stima rappresentativa in termini economici dell'attuale situazione del rischio abbiamo elaborato, attraverso l'impiego di un sistema informativo territoriale (GIS), dati georiferiti relativi alla localizzazione delle principali tipologie di infrastrutture ricadenti all'interno delle Fasce Fluviali definite dall'Autorità Di Bacino del Fiume Po (ADBPO) all'interno del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (ADBPO, 1999). All'interno delle fasce fluviali è possibile determinare il valore totale dei beni presenti (VT , vedi Tab. 1) come prodotto tra l'estensione relativa ad ogni bene e , misurata grazie al sistema informativo, e il valore economico unitario p , inteso come costo necessario alla realizzazione degli stessi.

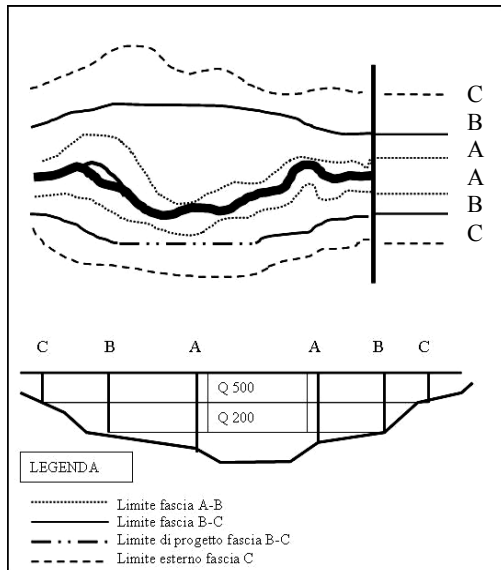


Fig.1: Identificazione schematica delle fasce fluviali.

Considerando dei valori medi di vulnerabilità V per le diverse categorie di infrastrutture (Gisotti, 2000) si può definire il Danno economico Potenziale (DP)

ovvero la dimensione economica delle perdite generate dalla piena di progetto della corrispondente fascia fluviale, indipendentemente dalla pericolosità H , cioè dalla probabilità, che realmente si possa verificare l'evento. Dal momento che la probabilità o frequenza di accadimento risulta inversamente proporzionale al tempo di ritorno, 200 anni per la fascia B e 500 per la fascia C, per calcolare il Danno Economico atteso su base annua (DE), si può moltiplicare il danno potenziale per la pericolosità H . In mancanza di previsioni quantitative sulla variazione delle frequenze associate agli eventi alluvionali corrispondenti alle fasce fluviali identificate dall'Autorità di Bacino, abbiamo introdotto una serie di stime basate su variazioni di H considerando in particolare scenari di dimezzamento e raddoppiamento della frequenza degli eventi estremi di progetto per la determinazione delle fasce B e C.

Il Valore Totale VT , DP e DE sono stati quindi calcolati nel seguente modo:

$$VT = pe; DP = p eV; DE = DP \cdot H$$

Tab. 1: Definizione delle variabili considerate nella valutazione del danno economico

Var	Descrizione
p	valore economico unitario dell'infrastruttura in €/m per infrastrutture identificate come lineari (strade, elettrodotti, etc.) o €/unità per infrastrutture puntuali (stazioni ferroviarie).
e	estensione del bene intesa come lunghezza, dimensione o numerosità cui si riferisce p espressa in base all'unità di misura che caratterizzano lo stesso.
V	vulnerabilità o attitudine dell'elemento a rischio a subire danni per effetto dell'evento estremo in base alle sue caratteristiche intrinseche (resistenza strutturale, deperibilità, etc.).
H	pericolosità o hazard, con $H = (1/Tr)t$. Con Tr si intende il tempo di ritorno associato all'evento espresso come numero di anni in cui lo stesso ha probabilità unitaria di verificarsi.
t	corrisponde all'orizzonte temporale considerato. In questa analisi t è pari ad un anno quindi $t = 1$

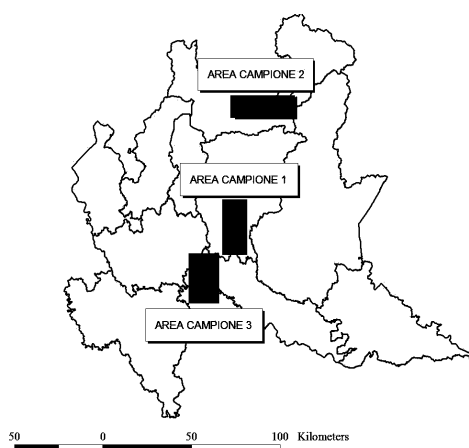


Fig.2 : Localizzazione delle aree campione sul territorio regionale

Ambito di applicazione del modello

La componente morfologica, influenza la struttura e l'andamento del corso d'acqua e conseguentemente le caratteristiche dell'evento di piena. Inoltre la conformazione del territorio determina la forma e l'estensione delle fasce fluviali. Altri fattori che rivestono un ruolo importante nel determinare il valore del rischio in un'area sono l'uso del suolo e la presenza di infrastrutture. Sulla base di queste osservazioni si è ritenuto opportuno individuare, in questa fase preliminare, tre aree campione (vedi Fig. 2), rappresentative di altrettanti ambiti territoriali presenti in Lombardia, su cui applicare il modello per la stima del danno economico.

Tab. 2: Estensione dei beni (e) misurata all'interno della fascia fluviale B delle tre aree campione

Estensione beni Fascia B [m lineari]	Area 1	Area 2	Area 3
Autostrade	432	0	0
Strade Statali	2.049	2.695	750
Strade Provinciali	1.838	6.661	2.287
Strade comunali asfaltate	15.949	9.035	43.374
Strade comunali non asfaltate	35.009	27.758	117.230
Linee a 1 binario	85	3.222	0
Linee a 2 binari	357	0	0
Elettrodotti	7.478	20.415	22.008

La prima area è situata in ambito urbano di alta pianura, sul fiume Serio, tra la zona sud della città di Bergamo e il comune di Mozzanica (Bg); la seconda in ambito montano, lungo il tratto sopra-lacuale del fiume Adda in provincia di Sondrio, tra i comuni di Tirano (So) e Berbenno (So); la terza in un contesto territoriale di bassa pianura relativamente poco urbanizzata, sul tratto terminale del fiume Adda, tra i comuni di Cavenago d'Adda (Lo) e Rivolta D'Adda (Lo).

3. Risultati

I valori calcolati di VT (Tab. 2) mostrano come il fattore morfologico svolga un ruolo determinante nell'analisi del rischio; infatti l'area campione 2, situata in ambito montano, presenta una maggior concentrazione di infrastrutture all'interno delle fasce fluviali rispetto alle altre due aree. Questo è dovuto al fatto che la morfologia del territorio in ambito montano riduce le porzioni di territorio disponibile a quelle aree di fondovalle, in corrispondenza dell'alveo fluviale, dove cioè il rischio alluvionale è più elevato. Il DP riportato in Tab. 3 mostra un andamento crescente nel passaggio dalla fascia A alla fascia C. Questo è dovuto sia all'aumento di superficie interessata dalle fasce sia all'aumento di concentrazione delle infrastrutture riconducibile ad una diminuzione del livello di rischio. Le differenze notevoli tra VT e DP sono dovute alla vulnerabilità caratteristica dei beni presenti. Un'area può infatti avere un elevato VT , ma se i beni sono poco vulnerabili può essere caratterizzata da un basso DP . Per un'analisi oggettiva del rischio infatti non è possibile basarsi unicamente sulla presenza di beni ma deve considerarsi il modo in cui questi rispondono al verificarsi dell'evento.

Tab. 3: Valore Totale dei beni presenti per fascia fluviale nelle tre aree campione (milioni di €)

VT milioni di €	fascia A	fascia B	fascia C
Area 1	11	18	58
Area 2	14	53	362
Area 3	12	30	54

Tab. 4: Danno Potenziale per fascia fluviale nelle tre aree campione (milioni di €)

DP milioni di €	fascia A	fascia B	fascia C
Area 1	2	3	9
Area 2	2	3	14
Area 3	4	9	18

Confrontando VT e DP valutati all'interno dell'area campione 2 per quanto riguarda la fascia C si nota chiaramente come una bassa vulnerabilità dei beni può ridurre il valore di VP ; nel caso specifico ai 362 milioni di euro di VT contribuisce in maniera preponderante la presenza di stazioni ferroviarie all'interno della fascia in esame dal momento che la vulnerabilità strutturali ad esse associata è molto bassa il DP risultante è decisamente inferiore.

3.1. Danno economico atteso su base annua. Scenario attuale e scenari futuri

Data la difficoltà di fare previsioni su scala locale, a partire da modelli climatologici globali, su quali possano essere gli effetti dei cambiamenti climatici in atto e sulla frequenza e intensità degli eventi alluvionali, abbiamo valutato il danno economico atteso in corrispondenza di diversi scenari futuri ottenuti ipotizzando delle variazioni nelle frequenze di accadimento degli eventi alluvionali di riferimento. Per quanto riguarda la fascia B, gli scenari futuri ipotizzati sono due, il primo di dimezzamento del tempo di ritorno con $H = 0,01 \text{ anni}^{-1}$, e il secondo di raddoppiamento dello stesso con $H = 0,0025 \text{ anni}^{-1}$. La situazione attuale è infatti rappresentata da una frequenza di 0,005 associata ad un tempo di ritorno di 200 anni.

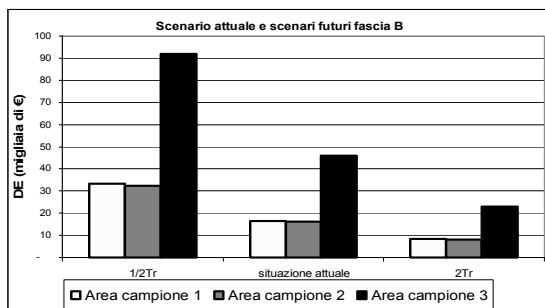


Fig. 3: Stima del DE all'interno della fascia B delle tre aree campione

Per la fascia C, rispetto ad una situazione attuale caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 500 anni ed una frequenza relativa di $0,002 \text{ anni}^{-1}$ abbiamo considerato l'evoluzione del danno economico sempre relativo ad un dimezzamento ($H = 0,004 \text{ anni}^{-1}$) e ad un raddoppiamento del tempo di ritorno ($H = 0,001 \text{ anni}^{-1}$). Il danno annuo atteso (valore medio delle tre aree campione) oscilla tra i 13.700 € nel caso di dimezzamento della frequenza di eventi estremi ai 54.800 € nel caso di raddoppiamento. In fascia C, l'area campione 3, presenta la criticità più elevata in termini di danno atteso, con 72.600 € nel caso di dimezzamento del tempo di ritorno, e 18.000 € per il raddoppiamento dello stesso. I valori mostrati per le fasce B e C, possono sembrare contenuti se pensiamo alle cifre relative ai danni che fanno seguito ad eventi alluvionali estremi. Si deve considerare tuttavia che, in questa prima analisi, sono comprese unicamente alcune tipologie di infrastrutture mentre risultano esclusi edifici residenziali, commerciali e industriali, beni mobili, perdite in termini di indotto socio-economico e molti altri fattori che spesso concorrono in maniera determinante ad incrementare il computo finale dei danni per i quali risulta sia da un punto di vista teorico che pratico assai più complessa una traduzione in termini economici (perdita di vite umane, manufatti di particolare pregio storico, artistico o culturale ecc.).

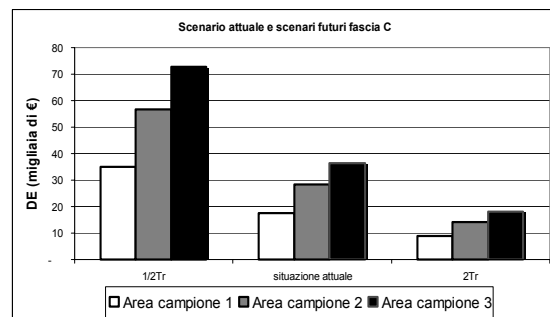


Fig. 4: Stima del DE all'interno della fascia C delle tre aree campione

Nella valutazione stessa del danno alle infrastrutture non è stato per ora incluso il danno indiretto all'indotto socio economico causato dall'interruzione temporanea dei servizi garantiti dalle infrastrutture (energia elettrica, viabilità). Infine

avendo scelto di considerare un orizzonte temporale di riferimento unitario, la stima prodotta riflette il danno atteso su base annua. Naturalmente trattandosi di eventi con tempi di ritorno elevati (200 e 500 anni) questo valore risulta essere una frazione limitata del danno che si registrerebbe nel caso avvenissero alluvioni di questo tipo.

3.2. Estensione al territorio regionale

Partendo dai valori stimati di danno potenziale e danno atteso per ogni fascia ed area campione e rapportandoli alla superficie della fascia corrispondente, si è ricavato un indice medio di danno per km² di fascia fluviale.

Tab. 5: Stime a livello regionale del DE per lo scenario attuale e gli scenari futuri

Fascia	Estensione regionale (Km ²)	Scenario	DE medio aree campione (€/Km ²)	DE a livello regionale (€)
B	1.108	Tr attuale	1.332	1.500.000
		½ Tr	2.663	3.000.000
		2 Tr	666	750.000
C	3.130	Tr attuale	775	2.400.000
		½ Tr	1.550	4.800.000
		2 Tr	387	1.200.000

Considerando l'estensione a livello regionale delle fasce fluviali, identificate dall'autorità di Bacino del Po si è fatta una stima preliminare dell'entità di questi due danni in Lombardia. Il risultato, pur sottostimando il valore reale dal momento che le fasce fluviali riguardano unicamente i corsi d'acqua principali e quindi sono esclusi tutti i corpi idrici secondari dal computo dei danni, è indicativo di una situazione di elevata criticità. I risultati per lo scenario attuale e gli scenari futuri sono riportati in Tab. 5.

4. Conclusioni

In seguito all'applicazione del modello alle aree campione considerate e in base ai risultati preliminari che è stato possibile ottenere, si possono effettuare alcune interessanti osservazioni. Innanzitutto il modello si è dimostrato uno strumento utile di analisi che consente di evidenziare lo stato attuale del rischio in ambiti territoriali definiti e per particolari tipologie di beni. Confrontando più aree inoltre è possibile identificare le situazioni di maggior criticità che richiedono una priorità di intervento come nel caso dell'area campione 3. La stima dei possibili effetti dei cambiamenti climatici pur non avendo come base degli scenari di riferimento reali, sui quali tra l'altro vi è tuttora un elevato grado di incertezza, può

fornire un'indicazione preliminare dell'entità del danno all'interno delle aree campione sotto diversi scenari al aumento della frequenza degli eventi alluvionali. Le caratteristiche morfologiche influiscono in maniera determinante sul valore del danno come è evidenziato dal confronto tra i risultati relativi all'area campione 1 e 3. La concentrazione di beni localizzati in zone ad alto rischio (Fascia A) risulta elevata in tutte le aree campione considerate. Tale risultato, in realtà atteso, sembra essere una caratteristica del territorio Italiano o per lo meno del bacino fluviale del Po (Cellerino, 2004). La precisione dei risultati forniti dal modello dipende in larga parte dalla qualità dei dati disponibili sia in termini di identificazione delle aree a rischio (fasce fluviali) sia di mappatura delle infrastrutture. I principali limiti connessi all'impiego di un modello di questo tipo sono legati oltre che alle assunzioni relative agli scenari futuri e alla linearità del modello, alla mancanza di funzioni danno-distanza che ne migliorino la rappresentatività. Tali funzioni permetterebbero di valutare l'entità dei danni tenendo espressamente in conto fattori quali il trasporto solido, la velocità della corrente o il livello raggiunto dal battente idrico, tutti fattori che dovrebbero ridurre il danno all'aumentare della distanza dal corpo idrico.

5. Ringraziamenti

Si ringraziano la Regione Lombardia, la Fondazione Lombardia per l'Ambiente (FLA) e l'ARPA Lombardia per aver consentito la realizzazione di questo studio e dell'intero progetto "*Kyoto Lombardia*".

Bibliografia

- ADBPO, 1999. Autorità di Bacino del fiume Po, Progetto di piano stralcio per l'assetto idrogeologico del Fiume Po (PAI).
- Arnell W. Nigel, 1999: The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental prospective. *Global Environmental Change*, 9, 5-23.
- Bronstert Alex, 2003: Floods and Climate Change. Interaction and Impact. *Risk Analysis*, vol 23, n°3.
- Brunetti M., Buffoni L., Mangianti C., Maugeri M., Nanni T., 2003 :Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy. *Global and Planetary Change*, vol 40.
- Cellerino R., 2004. L'Italia delle alluvioni – Un'analisi economica, Franco Angeli, Milano.
- Christensen H. Jens, Christensen B. Ole, 2002: Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421, 805.
- EEA, 2004. European Environment Agency, report N°2: Impacts of Europe's changing climate, an indicator-based assessment.
- Gisotti G., Benedini M., 2000. Il Dissesto Idrogeologico – previsione, prevenzione e mitigazione del rischio. Carrocci ed. Roma.
- IPCC, 2001. Climate change 2001: The scientific basis, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Milly P.C., Wetherald R.T., Dunne K.A., & Delworth T.L., 2002. Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, 415, 514-7.
- UNESCO, 1984. Landslides Hazard Zonation – a review of principles and practice., Paris