

Progettazione e sperimentazione di un modello di analisi multi-hazard per la valutazione del rischio locale dei beni culturali

Adriana Corcelli (*), Maria Ioannilli (**), Carlo Cacace (***)

(*) (***)Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento Ingegneria Civile, Via del Politecnico 1, 0672597296

(*) adriana.corcelli@gmail.com

(**) 0672597086, ioannill@ing.uniroma2.it

(***) Istituto Centrale per il Restauro, 0648896380

Abstract

La salvaguardia, la conservazione e la manutenzione del patrimonio culturale sono gli aspetti della tutela che hanno portato alla realizzazione del progetto “Carta del Rischio del Patrimonio Culturale Italiano”. La determinazione di un puntuale possibile riscontro tra singola emergenza culturale e situazioni concrete di rischio, all’interno del più vasto progetto della “Carta del Rischio” si rivela indispensabile al fine di individuare quali parti del territorio mettere in sicurezza per tutelare l’integrità del patrimonio culturale esistente. A partire dalla necessità di giungere alla consapevole determinazione del **rischio locale** associato a ciascun bene, è stato sviluppato un Modello logico che tiene conto della variazione locale delle pericolosità presenti in un determinato territorio e dello stato di conservazione dei beni esaminati. Incrociando opportunamente i dati di pericolosità con i dati di vulnerabilità dei beni culturali, questi ultimi estratti dagli appositi moduli schedografici forniti dall’Istituto Centrale per il Restauro (ICR), è possibile calcolare, per ciascun bene ubicato in una determinata area del territorio, il valore del Rischio Globale associato al bene nel suo complesso. Tale rischio deriva dalla valutazione della potenziale co-presenza, all’interno di un dato ambito territoriale, di fonti indipendenti di pericolosità; la sua determinazione è stata modellata mediante un approccio di tipo *multi hazard* (o “*cross-cutting risks*”).

Abstract

Preservation, conservation and maintenance of the cultural heritage at national level are the strategic aims of the project "Risk Map for the Italian Cultural Heritage", implemented by the **Istituto Centrale per il Restauro**. The project was carried out in support of the scientific and administrative activities of Institutes and State bodies responsible for protecting, safeguarding and preserving the cultural heritage. From the operative point of view, the project has the aim to outline the current risk condition of the cultural assets in the different national contexts, making in this way possible to identify the priority for prevention activities. At this moment, however, the project has surveyed the vulnerability condition for architectural goods and, from the hazard point of view, only a general analysis was carried out. The next stage of the project is to assess the local risk condition for each one of the goods. The proposed work presents a logical and operative model suitable to estimate the actual risk condition for architectural goods, developed by integrating the information concerning vulnerability of goods and the danger condition of the sites upon which they are located.

Introduzione

La “Carta del Rischio” è un sistema informativo territoriale realizzato dall’Istituto Centrale per il Restauro (ICR) (Accardo et al., 2003) al fine di fornire agli Istituti e agli Enti statali e locali preposti alla tutela, salvaguardia e conservazione del patrimonio culturale, uno strumento di supporto per

l'attività scientifica ed amministrativa. Se si assume il rischio di perdita del patrimonio culturale come criterio per l'individuazione delle priorità d'intervento, la conoscenza della sua distribuzione sul territorio è utile e necessaria per lo sviluppo della politica di settore, con particolare riguardo alla programmazione degli interventi di tutela e conservazione ed alla pianificazione urbanistica.

Tra il 1992 ed il 1996, è stata avviata dall'ICR la realizzazione del Sistema Informativo Territoriale denominato "MARIS" (MApPA RISchio) che, sua attuale configurazione, permette di esplorare la consistenza, la tipologia e la distribuzione sul territorio del patrimonio culturale, almeno nelle sue emergenze.

Nel quantificare operativamente il rischio, numerose possono essere le interpretazioni ed i metodi di valutazione. L'approccio più ampiamente condiviso a livello internazionale fa riferimento al rapporto dell'Unesco riguardante i fenomeni franosi (Varnes, 1984), in cui il rischio è dato dal prodotto di due termini: pericolosità e vulnerabilità ($R = V \times P$). Nel progetto MARIS (Accardo et al., 2005), questi due termini sono rappresentati da:

- la Vulnerabilità Individuale (V), ossia una funzione che indica il livello di esposizione di un dato bene all'aggressione dei fattori territoriali ambientali;
- la Pericolosità Territoriale (P), ossia una funzione che indica il livello di potenziale aggressività di una data area territoriale, indipendentemente dalla presenza o meno dei beni.

Il rischio dunque risulta essere espresso come una funzione generale delle componenti di vulnerabilità, relative ad ogni unità di bene presa in considerazione, e di pericolosità, relative ad ogni unità territoriale su cui il bene può esistere. Nel dimensionamento del SIT MARIS l'unità territoriale corrisponde all'intero Comune in cui sono collocati i beni. I domini per cui vengono valutati tanto la vulnerabilità (del singolo bene) che la pericolosità (di ciascuna unità territoriale di riferimento) sono:

Domini	Vulnerabilità		Pericolosità	
Ambientale/Aria	V1	aspetto della superficie	P1	fattori climatici, microclimatici e gli inquinanti dell'aria
Statico/Strutturale	V2	caratteristiche costruttive e statico-strutturali	P2	caratteristiche geomorfologiche del suolo e del sottosuolo
Antropico	V3	uso e sicurezza	P3	dinamiche demografiche e socioeconomiche

L'indagine sullo stato di conservazione dei beni culturali di interesse, informazione necessaria alla stima della Vulnerabilità nei diversi domini di interesse, viene effettuata attraverso l'utilizzo di una Schedatura Conservativa messa a punto dall'ICR. Il modello schedografico è articolato in due sezioni: la prima dedicata alle informazioni anagrafiche del Bene, la seconda dedicata ai dati sullo stato di conservazione; tale modello è stato specializzato per i Beni Architettonici e per i Beni Archeologici. Il Modello è in entrambi i casi articolato in due livelli di approfondimento (Accardo et al., 2005).

Il Bene (Architettonico) è scomposto nei suoi Elementi costruttivi e decorativi (8 tipologie al I Livello di approfondimento) e ciascun Elemento è a sua volta articolato in Componenti (II Livello di approfondimento):

- Collegamenti verticali
- Coperture
- Fondazioni
- Infissi interni - esterni
- Pavimenti interni - pavimentazioni esterne
- Rivestimenti e decorazioni interni - esterni
- Strutture in elevazione
- Strutture di orizzontamento

Per gli Elementi e le Componenti vengono censiti i dati relativi allo stato di conservazione.

Sono inoltre rilevati i dati relativi agli Impianti di Sicurezza presenti (DL626) ed in particolare

quelli relativi a: incendio, antifurto, smaltimento acque.

Al momento della schedatura conservativa del Bene viene rilevata, se esistente e per ciascuna componente del bene, la presenza di sei classi di danno (I Livello) articolate, a loro volta in sottoclassi (II Livello) secondo il seguente schema:

- Danni strutturali
- Disgregazione materiale
- Umidità
- Attacchi biologici
- Alterazione degli strati superficiali
- Parti mancanti

Per ogni classe di danno è inoltre censito il livello di danneggiamento attivo, mediante i seguenti tre diversi descrittori:

- Gravità (0: assenza di danno; 1:danni lievi e medi; 2: danni gravi e gravissimi)
- Urgenza (1: degrado non in progressione; 2: degrado in progressione; 3: esigenza di interventi immediati)
- Diffusione (valore percentuale variabile da 0% a 100%)

Attraverso un procedimento della Overlay Mapping, è possibile mettere in evidenza il rapporto che intercorre tra fattori di pericolosità esistenti sul territorio e condizioni di vulnerabilità dei Beni, senza però poter giungere ad una precisa definizione e quantificazione dei fattori oggettivi di pericolosità agenti sui singoli Beni. Ciò è dovuto all'assunzione dell'ambito comunale come unità territoriale di riferimento (il che produce un effetto di generalizzazione dei valori delle "pericolosità" modellate) e alla disomogeneità delle fonti e dei sistemi di rilevamento dei diversi fattori di pericolosità. Tuttavia, pur nei suoi limiti evidenti per la mancanza di un puntuale possibile riscontro tra singola emergenza culturale e situazioni concrete di rischio (peraltro non ipotizzabile all'interno di un approccio al problema alla scala nazionale), il SIT MARIS rappresenta uno strumento indispensabile per la identificazione, per tutto il territorio nazionale, delle aree di maggior degrado potenziale e dei fattori prevalenti che possono esserne l'origine e il fattore scatenante.

Un Modello per il calcolo del Rischio Locale relativo ai Beni Architettonici

La formulazione di un Modello per la valutazione del rischio locale dei beni culturali nasce dalla concomitanza di due fattori: il primo concerne le riflessioni sullo stato attuale della Carta del Rischio che, come detto, non fornisce una effettiva valutazione del livello di rischio a cui è sottoposto un singolo Bene in relazione allo specifico ambito territoriale in cui esso è collocato; il secondo è invece relativo alla disponibilità di modellazioni analitiche dei fattori di pericolosità relative al territorio della Provincia di Roma realizzate dall'Università "Tor Vergata" all'interno di una attività di produzione di Piani di Protezione Civile Comunale. Oltre che per produrre dei risultati di merito, integrabili peraltro nei Piani in corso di redazione, il Modello è stato sviluppato anche per dare conto di come effettivamente i diversi contesti localizzativi condizionino l'effettivo stato di rischio a cui un bene è sottoposto, a partire dal suo stato di conservazione corrente.

Il rischio è determinato attraverso tale Modello utilizzando un approccio di tipo *multi hazard* (o "*cross-cutting risks*" o "rischi interdisciplinari") tenendo conto dell'interazione di potenziali eventi indipendenti.

Il Modello è stato sviluppato in riferimento al dominio "Statico - Strutturale" e per tale motivo prende in considerazione solo le informazioni relative allo stato di conservazione degli elementi costruttivi e decorativi dei Beni, mentre sono trascurate quelle inerenti gli impianti di sicurezza.

Per praticità di calcolo e senza correre il rischio di perdere informazioni, gli elementi costruttivi e decorativi sono stati riclassificati accorpando in un'unica classe elementi interni ed esterni dello stesso tipo, ottenendo in questo modo una suddivisione del bene secondo le otto classi di elementi prima elencati.

Il Modello è stato sviluppato in riferimento al II Livello di approfondimento del modulo

schedografico ICR; in mancanza di dati analitici censiti a questo livello, però, se ne è anche derivata una formulazione applicabile al I livello di approfondimento.

Il Modello è stato sviluppato, nella sua parte metodologica generale, con il supporto indispensabile del dott. Carlo Cacace, responsabile della banca dati del sistema informativo territoriale della “Carta del Rischio” ed è stato implementato in ambiente ARCInfo 7.

Per illustrare il modello sviluppato è necessario preliminarmente fornire un glossario dei termini di seguito utilizzati.

- **Classe di Danno (CL):** tipologia di danno da cui è affetta ciascuna componente di un Bene
- **Livello di Danneggiamento (LD):** descrizione della dimensione del danneggiamento, effettuata per mezzo dei parametri di Gravità (GR), Urgenza (URG), Diffusione (DIF)
- **Fattori di Pericolosità (FP):** eventi potenzialmente calamitosi agenti sul territorio all'interno del quale il Bene è collocato. Nel caso corrente si sono presi in considerazione 6 fattori: neve, ghiaccio, esondazione, frana, incendio e sisma
- **Valore di pericolosità (VP):** valore di pericolosità associata a ciascun Fattore in una data localizzazione; è suddiviso in 3 classi: 1 pericolosità alta, 2 pericolosità media, 3 pericolosità bassa; coincide con l'**Indice di Pericolosità (IP)**
- **Indice di Vulnerabilità Teorica (IVT):** propensione al danneggiamento che una singola componente di un dato elemento del Bene, già affetta da una determinata Classe di Danno, mostra rispetto ad un dato tipo di Fattore di Pericolosità. L'IVT è calcolato prescindendo dal Livello di Danneggiamento del Bene e dal Valore di Pericolosità. Per ciascun Bene l'IVT di ogni componente è rappresentato attraverso un codice posizionale di 6 cifre, ciascuna delle quali riferita ad una determinata pericolosità attraverso i valori 0 (non è vulnerabile), 1 (poco vulnerabile) e 2 (molto vulnerabile). Le posizioni rappresentano, rispettivamente, il pericolo: neve (1), ghiaccio (2), frana (3), esondazione (4), incendio (5) e sisma (6). $IVT = f(FP, CL)$
- **Indice di Rischio Potenziale (IRP):** indice di rischio derivato dalla combinazione di un dato livello di vulnerabilità teorica (VT) e di un dato valore di pericolosità relativa ad un singolo Fattore (VP). $IRP = f(VP, VT)$
- **Indice di Danneggiamento (ID):** indice sintetico calcolato, per ciascuna componente di ciascun elemento del bene e per ciascuna Classe di Danno, sulla base della Gravità, Urgenza e Diffusione rilevati
- **Indice di Rischio Effettivo (IRE):** indice di rischio derivato dalla combinazione di un dato valore di Rischio Potenziale ed un dato Indice di Danneggiamento; è calcolato per ciascuna componente di ciascun elemento del bene ed in relazione ad un singolo Fattore di Pericolosità. $RE = f(RP, ID)$
- **Matrice di Vulnerabilità Teorica (MVT):** matrice relativa al singolo Bene contenente il valore di Vulnerabilità Teorica calcolata per ciascuna componente di ciascun elemento, e per singolo Fattore di Pericolosità
- **Matrice del Rischio Potenziale (MRP):** matrice relativa al singolo Bene, riportante il Rischio Potenziale calcolato per ciascuna componente di ciascun elemento e per singolo Fattore di Pericolosità
- **Matrice del Rischio Effettivo per singola Componente (MRE_C):** matrice relativa al singolo bene, riportante il Rischio Effettivo calcolato per ciascuna componente di ciascun elemento e per un singolo Fattore di Pericolosità
- **Matrice del Rischio Effettivo Totale per singolo Elemento (MRET_E):** costituisce una sintesi, a livello degli Elementi, della MRE_C; la matrice riporta il Rischio Effettivo calcolato per ciascun elemento di un Bene e per un singolo Fattore di Pericolosità
- **Valore di Rischio Effettivo Totale del bene (RET):** costituisce una sintesi, a livello del singolo Bene, del MRET_T. Riporta il valore del Rischio totale calcolato per il singolo Bene ed un singolo Fattore di Pericolosità
- **Valore di Rischio Effettivo Globale del bene (REG):** costituisce una sintesi, a livello del singolo Bene, dei RET calcolati per ciascun fattore di Pericolosità

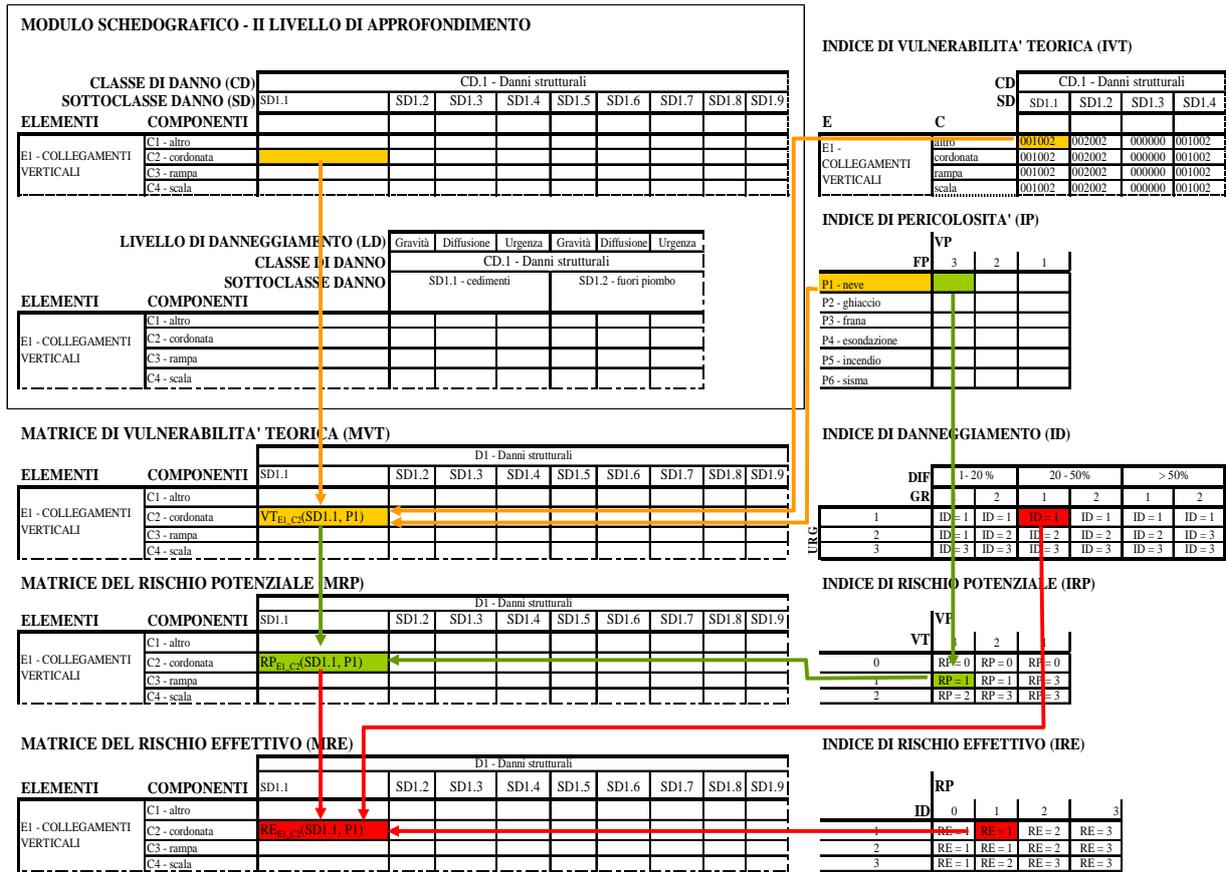


Figura 1 - Contenuto delle Matrici di calcolo e modalità di costruzione degli Indici

Il Modello assume in input: i dati contenuti nei Moduli Schedografici ICR, i dati relativi alla modellazione delle pericolosità di interesse, gli indici di riferimento.

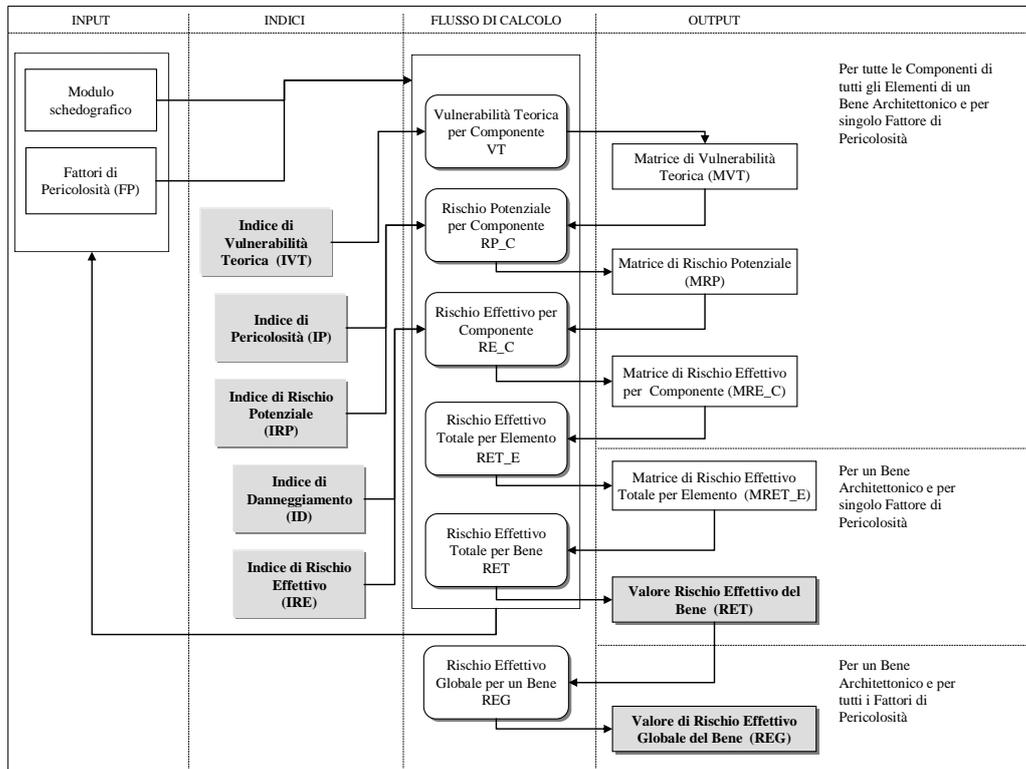


Figura 2 - Flusso Logico del Modello

Modalità di costruzione delle sintesi relative al rischio

Il procedimento che permette di arrivare alla definizione del valore di Rischio Effettivo Totale del bene j (RET_{B_j}) prevede una serie di operazioni di sintesi.

A partire dai valori di *Rischio Effettivo* calcolato per ciascuna componente strutturale (RE_{C_i}), per sottoclasse di danno e per singola pericolosità è necessario inizialmente calcolare il *Rischio Effettivo di ciascun Elemento* costruttivo o decorativo del bene (RET_{E_k}) per singola pericolosità e per tipologia di danno. Il RET_{E_k} risulta dal calcolo della deviazione standard dei valori assunti dal *Rischio Effettivo* di ogni componente strutturale (RE_{C_i}) appartenente all'elemento. Se il valore assunto dalla deviazione standard risulta essere sufficientemente basso (minore uguale a 0,5) allora il RET_{E_k} sarà pari alla media dei valori assunti dal RE_{C_i} , altrimenti, laddove si registri un valore di deviazione standard maggiore si pone il RET_{E_k} pari al massimo tra i valori assunti dal RE_{C_i} . Quanto appena detto è traducibile in formule nel modo seguente:

$$\text{se } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2}{n}} \leq 0,5 \quad \text{allora} \quad RET_{E_k} = M \quad \text{con} \quad M = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RE_{C_i}) \right]$$

$$\text{se } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2}{n}} > 0,5 \quad \text{allora} \quad RET_{E_k} = (RE_{C_i})_{\max}$$

dove M è pari alla media degli RE_{C_i} :

La deviazione standard dei valori di *Rischio Effettivo* assunti da ciascuna componente appartenente all'elemento costruttivo "collegamenti verticali" (E_1) risulta essere pari a 0,73; per quanto assunto in precedenza quindi, il valore del corrispettivo RET_{E_1} sarà pari a 3, valore massimo registrato tra gli RE_{C_i} . Nel caso invece dell'elemento costruttivo "coperture", per cui la deviazione standard assume il valore di 0,5, si può ragionevolmente assumere un RET_{E_2} pari a 2, approssimazione per eccesso della media degli RE_{C_i} (1,71). In generale, si ritiene opportuno effettuare una approssimazione per difetto qualora il risultato ottenuto sia minore a 0.5 ed una approssimazione per eccesso per risultati maggiori.

Una volta ottenuti, in maniera analoga, tutti i valori del RET_{E_k} relativi a ciascun elemento di cui si compone un Bene, è possibile procedere al calcolo del *Rischio Effettivo Totale* per il singolo Bene (RET_{B_j}) secondo modalità diverse.

Un primo modo di procedere prevede l'applicazione di "pesi", stabiliti a priori, da associare a ciascuna tipologia di danno (PD_1, PD_2, \dots, PD_m) e a ciascun elemento del bene (PE_1, PE_2, \dots, PE_k). Questo sistema di "pesi" deve essere identificato in maniera tale da riflettere la maggiore o minore importanza che le diverse informazioni utilizzate debbano avere nel calcolo del *Rischio Effettivo Totale* (RET_{B_j}) del bene in esame. La formulazione analitica del *Rischio Effettivo Totale* per il singolo Bene è la seguente:

$$[RET_{B_j}]_p = \left[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M PD_m \left(\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (RE_{E_k})_m \cdot PE_k \right) \right]_p$$

Con $K = 1, \dots, 8$ numero di elementi del bene;

$M = 1, \dots, 6$: tipologia di danno;

$P = 1, \dots, 6$: specifica pericolosità.

Il *Rischio Effettivo Totale* del Bene nel suo complesso è dunque pari alla media pesata dei valori del Rischio Effettivo di ciascun elemento.

È anche possibile adottare sistemi di pesatura parziali riferiti o ai soli Elementi del Bene o ai soli Fattori di Pericolosità.

Nel caso invece non si utilizzino pesi, il valore di RET_{B_j} risulta uguale alla media dei valori di RET_{E_k} calcolati per i diversi elementi che compongono il Bene.

$$[RET_{B_j}]_p = \left[\sum_{i=1}^n (RET_{E_k})_i \right]_p$$

Analogamente a quanto concerne il calcolo del *Rischio Effettivo Totale* di un bene, il *Rischio Globale* del j-esimo bene si definisce attraverso la sommatoria dei $RET_{B_{jp}}$ relativi alle diverse pericolosità:

$$RG_{B_j} = \sum_{p=1}^6 (RET_{B_j})_p$$

Applicazione

Il Modello è stato testato su quattro beni architettonici scelti tra quelli attualmente schedati dall'ICR attraverso il Modulo A - Unità Edilizia Storica: la Chiesa Superiore del Sacro Speco (Bene 1), la Cappella di S. Gregorio Magno (Bene 2), la Chiesa Inferiore del Sacro Speco (Bene 3) ed il Monastero di S. Benedetto (Bene 4). Tutti sono ubicati nel Comune di Subiaco e costituiscono il complesso del monastero di San Benedetto (o del Sacro Speco). La scelta di tali Beni non è dettata da ragioni particolari; si è solo posta l'attenzione sulla possibilità di ottenere un Indice di Danneggiamento abbastanza differenziato per poter analizzare l'influenza che questa variabile ha sulla determinazione del Rischio. Dato che allo stato attuale del censimento solo l'1% delle schede è stata redatta al II Livello di approfondimento e che sul territorio della Provincia di Roma modellato dal punto di vista delle pericolosità attive non esistono Beni schedati a tale livello, l'implementazione del Modello è avvenuta nella formulazione derivata per il I livello.

Per ciascuno dei beni architettonici scelti, sono stati estratti dalle rispettive schede speditive ed organizzati in un database i dati inerenti allo stato di conservazione del bene e precisamente: il numero di elementi costruttivi o decorativi rilevati e i corrispondenti valori di gravità, urgenza, diffusione e tipologia di danneggiamento.

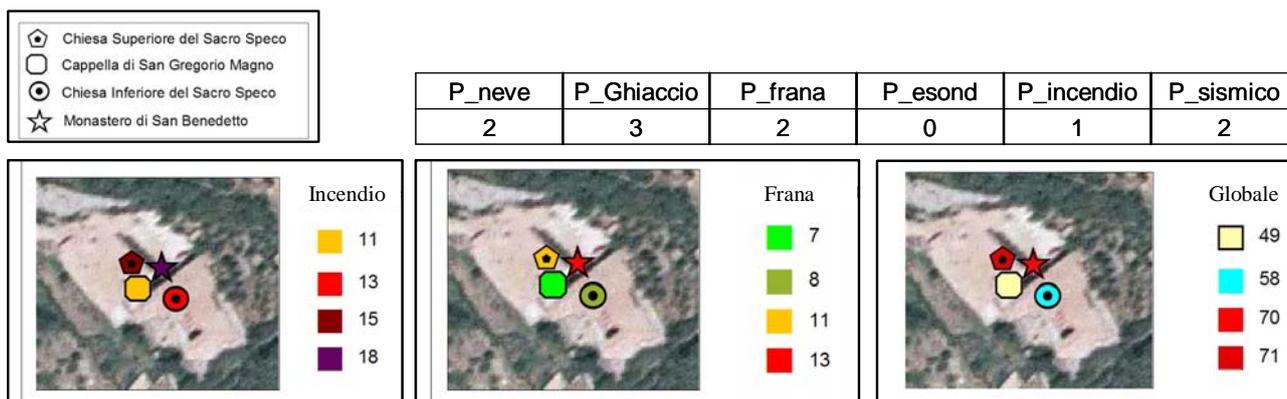


Figura 3 - Risultati relativi al RET e al REG dei Beni analizzati

Per dimostrare la dipendenza spaziale del valore di Rischio, i due Beni sono stati collocati in otto diverse localizzazioni casuali, caratterizzate ciascuna da un diverso Valore di Pericolosità dei Fenomeni presi in considerazione. Si è quindi proceduto alla applicazione del Modello in riferimento a tali valori, ottenendo i diversi otto valori di Rischio Effettivo Globale dei Beni.

La dipendenza dalla localizzazione spaziale del rischio si individua facilmente nella rappresentazione del *Rischio Effettivo Totale* relativo alle pericolosità "frana" e "incendio" in cui si nota come le localizzazioni 3 e 6, pur molto vicine tra loro, contribuiscano in maniera differente alla determinazione del rischio.

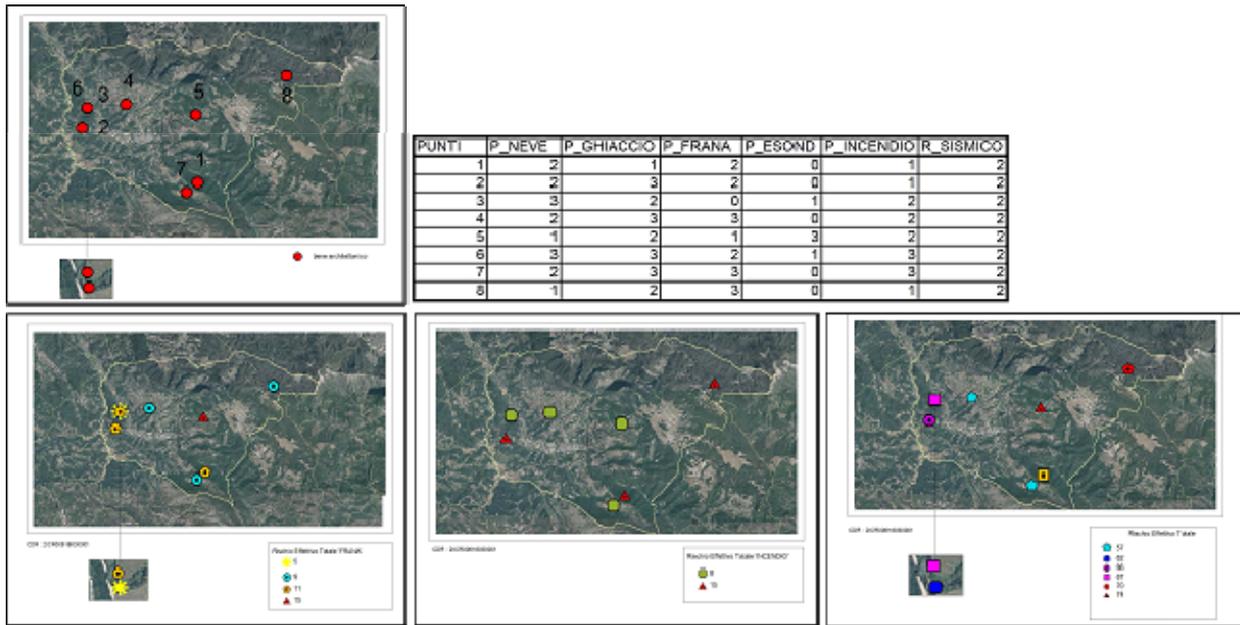


Figura 4 - Risultati relativi al RET ed al REG il Bene 1 nelle localizzazioni di riferimento

È inoltre evidente come per ciascun bene si ottenga un valore di Rischio Effettivo Globale diverso in funzione dei caratteri di Pericolosità propri di ciascuna delle localizzazioni ipotizzate.

Conclusioni

Il Modello sviluppato, seppur nella limitatezza dell'ambito di applicazione, sia dal punto di vista del Dominio di riferimento (statico strutturale), sia dal punto di vista del Livello di approfondimento, sia, infine, da quello della numerosità dei Beni trattati, dimostra come, data la disponibilità di informazioni relative alla distribuzione dei fattori di pericolosità agenti a livello territoriale, sia possibile pervenire ad una stima del rischio locale a cui sono sottoposti utilizzando l'enorme patrimonio informativo realizzato dal progetto MARIS.

L'utilizzazione diffusa di un tale Modello, pur non essendo ovviamente di utilità per la progettazione di interventi di recupero sui beni (che richiederebbe un complesso di cognizioni specifiche di natura completamente diverse da quelle qui trattate), permetterebbe tuttavia di identificare le parti di territorio da "mettere in sicurezza" al fine di tutelare l'integrità del patrimonio culturale esistente in stato di emergenza.

Attualmente è in corso di formalizzazione un analogo Modello applicabile al caso dei Beni Archeologici.

Bibliografia

Accardo G., Cacace C., (2001), "Activation of Peripheral Units and software process management", Il Sistema Carta del Rischio del Patrimonio Culturale, Ministero per i Beni e le Attività Culturali – Istituto Centrale per il Restauro, Roma: p 81

Accardo G., Altieri A., Cacace C., Giani E., Giovagnoli A. (2002), "Risk map: a project to aid decision-making in the protection, preservation and conservation of Italian Cultural Heritage", Conservation science 2002, pp 44-49

Accardo G., Giani E., Giovagnoli A. (2003), "The risk map of Italian Cultural Heritage", Journal of architectural conservation, n° 2 July 2003, pp 41-57.

Accardo G., Cacace C., Rinaldi R. (2005), "Il Sistema Informativo Territoriale della carta del Rischio", ARKOS – Scienza e Restauro dell'Architettura Nardini Editore Anno VI – Nuova Serie-Aprile/giugno 2005