

Valutazione del rischio e pianificazione territoriale: approcci multicriteriali e gis-based per la valutazione del danno potenziale

Carmelo M. Torre¹, Giuseppe Orlando², Francesco Selicato³, Alessandro Reina⁴

^{1,2,3}Dipartimento di Architettura e Urbanistica, Politecnico di Bari

⁴Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Bari

INTRODUZIONE

I tradizionali metodi di approccio nella valutazione del Danno da elemento calamitoso devono tenere conto dell'**interazione** e dell'**integrazione** di quegli aspetti (sociali, economici, culturali e politici) che non si prestano ad una rappresentazione effettuata mediante modellazioni matematiche di tipo lineare-combinatorio, ma che invece rivestono un ruolo fondamentale e strategico tanto nelle fasi di prevenzione, protezione e ricostruzione post-disastro, quanto nei processi di pianificazione e di gestione dello sviluppo territoriale.

Per questo motivo, si è cercato di costruire un modello di stima del Danno potenziale su scala territoriale utilizzando un approccio metodologico alternativo di analisi (definito "qualitativo") che, a partire dalla valutazione della *presenza* e della *consistenza* sul territorio di alcuni *fattori* (ritenuti incidenti sulla *vulnerabilità* del territorio e sulla *pericolosità* dell'evento catastrofico), e facendo uso di *analisi multicriteri* e operazioni di *overlay mapping* (elaborate all'interno del SIT appositamente realizzato), ricavasse informazioni sul rischio territoriale di supporto a quelle ricavate con i tradizionali metodi di analisi, costruendo dei **rapporti di complementarità** tra fattori.

Il metodo proposto è stato ricavato da una applicazione sperimentale di valutazione del rischio idrologico nel territorio del Comune di Monopoli.

- 1 Carmelo M. Torre è autore del paragrafo "il metodo di valutazione" e "la costruzione degli indici di rischio".
- 2 Giuseppe Orlando è autore del paragrafo "Complessità e non linearità delle problematiche connesse al rischio ambientale" e del paragrafo "Introduzione" e "Costruzione delle Mappe".
- 3 Francesco Selicato è autore del paragrafo "verifica dei risultati".
- 4 Alessandro Reina "Una applicazione...".

1. COMPLESSITÀ E NON LINEARITÀ DELLE PROBLEMATICHE CONNESSE AL RISCHIO AMBIENTALE

Tradizionalmente, a partire dalla definizione di rischio proposta dall'UNDRO (United Nations Disaster Relief Office) nel 1979, secondo la quale il rischio dato da un evento su un ambito spaziale è rappresentato dal prodotto tra pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, l'analisi del rischio si avvale di modelli matematici per mezzo dei quali, a partire da serie di dati sperimentali, si stabilisce la probabilità che un evento si verifichi in un certo luogo con un certa intensità (pericolosità). L'entità del rischio in una data area i e in un certo intervallo di tempo al verificarsi di un particolare evento calamitoso j è legato alla pericolosità (P_{ij}) dell'evento, alla vulnerabilità dell'area rispetto all'evento (V_{ij}) e alla esposizione (E_i) secondo la seguente relazione:

$$1) R_{ij} = P_j \cdot V_{ij} \cdot E_i$$

Nella quale per *pericolosità* si intende la probabilità che un evento si verifichi in un certo intervallo di tempo e in una determinata area con una certa intensità, per *vulnerabilità* si intende la capacità di un sistema di far fronte alle sollecitazioni prodotte dall'evento calamitoso, per esposizione si intende *l'esposto vulnerabile* cioè quantità del numero di elementi umani, di beni economici e capitale sociale esposti alla potenziale situazione di pericolo.

Quindi sottoponendo un modello del sistema ricevente (definito *esposto vulnerabile*) alla sollecitazione prevista si definiscono gli scenari possibili e si individuano i danni materiali che ne seguono.

La stima del danno atteso sarà quindi legata alla determinazione della probabilità di perdita di un patrimonio di una data consistenza.

Secondo Caldaretti et al. (1987), la dinamica coevolutiva delle trasformazioni in un sistema territoriale, soprattutto nell'area vasta, danno una rilevante dimensione dinamica alla vulnerabilità, intesa come incapacità di reazione a eventi calamitosi, alla quale si riconducono i seguenti aspetti:

- a) passaggio dalla crisi puntuale dell'elemento esposto alla crisi di sistema (vulnerabilità diretta),
- b) crisi dell'intero sistema territoriale generata dal collasso di un elemento (vulnerabilità indotta),
- c) perdita di efficienza nel periodo di crisi (vulnerabilità temporanea)
- d) perdita di efficienza nella fase di riequilibrio territoriale (vulnerabilità dinamica),
- e) effetti di natura sociale ed economica che si manifestano dopo l'emergenza (vulnerabilità differita).

I danni potenziali derivati da un evento calamitoso sono quindi di diversa natura, e solo parzialmente descrivibili nel modello tradizionale.

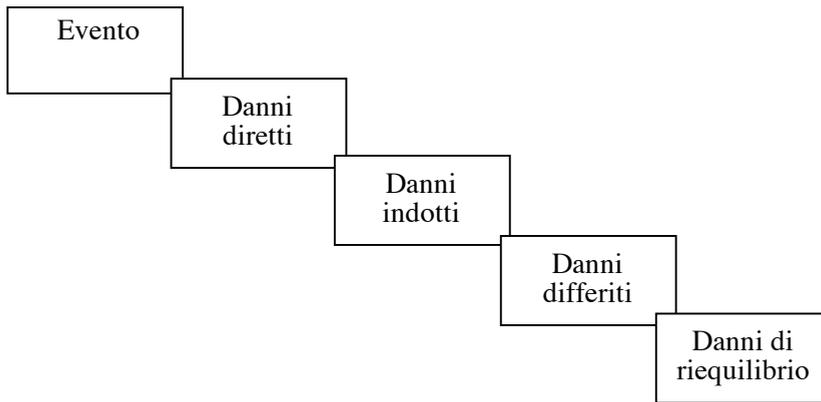


Fig. 1 Effetto di amplificazione del danno nei sistemi territoriali complessi

La conoscenza della complessità strutturale di un sistema urbano territoriale può essere utile a definire la sua vulnerabilità (cioè la sua propensione a subire danni) ad un evento calamitoso e quindi a limitare il gap tra quelli che sono i danni potenziali e quelli reali.

I danni conseguenti ad eventi di tipo calamitoso possono essere classificati come segue in funzione della fase temporale in cui si verificano:

- *danni materiali;*
- *danni sistemico-organizzativi;*
- *danni di processo.*

I danni materiali si verificano nella fase di impatto, si rinvencono principalmente nella zona più colpita dal disastro e comportano danni fisici a persone e cose.

I danni sistemico-organizzativi si verificano nella fase di soccorso e di emergenza. Sono causati dall'inefficienza dei soccorsi, dalla carenza di mezzi e di personale specializzato, dall'inadeguatezza delle azioni di soccorso intraprese.

I danni di processo si verificano nelle fasi di ricostruzione e di "ritorno alla normalità" e rappresentano i danni spazialmente e temporalmente più diffusi e disomogenei. Essi sono strettamente legati alla complessità dei sistemi territoriali, hanno ripercussioni sugli aspetti economici, sociali, politico-amministrativi.

1.1. Dalla concezione tradizionale di rischio alla vulnerabilità sistemica

I metodi tradizionali di analisi di rischio quindi non considerano tutti quegli aspetti che si riferiscono alla interazione di elementi sociali organizzativi (*orgware*), economici (*finware*) e sociali (*civicware*), che invece sono utili a descrivere la realtà urbana/territoriale intesa come sistema complesso di relazioni (Fusco Girard et al., 2001).

La "scoperta" di una complessità sistemica della realtà, e 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. Proprio a causa di questa complessità, qualsiasi sistema territoriale presenta una *vulnerabilità di carattere sistemico* a causa della quale gli effetti di un disastro ricadono nello spazio e nel tempo ben oltre la zona fisicamente colpita (Menoni, 1996).

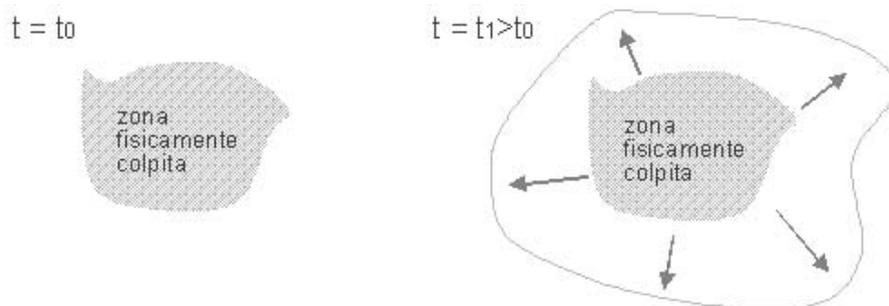


Fig. 2 L'area di espansione del danno dovuta alla vulnerabilità sistemica è più estesa di quella direttamente colpita

Il concetto di vulnerabilità sistemica si associa con difficoltà a modelli basati su modelli probabilistici di valutazione della pericolosità.

I modelli probabilistici si basano infatti su una osservazione “acritica” della cronologia degli eventi, sulla base della quale producono previsioni.

La vulnerabilità sistemica è invece legata al concetto di interrelazione dell'elemento esposto con il contesto di riferimento dello stesso, e al sistema di connessioni, interazioni tra elementi esposti, che sono per l'appunto legati agli effetti indotti, temporanei e differiti.

Ne consegue la necessità di un *approccio quali-quantitativo*, capace di introdurre nei processi di analisi anche quegli aspetti (sociali, economici, culturali, politici) che generalmente non vengono considerati dai tradizionali metodi valutativi, ma che invece caratterizzano localmente la capacità di risposta di un sistema territoriale agli eventi calamitosi.

Tabella 1 - Approcci e aspetti del rischio

Concetti	Approccio tradizionale	Analisi della vulnerabilità sistemica del danno
Pericolosità	Probabilità di un evento	Fattori interni all'ambito territoriale amplificativi di un evento
Vulnerabilità	Misura della capacità di reazione	Fattori esterni riduttivi della capacità di reazione del sistema
Esposizione	Quantità di patrimonio esposto	Danno potenziale stimabile tenendo conto di effetti di contesto

Occorre stabilire in che modo e in qual 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.

Lo scopo dell'analisi del rischio, non consiste quindi nel determinare semplicemente una raccolta di informazioni o nel costruire una asettica valutazione quantitativa, ma nell'indagare l'interazione di fattori spaziali, territoriali, sociali ed economici rispetto alla combinazione di più Hazard (Menoni, 1996).

2. IL METODO DI VALUTAZIONE

Un modello innovativo di analisi del rischio può quindi tenere conto della sovrapposizione degli effetti per la determinazione del danno potenziale, attraverso la costruzione di un modello qualiquantitativo capace di modellizzare questa sovrapposizione di effetti attraverso la stima dell'incidenza sul danno massimo complessivo dei singoli fattori.

La stima del danno atteso su un *i*-esimo elemento in un certo intervallo di tempo al verificarsi di un particolare evento calamitoso *j* può essere espresso dal costo di ricostruzione (K_i) del patrimonio presente nell'area *i*, dalla pericolosità (P_j) dell'evento nell'area *i*, alla somma degli elementi di vulnerabilità sistemica (V_j) rispetto a ciascuno dei *j*-mi hazards che concorrono alla esposizione (E_j) dell'elemento stesso nella seguente relazione (Peduzzi, 2002):

$$2) \quad D_{ij} = R_{ij} \cdot K_i = \sum_j P_{ij} \cdot (V_{ij} \cdot K_i)$$

Essendo un patrimonio di valore K_i esposto a eventi diversificati, il danno potenziale complessivo dell'elemento *i*-mo sarà il seguente

$$3) \quad D_{ij} = I_{Rij} \cdot K_i = \sum_j P_{ij} \cdot \sum_j V_{ij} \cdot K_i$$

Pericolosità totale e vulnerabilità complessiva assumono valore massimo pari a 1

$$4) \quad \sum_j P_{ij} = \sum_j V_{ij} = 1$$

In corrispondenza del massimo danno arrecato (perdita totale del patrimonio esposto vulnerabile K).

In questo modello è possibile tenere conto dell'interazione complessa tra fattori attraverso una omogeneizzazione qualitativa dei fattori V_{ij} operata attraverso la costruzione di rapporti di complementarità. Essi vengono a determinarsi come incidenze del singolo fattore di vulnerabilità sulla vulnerabilità totale. La presenza del fattore comporta l'incidenza V_{ji} sull'elemento i .

Va quindi definita la tecnica di stima da utilizzare per la determinazione dell'incidenza dei singoli fattori P_{ij} e V_{ij} .

Il processo di valutazione prevederà innanzitutto la destrutturazione dell'obiettivo principale (analisi del rischio) secondo una gerarchia di sub-criteri di livello inferiore (l'analisi della vulnerabilità e della pericolosità). Il concetto di esposizione, al quale tradizionalmente si fa riferimento, viene reso complementare a quello di vulnerabilità, per individuare quindi l' "esposto vulnerabile".

Ci si avvale del metodo AHP (Saaty, 1980), per la sua possibilità di scomporre un problema generale in problemi specifici di più facile gestione, con una dose accettabile di incoerenza della decisione, applicabile in contesti di razionalità limitata dal deficit conoscitivo (Simon, 1969).

Ad ogni elemento della gerarchia viene associato un peso (peso locale) che valuta l'importanza dell'elemento non in termini complessivi (cioè riferiti all'obiettivo principale, il *goal*), ma solo in rapporto all'elemento sovraordinato rispetto al quale sono stati confrontati. Il peso è il risultato di giudizi espressi da esperti in relazione ad una serie di confronti a coppie tra i vari elementi sottordinati allo stesso elemento di livello superiore. 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.

Di conseguenza il problema è strutturato secondo la gerarchia illustrata in figura 3:

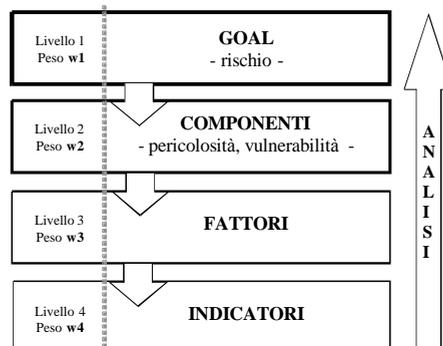


Fig. 3 - Struttura della gerarchia per l'analisi del rischio

Vulnerabilità e pericolosità rappresentano entrambe le componenti del rischio e vengono descritte tramite i fattori, la cui presenza e consistenza sul territorio è espressa

da indicatori. Il peso globale W_j di un fattore è uguale a:

$$5) W_j = w_{4j} \cdot w_{3j} \cdot w_{2j} \cdot w_{1j}$$

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.

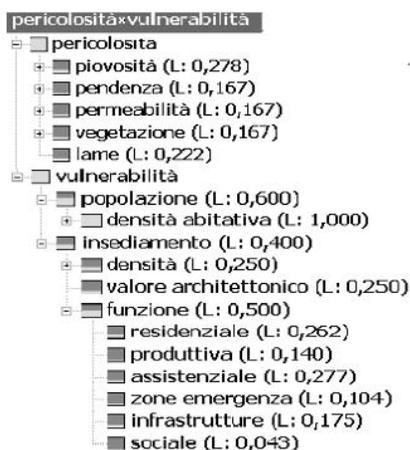


Fig. 4 - Struttura della gerarchia dei pesi per l'analisi del rischio

Si ricorda che nella nella scala di Saaty esiste una relazione tra giudizi esperti qualitativi e rapporti numerici. I livelli di giudizio sono espressi come segue:

Tabella 2 Relazioni quantitative – semantiche della scala di Saaty

$m/n = 1/9 = 0,111$	estremamente meno
$m/n = 1/7 = 0,143$	molto meno
$m/n = 1/5 = 0,2$	meno
$m/n = 1/3 = 0,333$	moderatamente meno
$m/n = 1/1$	indifferente
$m/n = 3/1$	moderatamente di più
$m/n = 5/1$	di più
$m/n = 7/1$	molto di più
$m/n = 9/1$	estremamente di più

Esistono poi livelli intermedi tra i giudizi, espressi dai rapporti 2/1, 4/1, 6/1, 8/1 e dai loro reciproci. Il confronto a coppie si traduce nella costruzione della seguente matrice di confronto tra n elementi, emisimmetrica rispetto alla diagonale.

Tabella 3 Matrice di confronto di Saaty, nei quali i rapporti tra i fattori sono parzialmente inconsistenti

Confronto	FATTORE _A	FATTORE _B	FATTORE _C	.....	FATTORE _N
FATTORE _A	1	m_{AB}/n_{AB}	m_{AC}/n_{AC}	.....	m_{AN}/n_{AN}
FATTORE _B	n_{AB}/m_{AB}	1	m_{BC}/n_{BC}	.....	m_{BN}/n_{BN}
FATTORE _C	n_{AC}/m_{AC}	n_{BC}/m_{BC}	1	.....	m_{CN}/n_{CN}
.....
FATTORE _N	n_{AN}/m_{AN}	n_{BN}/m_{BN}	n_{CN}/m_{CN}	.....	1

Come è noto il rapporto che esprime qualitativamente la relazione di importanza esistente tra l'incidenza del fattore A e l'incidenza del fattore B, espressa da m_{AB}/n_{AB} , è generalmente diverso da quello espresso nel rapporto $(m_{AJ}/n_{AJ}) / (m_{BJ}/n_{BJ})$ con J generico fattore variabile da 1 a n., per la non applicabilità della proprietà transitiva ai giudizi espressi semanticamente e conseguentemente ai corrispondenti rapporti numerici.

$$6) \quad \frac{m_{AB}}{n_{AB}} \neq \frac{(m_{AJ}/n_{AJ})}{(m_{BJ}/n_{BJ})}$$

Si evidenzia la possibilità di considerare la complessità

- a) attraverso la gradualità da pesi globali a pesi locali l'esistenza di rapporti gerarchici nel territorio;
- b) con l'uso dell'AHP la possibilità di costruire *rapporti di complementarità* tra i differenti aspetti della vulnerabilità.

Questi rapporti forniranno una definizione qualiquantitativa della sistematicità che lega le diverse componenti dell'esposto vulnerabile, in un dato contesto di analisi. Infatti la generazione dei pesi dalla matrice di Saaty consente di individuare attraverso il confronto a coppie un rapporto di importanza tra aspetti che è tipico del sistema territoriale analizzato, e riferibile solo ad esso.

Così viene riprodotta la specificità del contesto locale, caratteristica del concetto di vulnerabilità sistemica. La derivazione dal metodo analitico gerarchico delle incidenze di fattori di danno attraverso la definizione di pesi normalizzati dei singoli fattori di vulnerabilità, riporta all'uso dei rapporti di incidenza di fattori considerati complementari secondo il modello da Forte e De Rossi, recentemente riproposto per la stima

degli effetti della salvaguardia ambientale da D'Alpaos et al. (2002), e utilizzato anche per metodi e contesti estimativi di differente natura (Simonotti, 1997). Si noti che il limite del *value transfer* (evidenziato da D'Alpaos et al., 2002, nel trasferimento da un contesto a un altro dei pesi espressi da rapporti di complementarità), cioè della trasponibilità dei pesi da un ambito all'altro non ha significato in tematiche come quelle del rischio che per loro natura sono intrinsecamente *context-based*.

Ha senso invece la difficoltà evidenziata da Romano e Cozzi (2005): sono da risolvere rilevanti questioni relative alla determinazione dei costi di ricostruzione e più in generale dei valori dei beni danneggiati da eventi calamitosi, per la determinazione dei costi K_i .

3. LA COSTRUZIONE DEGLI INDICI DI RISCHIO

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, per mezzo di relazioni di causalità, 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 dell'esposto vulnerabile si determina la mappa del rischio.

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

$$7) \quad I_{R_{ij}} = \sum_j P_{ij} \delta_j \cdot \sum_j V_{ij} \delta_j$$

L'indice di rischio dell'ambito i -mo è dato dal prodotto dell'indice di pericolosità per l'indice di vulnerabilità sistemica, intesi come somma di j fattori dipendenti dal j -mo fattore di rischio, nella quale se il fattore esiste la sua incidenza (cioè il peso globale alla Saaty) è non nulla (δ_j diverso da zero, e conseguentemente anche $V_j \delta_j$ e $P_j \delta_j$), in caso contrario la sua incidenza è nulla (δ_j pari a zero).

Se il territorio è rappresentato da un numero rilevante di elementi, considerabili con buona approssimazione infiniti, quando δ_j è diverso da zero, esso è sempre approssimabile a 1.

ESEMPIO DI CALCOLO DELL' I_R

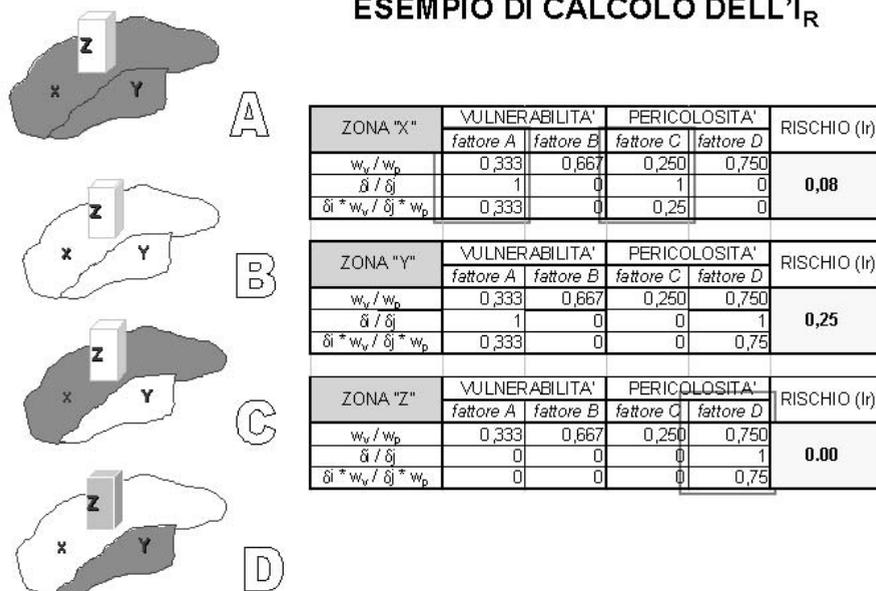


Fig. 5. Esempio di stima degli indici di rischio

4. APPLICAZIONE: LA VALUTAZIONE DEL DANNO DA ALLUVIONE NEL COMUNE DI MONOPOLI

È stato affrontato lo studio del rischio alluvionale nel Comune di Monopoli. Il territorio oggetto di studio risulta esposto al rischio alluvionale soprattutto in virtù dell'interferenza tra il sistema insediativo urbano e quello orografico delle lame. Questa genera una condizione di rischio in quanto agisce sia sulla pericolosità (può determinare un'alterazione dei naturali processi di scorrimento delle acque dal gradone murgiano fino al mare) che sulla vulnerabilità (espone al pericolo alluvionale la popolazione insediata in prossimità del sistema delle lame).

4.1 Analisi della pericolosità

I fattori rappresentativi della PERICOLOSITÀ, con i relativi pesi, sono:

- piovosità (0,278):
 - alta (0,500);
 - media (0,333);
 - bassa (0,167);
- pendenza (0,167):
 - alta (0,500);

- media (0,333);
- bassa (0,167);
- permeabilità (0,167):
 - calcare di Altamura (0,143);
 - calcarenite di Gravina (0,286);
 - impermeabilizzazione (0,571);
- vegetazione (0,167):
 - colture (0,167);
 - arbusti (0,333);
 - alberi ((0,500);
- interferenza antropica col sistema delle lame (0,222).

4.1.1 Piovosità

Un livello di precipitazione meteorica eccessivo può determinare l'insufficienza del sistema naturale di smaltimento delle acque, col conseguente allagamento delle zone circostanti.

I dati pluviometrici sono stati rilevati dalle stazioni di Fasano, Polignano e Castellana, nel periodo 1976-1996. In ragione di tali valori si possono quindi stabilire tre zone di differente piovosità, geograficamente coincidenti con i topoieti (zona nella quale le precipitazioni sono rilevate dalla stessa stazione pluviometrica) delle tre stazioni pluviometriche, a cui associare tre diverse classi di pericolosità:

- zona ad alta piovosità (Fasano): 0,500
 $W_{pio1} = (0,500/0,500)*0,278*0,500 = 0,139$;
- zona a media piovosità (Polignano): 0,333
 $W_{pio2} = (0,333/0,500)*0,278*0,500 = 0,093$;
- zona a bassa piovosità (Castellana): 0,167
 $W_{pio3} = (0,167/0,500)*0,278*0,500 = 0,046$.

4.1.2 Pendenza

L'eccessiva pendenza del terreno fa sì che aumenti la velocità di ruscellamento dell'acqua e che diminuisca la quantità d'acqua assorbita dal terreno: questo fenomeno può causare la rottura di argini naturali e/o artificiali, con conseguente inondazione delle aree circostanti. Di conseguenza assumono rilevanza sotto questo punto di vista gli impluvi, le doline, le lame e le zone depresse a valle di questi.

Si definiscono tre fasce di pendenza, alle quali si associano differenti classi di pericolosità:

- pendenze forti: 0,500
 $W_{pen1} = (0,500/0,500)*0,167*0,500 = 0,084$;
- pendenze medie: 0,333
 $W_{pen2} = (0,333/0,500)*0,167*0,500 = 0,056$;
- pendenze basse: 0,167

$$W_{pen3} = (0,167/0,500)*0,167*0,500 = 0,028.$$

4.1.3 Permeabilità

Questa caratteristica del terreno fa sì che l'acqua meteorica venga in parte assorbita dal terreno, circostanza favorevole (in questo caso) in quanto diminuisce la quantità di acqua "ruscellante".

Il territorio di Monopoli è costituito essenzialmente da due litotipi (calcere di Altamura e calcarenite di Gravina), distribuiti lungo due fasce parallele alla costa. A questi è possibile associare differenti gradi di permeabilità. Un ulteriore elemento da considerare in relazione a questa caratteristica, è quello della impermeabilizzazione, che determina una riduzione (parziale o totale) del potere filtrante dei suoli.

In definitiva, si possono determinare, in relazione alla permeabilità, tre classi di pericolosità:

- suoli impermeabilizzati: 0,571
 $W_{per1} = (0,571/0,571)*0,167*0,500 = 0,084;$
- calcarenite Gravina: 0,286
 $W_{per2} = (0,286/0,571)*0,167*0,500 = 0,056;$
- calcare Altamura: 0,143
 $W_{per3} = (0,143/0,571)*0,167*0,500 = 0,028.$

4.1.4 Vegetazione

La vegetazione ed il suolo contribuiscono, tramite, rispettivamente, la captazione e la capacità di assorbire l'acqua meteorica, a far diminuire la quantità di acqua di ruscellamento.

La capacità di captazione e di assorbimento varia a seconda che si considerino alberi (e simili), arbusti (e simili) o colture; in tal caso si definiscono tre classi di pericolosità:

- alberi: 0,500
 $W_{veg1} = (0,500/0,500)*0,167*0,500 = 0,084;$
- arbusti: 0,333
 $W_{veg2} = (0,333/0,500)*0,167*0,500 = 0,056;$
- colture: 0,167
 $W_{veg3} = (0,167/0,500)*0,167*0,500 = 0,028.$

4.1.5. Interferenza antropica con il sistema idrogeologico

Come detto in precedenza, questo fattore può scatenare un pericolo latente in quanto può rendere insufficiente la sezione dei canali naturali (lame) all'interno dei quali scorrono le acque piovane.

Gli elementi di interferenza possono essere costituiti da singole strade in rilevato (che possono costituire una vera e propria diga), o dai centri abitati sorti in prossimi-

tà della lama. In alcuni casi si può verificare che un elemento di interferenza vada a vantaggio di sicurezza; è il caso della cava che lambisce la strada Monopoli-Castellana: questa, interferendo a monte con la lama Belvedere, funziona da cassa di espansione, facendo sì che, in caso di precipitazioni elevate, l'acqua che giunge da monte non raggiunga a valle il centro abitato.

Per rappresentare la condizione di interferenza, si utilizza il concetto grafico di buffer riferiti agli impluvi. La larghezza della fascia di rispetto per quanto riguarda gli impluvi deve essere di 50 m dall'asse del corso d'acqua: questo sarà, allora, lo spessore del buffer. Se all'interno di questi buffer si riscontra la presenza di elementi di disturbo, gli si assocerà il valore 1 (0 nel caso rappresentino un vantaggio in termini di sicurezza) che, moltiplicato per il peso associato a questo fattore, determina il suo peso effettivo:

- intersezione con le lame: 0,222
 $W_{lam} = 1 * 0,222 * 0,500 = 0,111.$

4.2 *Analisi della vulnerabilità*

I fattori rappresentativi della VULNERABILITÀ sono:

- popolazione (0,600):
 - densità abitativa (1,000);
 - alta (0,500);
 - media (0,333);
 - bassa (0,167);
- insediamento (0,400):
 - densità dell'insediamento (0,250):
 - alta (0,500);
 - media (0,333);
 - bassa (0,167);
 - valore architettonico (0,250);
 - funzione (0,500):
 - residenziale (0,262);
 - produttiva (0,140);
 - assistenziale (0,277);
 - zone emergenza (0,104);
 - infrastrutture (0,175);
 - sociale (0,043).

4.2.1 *Insedimento*

La vulnerabilità di questo fattore dipende da tre indicatori, a cui vengono associati i seguenti pesi:

- densità di insediamento: 0,250;

- valore architettonico-storico-culturale: 0,250;
- funzione: 0,500.

Densità di insediamento. Si individuano le seguenti classi:

- densità alta: 0,500
 $W_{dins1} = (0,500/0,500) * 0,250 * 0,400 * 0,500 = 0,050;$
- densità media: 0,333
 $W_{dins2} = (0,333/0,500) * 0,250 * 0,400 * 0,500 = 0,033;$
- densità bassa: 0,167
 $W_{dins3} = (0,167/0,500) * 0,250 * 0,400 * 0,500 = 0,017.$

Valore architettonico-storico-culturale. Il peso complessivo di questo fattore è pari a

- Interesse architettonico, sociale, culturale: 0,250
 $W_{intarc} = 0,250 * 0,400 * 0,500 = 0,05.$

Funzione. Si distinguono le funzioni residenziale, produttiva, assistenziale, zone di emergenza, infrastrutture e sociale ai quali sono associati le seguenti classi di vulnerabilità:

- residenziale: 0,262
 $W_{fun2} = (0,262/0,277) * 0,500 * 0,400 * 0,500 = 0,095;$
- produttiva: 0,140
 $W_{fun4} = (0,140/0,277) * 0,500 * 0,400 * 0,500 = 0,050;$
- assistenziale: 0,277
 $W_{fun1} = (0,277/0,277) * 0,500 * 0,400 * 0,500 = 0,1;$
- zone emergenza: 0,104
 $W_{fun5} = (0,104/0,277) * 0,500 * 0,400 * 0,500 = 0,037;$
- infrastrutture: 0,175
 $W_{fun3} = (0,175/0,277) * 0,500 * 0,400 * 0,500 = 0,063;$
- sociale: 0,043
 $W_{fun6} = (0,043/0,277) * 0,500 * 0,400 * 0,500 = 0,015.$

Alla funzione assistenziale si associa il valore più alto, sia perché riveste una importanza notevole in fase di emergenza (consente di salvare vite umane), sia perché, nella fase di impatto, gli ospedali rappresentano punti ad alta vulnerabilità (c'è un'elevata densità di persone con ridotte capacità motorie); pertanto è assolutamente necessario che questa funzione sia tutelata. Le "zone d'emergenza" sono quei luoghi deputati a diventare punti nevralgici in fase di emergenza, in quanto capaci di ospitare strutture temporanee per il soccorso e l'alloggiamento a medio e lungo termine degli sfollati. Sono ritenute tali le scuole, le palestre ed le grandi strutture per lo sport, le zone aperte libere. Le residenze hanno un peso elevato in quanto rappresentano un bene essenziale, la cui carenza genera, oltre a ovvi problemi pratici (di sopravvivenza) ed economici, anche scompensi di tipo psicologico.

4.2.2 Popolazione

Per valutare la vulnerabilità di questo fattore si l'indicatore densità abitativa, per la quale si individuano le seguenti tre classi:

- alta: 0,500
 $W_{dabit} = (0,500/0,500)*1*0,600*0,500 = 0,300$
- media: 0,333
 $W_{dabit} = (0,333/0,500)*1*0,600*0,500 = 0,200$
- bassa: 0,167
 $W_{dabit} = (0,167/0,500)*1*0,600*0,500 = 0,100.$

Nella valutazione della vulnerabilità sistemica, potrebbero risultare rilevanti indicatori come l'età media della popolazione residente o il reddito o il livello culturale in quanto da essi si desume la capacità di risposta, in termini di azioni, agli eventi catastrofici. È chiaro, infatti, che una popolazione con livelli di cultura e di reddito elevati, e la cui età media non sia troppo elevata, ha una capacità di risposta (in termini di stimoli, forze, possibilità economiche) maggiore di una popolazione più anziana. Si considerano allora la seguente classificazione.

Risulta evidente come nell'analisi del rischio non è possibile non considerare i fattori sociali, in quanto anch'essi servono a fare il bilancio (a lungo termine) dei danni subiti da una comunità colpita da eventi catastrofici.

5. LE MAPPE

Per ognuno dei fattori evidenziati si è costruita una mappa che ne rappresenta la presenza e la consistenza all'interno del territorio comunale di Monopoli.

Nel seguito sono riportate alcune mappe esemplificative dei fattori considerati (intersezioni con elementi idrogeologici di rilievo, valore complesso architettonico, funzioni ad elevata esposizione) e le mappe di sintesi di pericolosità, di vulnerabilità e rischio.

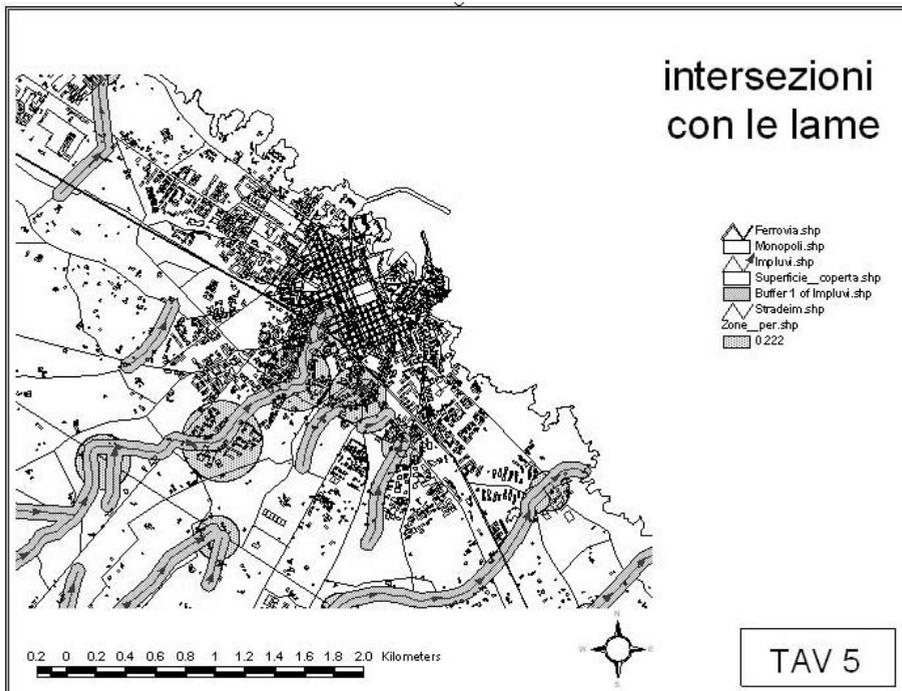


Fig. 6 - Mappa delle intersezioni con elemnti idrogeologici. Le strade in rilevato o i centri abitati sorti in prossimità delle lame possono generare delle situazioni di disturbo nel regolare deflusso delle acque meteoriche.

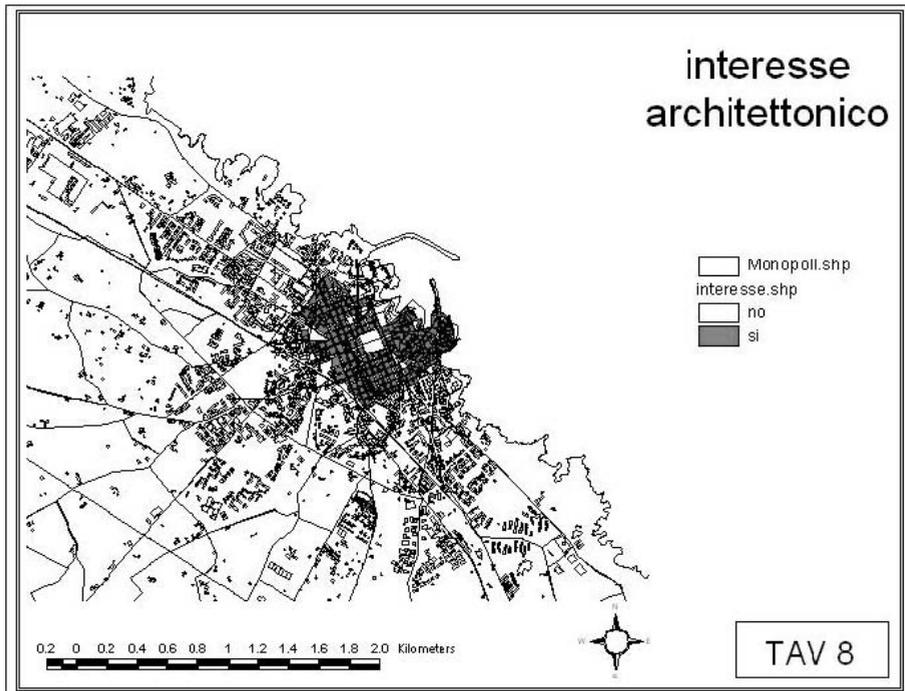


Fig. 7 - Mappa del valore complesso del patrimonio architettonico

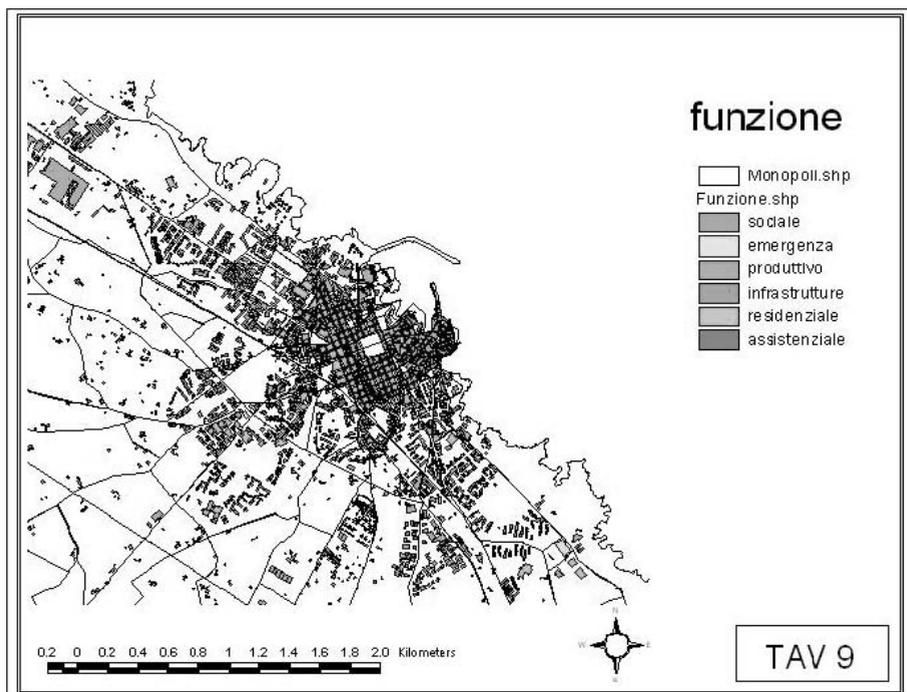


Fig. 8 - Mappa delle funzioni dell'insediamento. Le funzioni residenziale, produttiva, assistenziale, di emergenza, infrastrutturale e sociale contribuiscono in maniera differente a determinare il danno complessivo in seguito ad un evento calamitoso.

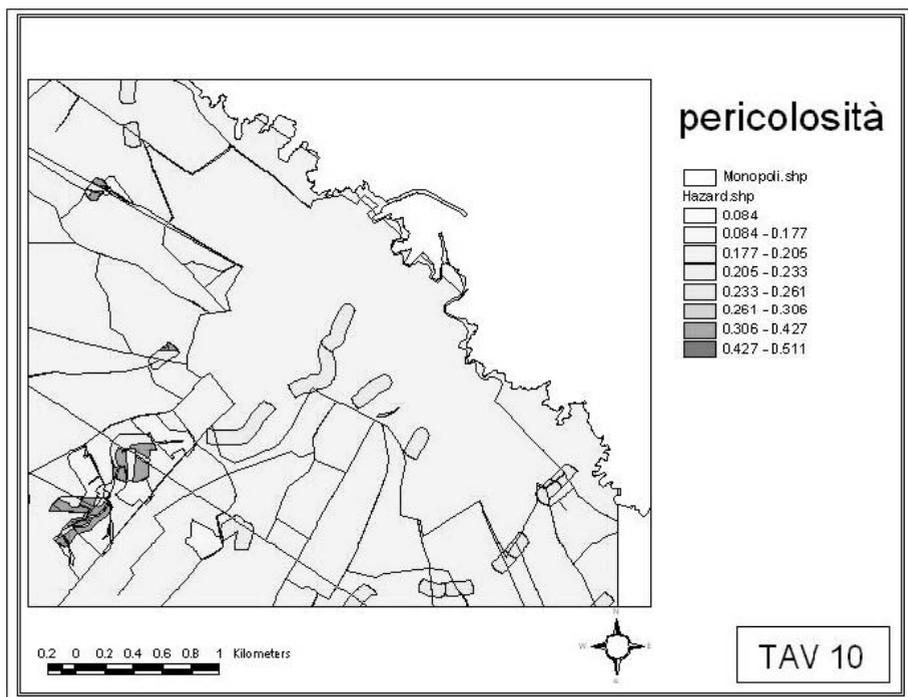


Fig. 9 - Mappa della pericolosità.

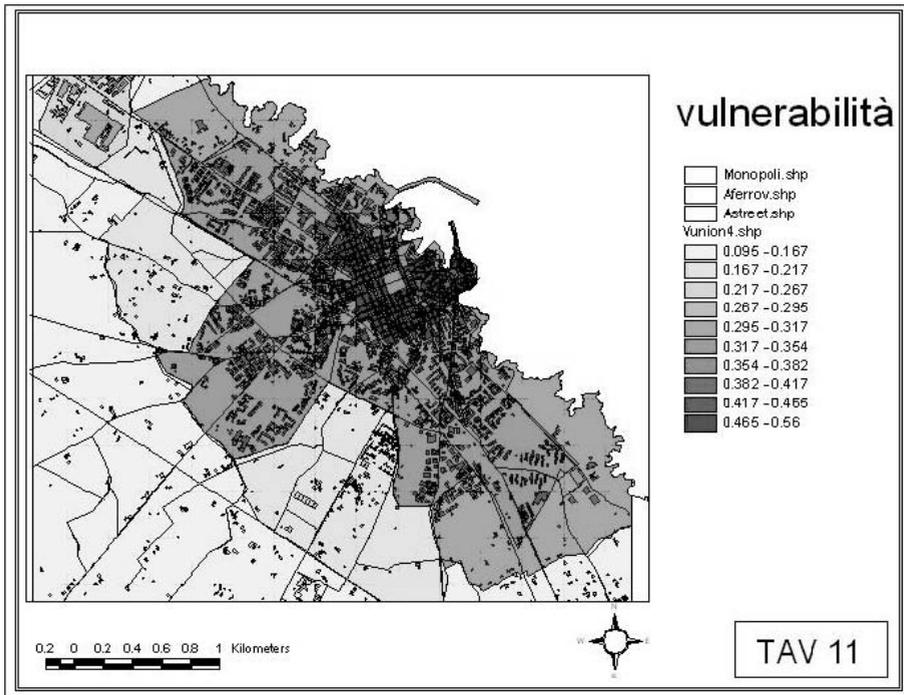


Fig. 10 - Mappa dell'esposto vulnerabile

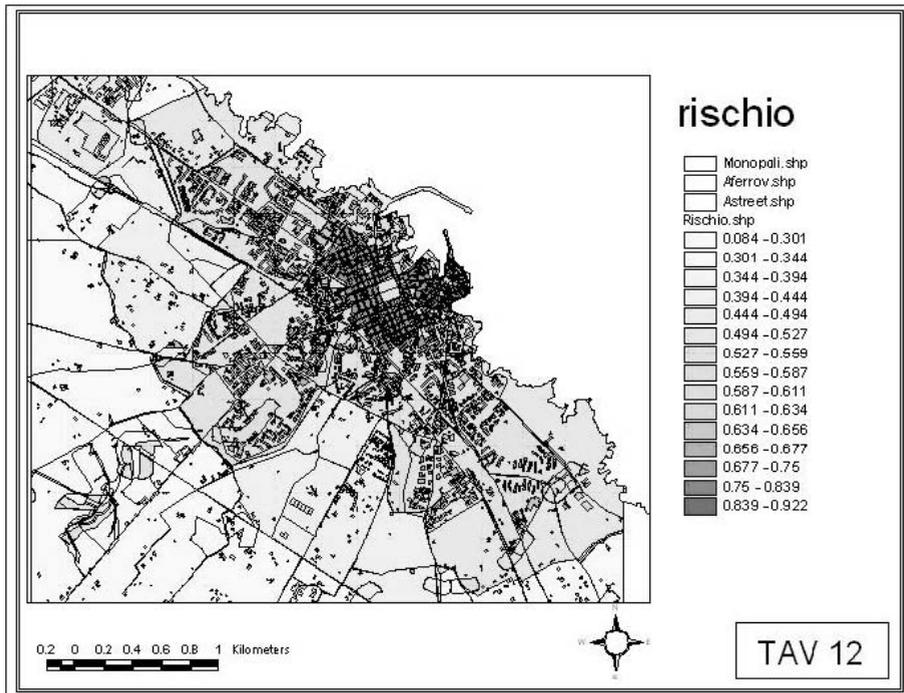


Fig. 11 - Mappa del rischio

6. VERIFICA DEI RISULTATI

L'individuazione delle aree soggette a rischio alluvionale in virtù dell'interferenza del sistema urbano col sistema naturale di scolo delle acque piovane si è dimostrata tragicamente attendibile, in quanto, in occasione di un'intensa pioggia verificatasi nelle zone oggetto di studio il 26 luglio 2004, alcune tra le aree evidenziate sono state inondate dalle abbondanti acque che, trovando ostruiti o interrotti i naturali canali di trasporto verso il mare, si sono riversate nei centri abitati e nelle zone circostanti provocando notevoli danni. Il lavoro qui esposto è stato poi alla base della relazione di adeguamento prodotta come osservazione al Piano Regionale di Assetto Idrogeologico della Puglia.

Il metodo proposto è stato sviluppato per rappresentare a livello embrionale l'approccio valutativo, che necessiterà sicuramente di ulteriori approfondimenti e di interventi migliorativi.

Ciò nonostante, appare interessante la strutturazione del problema, in quanto utile a supportare i tradizionali metodi di valutazione del rischio, soprattutto per quanto concerne la vulnerabilità del territorio (naturale ed antropico), quella sociale e quella economica (aspetto, questo ultimo, non approfondito in questo studio data la sua complessità). Lo studio delle correlazioni dei sistemi sociali, urbani e territoriali è cosa assai complicata ma allo stesso tempo affascinante.

Data la multidisciplinarietà dell'approccio, i software GIS rappresentano uno strumento indispensabile ed insostituibile data la loro capacità, in tempi brevi, di gestire, correlare, implementare e visualizzare dati relativi a diversi settori disciplinari. La possibilità di interrogare il sistema e incrociare informazioni consente di analizzare e approfondire aspetti del problema altrimenti difficilmente percepibili.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- D'Alpaos C., Marella G., Rosato P., Stellin G. (2002) *La valutazione ex-ante degli effetti sul valore immobiliare di interventi di salvaguardia ambientale: un approccio gerarchico* in S. Stanghellini (a cura) *La valutazione degli investimenti sul territorio*, Atti del XXXII Incontro Ce.S.E.T.
- G. Fera, A. Riggio (1990), *Pianificazione territoriale e mitigazione del rischio sismico negli Stati Uniti*, DEI, Roma
- C. Forte, De Rossi (1977), *Elementi di Economia ed estimo*. Etas, Milano.
- L. Fusco Girard, B. Forte, M. Cerreta, P. De Toro, F. Forte, a cura (2001) *L'uomo e la città: verso uno sviluppo umano e sostenibile*. Angeli, Milano.
- L. Fusco Girard, P. Nijkamp (1997) *Le valutazioni per lo sviluppo sostenibile della città e del territorio*. Angeli, Milano.
- R. Gerundo (a cura) (2001), *Il rischio territoriale. Un caso di studio*, Materiali INU Campania.
- A. Lapucci, S. Lombardo, A. Santucci (2005) *Innovazione dalla sinergia fra AMC e GIS: l'analisi a criteri multipli spaziale. Implementazione e applicazione alla va-*

- lutazione del rischio. In A. Cecchini e A. Plaisant (a cura) *Analisi e modelli per la pianificazione. Teoria e pratica: lo stato dell'arte*. Angeli, Milano, pp. 154-165.
- S. Menoni (1996), *Pianificazione e incertezza. Elementi per la valutazione e la gestione dei rischi territoriali*, Angeli, Milano.
- G. Orlando, F. Selicato, C. M. Torre (2005) *The Use of Gis as Tool to Support risk Assessment*, in P. van Oosterom, S. Zlatanova, E.M. Fendel (eds) *Geo-Information for Disaster Management*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, pp. 1381-1400
- P. Peduzzi (2002), *Report on GRAVITY and PREVIEW Hotspots project aims*, UNEP/DEWA/GRID-Geneva.
- S. Pinna (2002), *Rischi ambientali e difesa del territorio*, Angeli, Milano.
- S. Romano, M. Cozzi (2005) Gli incendi boschivi: criteri di valutazione del rischio come strumento per la definizione di strategie di governo del territorio. In G. Las Casas, P. Pontrandolfi, B. Murgante (a cura) *Urbing- Alta Formazione*. Ermes, Potenza (pubblicazione su CD).
- T.L. Saaty (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York.
- F. Santoianni (1996), *Rischio e vulnerabilità. Disastri e territorio*, CUEN, Napoli.
- E.A. Simon (1969) *The science of artificial*. MIT Press, Boston.
- M. Simonotti (1997), *La stima immobiliare*, UTET, Torino.
- UNDP/UNDRO (1992) *An Overview on disaster management*. UN, New York.