

La sinergia tra analisi multicriteriale (AMC) e GIS nella valutazione del rischio di esondazione: il bacino della lama Baronale-Picone (Provincia di Bari)

Claudio Cherubini¹, Giuseppe Orlando², Alessandro Reina¹, Carmelo Maria Torre³

¹Dip. Ingegneria Civile e Ambientale – Politecnico di Bari

²Master di Secondo Livello Area Alta Formazione – Univ. della Basilicata

³Dip. Architettura e Urbanistica – Politecnico di Bari

Analytic Hierarchy Process and GIS in evaluation of hydrogeological hazard for flooding: The basin of Baronale - Picone (Provincia of Bari)

ABSTRACT: The evaluation of the hydrogeological hazard for alluviation and /or flood is the main task both for land planning aimed to forecasting possible sceneries related to the dangerous event occurrences and the location of the the major risk areas, and to draw up a plan of intervention to optimize the emergency management system in the disastered areas. The purpose of this research is to test procedures and techniques for flood hazard evaluation which take into account the complexity of the geological, hydrogeological, social and economic system and the relationship among its variables. The basin of Baronale- Picone “lama” extending from the Murgia area of Cassano to the coastline close to Bari is the object of this paper, in view of the recent severe weather events (on October 23rd in the Cassano delle Murge area about 160 mm of rain have been recorded in three hours) which caused flood phenomena along the whole “lama” with dramatic outcomes.

Key terms: hydrogeological hazard, flooding, Analytic Hierarchy Process, Cassano delle Murge, Apulia, Southern Italy

Termini chiave: rischio idrogeologico, esondazione, Analisi multicriteriale, Cassano delle Murge, Puglia, Italia meridionale

Riassunto

La valutazione del rischio idrogeologico per alluvionamento e o esondazione è una questione di notevole rilevanza sia a livello di pianificazione territoriale il cui obiettivo è quello di prevedere possibili scenari connessi al verificarsi dell'evento calamitoso ed individuare le aree a maggior rischio, sia a livello esecutivo per redigere piani operativi di intervento ed ottimizzare i sistemi di protezione civile nel territorio interessato.

L'obiettivo della presente ricerca è quello di testare procedure di analisi e tecniche di valutazione del rischio idrogeologico, ed in particolare del rischio per alluvionamento, che tengano conto della complessità del sistema geologico, idrologico, sociale ed economico e delle relazioni fra le sue variabili.

Il bacino della lama Baronale-Picone che si estende dalle aree della Murgia di Cassano sino alla costa in corrispondenza della città di Bari è stato oggetto del nostro studio, in considerazione dei recenti eccezionali eventi meteorici (il 23 ottobre 2005 sono stati registrati nella zona di Cassano delle Murge circa 160mm di pioggia in tre ore) che hanno determinato lungo tutto il bacino della Lama fenomeni di esondazione con conseguenze anche drammatiche.

1. Premessa

Sono diversi anni (2001, 2003, 2004) che si registrano nella Provincia di Bari eventi meteorici intensi ma brevi che provocano esondazioni e che arrecano spesso ingenti danni alle infrastrutture causando recentemente anche alcune vittime (ottobre 2005).

Morfologicamente la quasi totalità del territorio della Provincia di Bari coincide con l'altopiano delle Murge. In considerazione della natura geologica dell'altopiano murgiano (si tratta di calcari stratificati permeabili per fatturazione e carsismo) su di esso mancano corsi d'acqua perenni: tuttavia, esistono solchi erosivi, in pratica corrispondenti a valli morte, che costituiscono un reticolo assai denso che a luoghi presenta una evidente gerarchizzazione di basso grado.

I più importanti solchi, localmente detti "lame", hanno origine nella Murgia alta e sul versante orientale arrivano fino al mare (Figura 1). Essi, nella maggior parte dei casi, hanno fondo piatto e fianchi mediamente inclinati. Sono diretti, in genere, da SO a NE ma a luoghi mostrano brusche variazioni di direzione o andamento meandriforme. Attualmente di queste incisioni sono interessate da un regime idraulico di tipo torrentizio collegati soprattutto agli eventi piovosi di intensa precipitazione ma di breve durata. Possono individuarsi aree potenzialmente esondabili allo

sbocco verso costa e/o in corrispondenza di aree di espansione prodotte da attività antropiche (cave) o di deviazioni del naturale decorso delle acque di ruscellamento (infrastrutture viarie, case e muri perimetrali).

La valutazione del rischio idrogeologico per alluvionamento e o esondazione è una questione di notevole rilevanza sia a livello di pianificazione territoriale il cui obiettivo è quello di prevedere possibili scenari connessi al verificarsi dell'evento calamitoso ed individuare le aree a maggior rischio, sia a livello esecutivo per redigere piani operativi di intervento ed ottimizzare i sistemi di protezione civile nel territorio interessato.

L'obiettivo della presente ricerca è quello di testare procedure di analisi e tecniche di valutazione del rischio

idrogeologico, ed in particolare del rischio per alluvionamento, che tengano conto della complessità del sistema geologico, idrologico, sociale ed economico e delle relazioni fra le sue variabili.

Il bacino della lama Baronale-Picone che si estende dalle aree della Murgia di Cassano sino alla costa in corrispondenza della città di Bari è stato oggetto del nostro studio, in considerazione dei recenti eccezionali eventi meteorici (il 23 ottobre 2005 sono stati registrati nella zona di Cassano delle Murge circa 160mm di pioggia in tre) che hanno determinato lungo tutto il bacino della Lama fenomeni di esondazione con conseguenze anche drammatiche (Figura 2).



Figura 2 – Il rilevato ferroviario danneggiato dall'alluvione

2. La necessità di un approccio differente nella valutazione del rischio

Secondo la definizione proposta dall'UNDRO nel 1979, il rischio è rappresentato dal prodotto tra pericolosità, vulnerabilità ed esposizione.

L'analisi del rischio si avvale tradizionalmente di modelli matematici grazie ai quali, a partire da serie di dati storiche e da rilevazione di dati, si valuta la probabilità che un evento si verifichi in un certo luogo con un certa intensità (pericolosità) in un determinato tempo. Quindi sottoponendo un modello del sistema ricevente (esposto vulnerabile) alla sollecitazione prevista si definiscono gli scenari possibili e si individuano i danni materiali che ne seguono.

L'utilizzo di tali modelli è sicuramente utile per la costruzione degli scenari di rischio, ma presenta almeno un

duplice ordine di problemi:

- la complessità di implementazione di modelli matematici in grado di rappresentare la realtà fenomenica;
- l'impossibilità di considerare alcuni aspetti (socio-economici, politici, culturali) comunque legati agli scenari prodotti da eventi catastrofici.

Partendo da queste considerazioni si è sentito il bisogno di sviluppare uno strumento di valutazione del rischio (da affiancare a quelli a cui tradizionalmente si fa ricorso) che abbia le seguenti caratteristiche:

- struttura logica del modello concettuale di riferimento semplice e dinamica, tale da poter essere riveduta e corretta alla luce di sensibili scostamenti tra scenari previsti e realtà fenomenica o della necessità di considerare nuovi elementi ai fini della valutazione;
- semplicità di raccolta, elaborazione, ed aggiornamento dei dati utilizzati nel modello.

Un tale strumento valutativo, opportunamente testato e calibrato in relazione alle problematiche da affrontare e al territorio da analizzare, potrebbe realmente considerarsi tanto un valido supporto nelle politiche di governo e gestione del territorio, quanto uno strumento di monitoraggio ambientale.

Ciò è ancor più vero se si pensa che qualsiasi sistema territoriale presenta una intrinseca vulnerabilità sistemica a causa della quale gli effetti di un disastro ricadono nello spazio e nel tempo ben oltre la zona fisicamente colpita.

«L'analisi del rischio, lungi dal rappresentare una mera raccolta di informazioni o un'asettica valutazione quantitativa del tecnico, cercherà di indagare come fattori spaziali, territoriali, sociali ed economici interagiscano rispetto a un particolare hazard, o alla combinazione di più hazard» (S. Menoni, 1996).

Ne consegue la necessità di un approccio valutativo multidisciplinare, capace di introdurre nei processi di analisi anche quegli aspetti (sociali, economici, culturali, politici) che generalmente non vengono considerati dai tradizionali modelli per la valutazione del rischio, ma che invece servono a definire la capacità di risposta di un sistema territoriale agli eventi calamitosi.

Occorre stabilire in che modo e in che misura tali aspetti influenzano e vengono influenzati da un ipotetico evento catastrofico per poter ridurre la vulnerabilità sistemica e, di conseguenza, i danni conseguenti ad un evento catastrofico.

3. Il metodo di valutazione

«L'emergere di una nozione sistemica della realtà, la scoperta delle interrelazioni che legano gli esseri viventi tra loro e al loro habitat, hanno fatto vacillare la nozione di isolabilità dei singoli elementi di studio» (S. Menoni, 1996).

La difficoltà insita nella ricerca delle relazioni alla base dei rapporti tra i vari aspetti del problema suggerisce di considerarli separatamente, comunque inquadrati in uno schema logico e gerarchicamente strutturato.

Quindi, il processo di valutazione prevede innanzitutto la destrutturazione dell'obiettivo principale (analisi del rischio) secondo una gerarchia di sub-obiettivi di livello inferiore (l'analisi della vulnerabilità e della pericolosità).

Per supportare metodologicamente il procedimento di destrutturazione si fa ricorso alla analisi multicriteriale secondo il metodo AHP (Analytic Hierarchy Process - sviluppato da T. L. Saaty verso la fine degli anni '70), che «scompone un macro-problema in micro-problemi di più facile soluzione ed è in grado di gestire una certa dose di incoerenza del decisore entro limiti giudicati accettabili, per cui non richiede perfetta razionalità» (Giangrande).

Ad ogni elemento della gerarchia viene associato un peso (peso locale) che rappresenta l'incidenza - in una scala di valori compresa tra 0 e 1 - in relazione all'elemento a cui è subordinato, a confronto con gli altri elementi sottoposti

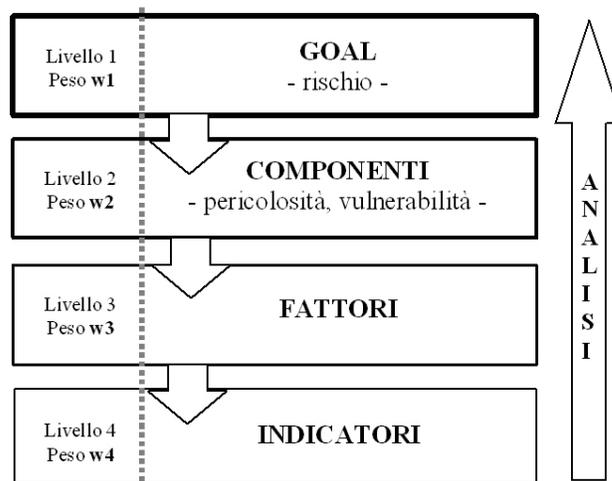
allo stesso elemento sovraordinato.

Il peso locale è il risultato di un confronto a coppie tra tutti gli elementi sottordinati allo stesso elemento del livello superiore, effettuato per mezzo di giudizi esperti che, in ogni confronto, esprimono la dominanza di un elemento rispetto all'altro secondo i valori della scala di Saaty (1=equal, 3=moderate, 5=strong, 7=very strong, 9=extreme). Una volta eseguiti i confronti si calcola l'indice di inconsistenza ("elemento di controllo" nell'analisi di Saaty): se questo supera una certa soglia - il 10% - significa che i giudizi espressi sono incongruenti e vanno ripetuti i confronti a coppie.

Una volta determinati i pesi locali di tutti gli elementi della gerarchia si calcolano i pesi globali.

Il peso globale (cioè riferito al goal) di ogni singolo elemento equivale al prodotto del suo peso locale per i pesi locali di tutti gli elementi a cui esso è subordinato. La sommatoria dei pesi degli elementi appartenenti allo stesso livello e subordinati allo stesso elemento è uguale a 1.

La valutazione del rischio avverrà dunque seguendo lo schema gerarchico proposto di seguito:



La vulnerabilità e la pericolosità rappresentano le componenti del rischio e vengono descritte tramite i fattori, la cui presenza e consistenza sul territorio viene espressa tramite gli indicatori.

Il peso globale W di un indicatore è uguale a

$$W = w_4 * w_3 * w_2 * w_1.$$

In questo modo si arriva a definire il rischio partendo dall'analisi della *presenza* e della *consistenza* sul territorio di quegli elementi che lo determinano, associando ad ognuno di essi un peso che ne identifica l'incidenza che ognuno di essi ha nel determinare il rischio stesso.

4. La costruzione delle mappe

La presenza e la consistenza dei fattori individuati si traducono graficamente in mappe, la cui sovrapposizione dà

origine a mappe di livello sovraordinato.

Le operazioni spaziali di sovrapposizione vengono effettuate per mezzo di software GIS, i quali consentono di associare informazioni grafiche (individuazione della presenza dei fattori) ad informazioni numeriche (i pesi associati ai singoli fattori), in maniera semplice e dinamica.

La valutazione del rischio si traduce sostanzialmente in un processo di overlay mapping per mezzo del quale si costruiscono informazioni di livello complesso strutturando, sulla base di giudizi esperti, informazioni di livelli più semplici.

Le mappe di pericolosità e di vulnerabilità sono il risultato della sovrapposizione delle mappe relative, rispettivamente, ai fattori di pericolosità e di vulnerabilità. Sovrapponendo la mappa della pericolosità a quella della vulnerabilità si determina la mappa del rischio.

All'operazione grafica di overlay mapping corrisponde il prodotto dei pesi globali dei singoli indicatori di vulnerabilità e di pericolosità, il cui risultato esprime l'indice di rischio globale.

$$I_r = I_v \times I_p = \sum_{i=1}^n p_{vi} \partial_i \times \sum_{j=1}^m p_{pj} \partial_j$$

con:

I_r = Indice di rischio globale

I_v = Indice di vulnerabilità generale

I_p = Indice di pericolosità generale

$i = 1 \dots n$, fattori di vulnerabilità

$j = 1 \dots m$, fattori di pericolosità

p_{vi} = peso globale dei fattori di vulnerabilità

p_{pj} = peso globale dei fattori di pericolosità

$\partial_i = 1$ se il fattore di vulnerabilità esiste

= 0 se il fattore di vulnerabilità non esiste

$\partial_j = 1$ se il fattore di pericolosità esiste

= 0 se il fattore di pericolosità non esiste

5. La valutazione del rischio idrogeologico

Ai fini della valutazione del rischio idrogeologico si sono individuati i fattori che incidono sulla pericolosità ($w2p$) e quelli che incidono sulla vulnerabilità ($w2v$).

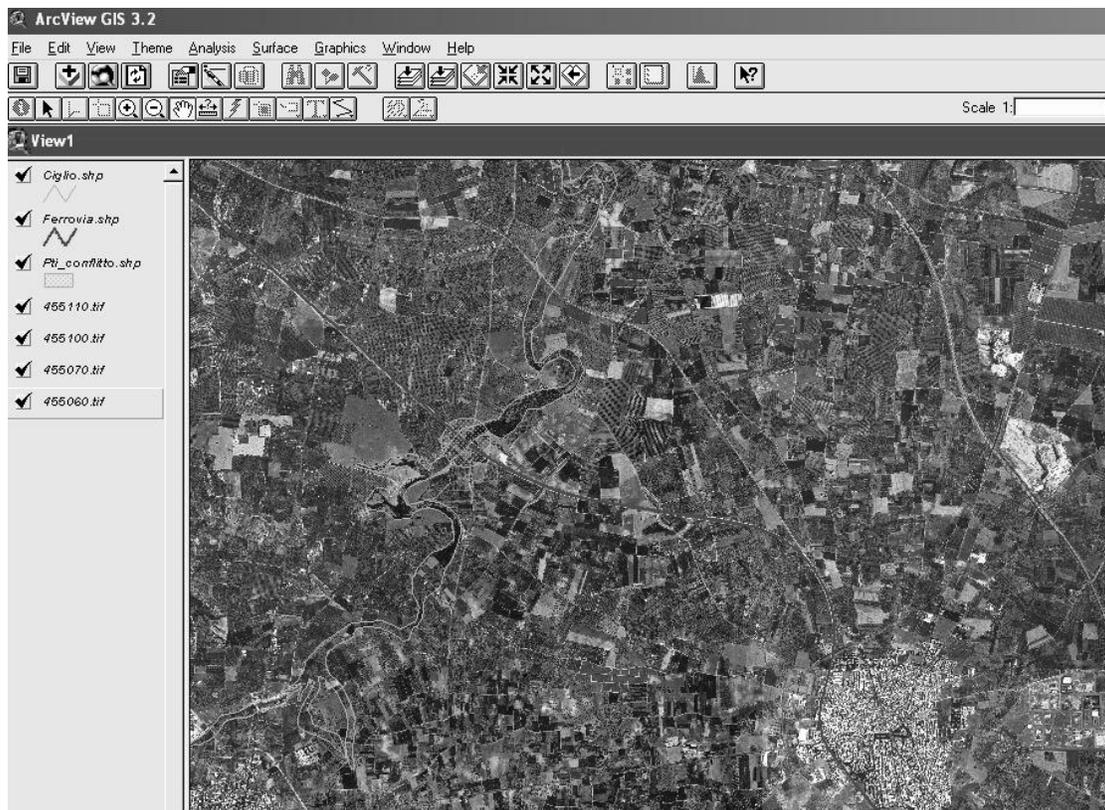
I fattori rappresentativi della pericolosità (con i relativi pesi locali) sono:

- piovosità ($w31p$);
- pendenza ($w32p$);
- permeabilità ($w33p$);
- vegetazione ($w34p$);
- interferenza antropica col sistema delle lame ($w35p$).

I fattori rappresentativi della vulnerabilità (con i relativi pesi locali) sono:

- insediamento ($w31v$);
- popolazione ($w32v$).

Assegnando valori differenti ai pesi dei vari elementi della gerarchia, è possibile costruire scenari diversi:



6. I risultati

Lo studio effettuato evidenzia come la concomitanza di diversi fattori possa produrre situazioni di notevole rischio legato ai fenomeni di piovosità (a volte anche non di portata eccezionale).

La capacità di verificare la presenza di questi fattori e di indagare circa le loro interrelazioni costituisce allora uno strumento utile per monitorare le situazioni di rischio territoriale e per intervenire laddove si ritiene venga superata una soglia di rischio ritenuta accettabile.

Non meno importante è il contributo che una simile metodologia può dare in sede di pianificazione territoriale, in quanto sarebbe verificabile a priori l'effetto delle modifiche indotte sul territorio in termini di aumento delle

condizioni di rischio.

Nel caso dei tragici eventi alluvionali verificatisi lo scorso ottobre nel territorio di Cassano delle Murge, appare evidente come l'ostruzione del sistema orografico delle lame provocata dalla viabilità, che ne intersecava in alcuni punti il tracciato, costituendo una vera e propria diga, ha determinato un aumento del valore dell'indice di rischio (Fig. 3).

La conoscenza aprioristica delle aree soggette a rischio è elemento essenziale per poter intraprendere azioni mirate di riduzione del rischio territoriale.

E proprio in questi termini, questo studio si propone di rappresentare un strumento utile alla costruzione di mappe di rischio territoriale.

Bibliografia

S. Menoni (1996) - Pianificazione e incertezza. Elementi per la valutazione e la gestione dei rischi territoriali, FrancoAngeli, Milano.

F. Santoianni (1996) - Rischio e vulnerabilità. Disastri e territorio, CUEN, Napoli.

S. Pinna (2002) - Rischi ambientali e difesa del

territorio, FrancoAngeli, Milano.

G. Orlando, F. Selicato & C. M. Torre (2005) - The use of GIS as tool to support risk assessment, in *Geo-information for disaster Management*, a cura di P. van Oosterom, S. Zlatanova, E. M. Fendel, ed. Springer Verlag.

G. Orlando, A. Reina, F. Selicato & C.M. Torre (2005) - Valutazione del rischio e pianificazione territoriale: approcci multicriteriali e gis-based per la valutazione del danno potenziale, intervento presentato al 35° Incontro di studi del Ce.S.E.T. a Potenza il 14-15 ottobre 2005.