

Archeologia e Calcolatori  
22, 2011, 365-389

## UN MODELLO MULTI-HAZARD PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DEI BENI ARCHEOLOGICI: IL CASO SPERIMENTALE DELLA VILLA ADRIANA DI TIVOLI

### 1. LA CARTA DEL RISCHIO COME STRUMENTO PRIMARIO NELLA TUTELA DEL PATRIMONIO CULTURALE

In ogni attività che presuppone il suo svolgimento nel futuro la programmazione si pone come strumento utile e indispensabile poiché consente di razionalizzare le azioni da svolgere, elaborando dei piani di azione, verificandone la realizzabilità, determinando le risorse necessarie e infine fissando tempi, modi e luoghi di azione. Con il D.Lgs. 29 ottobre 1999, n. 490 (Testo unico della legislazione in materia di beni culturali e ambientali) sono state unite e ordinate tutte le disposizioni inerenti la materia; in particolare per la prima volta si è espressa la necessità di creare un legame logico tra tutti gli interventi che possono interessare il patrimonio culturale – costruzione, recupero, ristrutturazione, restauro, manutenzione, valorizzazione – attraverso un quadro organico di interventi, nel quale ogni azione sia collegata funzionalmente alle altre; le stesse disposizioni sono poi riprese nel D.Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42.

L'urgenza che si è andata diffondendo negli anni di concertare le azioni dei vari soggetti che operano nella gestione e nella tutela del patrimonio culturale sicuramente non è estranea a una sempre maggiore consapevolezza dell'importanza che i beni di interesse storico rivestono nell'ambito dell'economia di un Paese; questi beni, quindi, non solo vanno tutelati e conservati al fine di garantire la salvaguardia della cultura e della storia di un Paese, ma anche in qualità di investimento di rilevanza nazionale. Ne consegue una diffusa e solida consapevolezza del *continuum* non solo teorico, ma operativo, tra tutela, conservazione, valorizzazione e promozione che deve caratterizzare tutte le azioni sul patrimonio culturale.

In generale il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio articola gli interventi conservativi in tre differenti tipologie: prevenzione, manutenzione e restauro, sebbene sia data una indubbia rilevanza alla necessità di una “conservazione programmata”, incentrata sugli interventi di prevenzione e manutenzione, che risultino non “aggressivi” e ripetibili e sia lasciato al restauro il ruolo di ultima risorsa cui ricorrere a danno avvenuto, quando cioè le condizioni di conservazione siano così aggravate da porre in pericolo l'esistenza stessa del bene; in particolare, nell'art. 29, comma 1 e 2 si stabilisce che «la conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro»,

laddove «per prevenzione si intende il complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto».

Resta inteso che per poter effettuare una conservazione programmata è di fondamentale importanza determinare il grado di Rischio di deterioramento del patrimonio culturale, da cui deriva la necessità di conoscere e monitorare le condizioni delle strutture ovvero la predisposizione a essere danneggiate (Vulnerabilità) e i fattori di Pericolosità a cui i beni sono esposti.

Nel contesto italiano, a fronte della quantità di beni culturali presente nel Paese e delle caratteristiche fisiche, geografiche e ambientali proprie del territorio nazionale, i primi tentativi di parlare attivamente della realizzazione di una “carta del Rischio” vengono intrapresi nella prima metà del secolo appena trascorso e il primo approccio sperimentale viene condotto con il “Piano per la conservazione programmata dei Beni Culturali in Umbria” (1976); piano che, in tal maniera, definì un concreto e innovativo passo in avanti nell’ambito della salvaguardia del patrimonio culturale attraverso quello che Cesare Brandi aveva prima ancora individuato nei termini di “restauro preventivo” (BRANDI 1956)

A questo primo esperimento a carattere regionale fece seguito, sebbene non immediatamente, la formalizzazione legislativa (Legge 84/1990) con la quale il governo promosse l’attuazione di una “carta del Rischio” su territorio nazionale e, concomitantemente, ne affidò la responsabilità scientifica all’Istituto Centrale del Restauro (ISCR) (BALDI, CORDARO, MELUCCO VACCARO 1987; ACCARDO, GIANI, GIOVAGNOLI 2003). L’attività di tale Istituto, dall’epoca della formazione a oggi, ha quindi avuto per oggetto la ricerca nel contesto della valutazione del Rischio e la redazione di linee guida. In particolare, tra queste ultime, di notevole interesse si sono dimostrati i moduli schedografici, preposti alla descrizione dello stato di conservazione di un bene e articolati in due livelli di approfondimento, di cui il primo (scheda sintetica) a carattere generico e il secondo (scheda analitica) molto più particolareggiato e dettagliato. Occorre osservare, inoltre, che gli stessi moduli sono stati sviluppati all’interno di due principali categorie (CAVAGNARO 1992), una mirata alla definizione dei beni storici (modulo A) e l’altra di quelli archeologici (modulo MA).

Nella sua attuale configurazione, il Sistema Informativo Territoriale della Carta del Rischio (ACCARDO, CACACE, RINALDI 2005) può essere definito come il più ampio sistema di banche dati, alfanumeriche e cartografiche, contenente i dati di un grande numero di beni distribuiti sull’intero territorio italiano. Al contempo, però, questo strumento ha la limitazione di non fornire un indice di Rischio; infatti la sperimentazione condotta finora attraverso il rilievo di numerosi beni e la conseguente individuazione di circa 200 variabili ha consentito di strutturare un sistema in grado di valutare con sufficiente precisione e completezza un indice di sola Vulnerabilità del bene esaminato.

Tale incompletezza è in parte ovviata mediante l'uso di processi di overlay mapping, i quali, mediante la sovrapposizione di cartografie informatizzate a contenuto tematico, consentono di mettere in evidenza il rapporto che intercorre tra Pericolosità ambientale esistente sul territorio e situazioni di rischio per i monumenti. È possibile, ad esempio, vedere come si sovrappongono le aree ad elevata Pericolosità statico-strutturale (a causa di terremoti, alluvioni, frane, etc.) con zone a più marcata presenza di monumenti.

Al di là delle incompletezze ancora da colmare, resta indubbio che il sistema Carta del Rischio sia il principale strumento di riferimento nell'ambito della tutela del patrimonio culturale ed è per questo motivo che negli anni molte regioni, spesso affiancate alle rispettive Soprintendenze, hanno intrapreso la strada aperta dall'Umbria, delineando piani locali e pervenendo a risultati più o meno esaustivi (GUERMANDI 2001 e da ultimo D'ANDREA, GUERMANDI 2008). Al momento attuale tra i progetti di maggiore interesse si può citare quello intrapreso dalla regione Sicilia e dalla regione Calabria (2006-2009), basato sulla scheda analitica dell'ISCR e finalizzato all'individuazione della Vulnerabilità di ogni singolo complesso rilevato, ma solo in relazione a un singolo fattore di Pericolosità, quello sismico (*Regione Siciliana* 2008). A partire dai dati delle schede di rilievo speditivo elaborate dall'ISCR, ponendo particolare riguardo all'analisi di alcune caratteristiche costruttive e ai cinematismi di danno, il progetto ha elaborato una carta della Vulnerabilità, articolata in tre livelli (alto, medio, basso), per un campione esemplificativo di 3.150 monumenti in Sicilia e Calabria. Sui beni rilevati, poi, sono stati approfonditi ulteriori aspetti relativi all'anamnesi sismica-costruttiva e al rilevamento della risposta di microtremiti al rumore ambientale.

Altresì, in ambito internazionale, tra le numerose esperienze intraprese in differenti Paesi, quella sviluppata a proposito di un'area archeologica in Egitto da un gruppo italo-egiziano e denominata "Mappa del Rischio dell'area archeologica nord di Saqqara" mostra un quoziente di maggiore approfondimento dei fattori di Pericolosità ambientale e antropica sia nel corso della fase mirata al censimento, archiviazione e organizzazione dei dati – tutti georiferiti – all'interno di un sistema informatico, sia nella fase dedicata all'analisi dei dati e all'elaborazione e sperimentazione di "modelli di gestione" del sito. Il catalogo digitale, realizzato durante la prima fase di studio, è stato prodotto con riferimento a tredici tombe, il cui rilievo di dettaglio dello stato di degrado dei dipinti murali è stato condotto in maniera indiretta, con sistemi fotogrammetrici (JEFFREYS, TAVARES 2000; AA.VV. 2003).

Il futuro della Carta del Rischio risiede nel potenziare le operazioni analitiche, che attualmente la caratterizzano e forniscono l'unico concreto strumento a sostegno delle decisioni di chi amministra il patrimonio culturale, con un sistema di valutazione del Rischio realmente completo e globalmente valido; a tal fine è necessario che il calcolo dell'indice di Rischio di ogni sin-

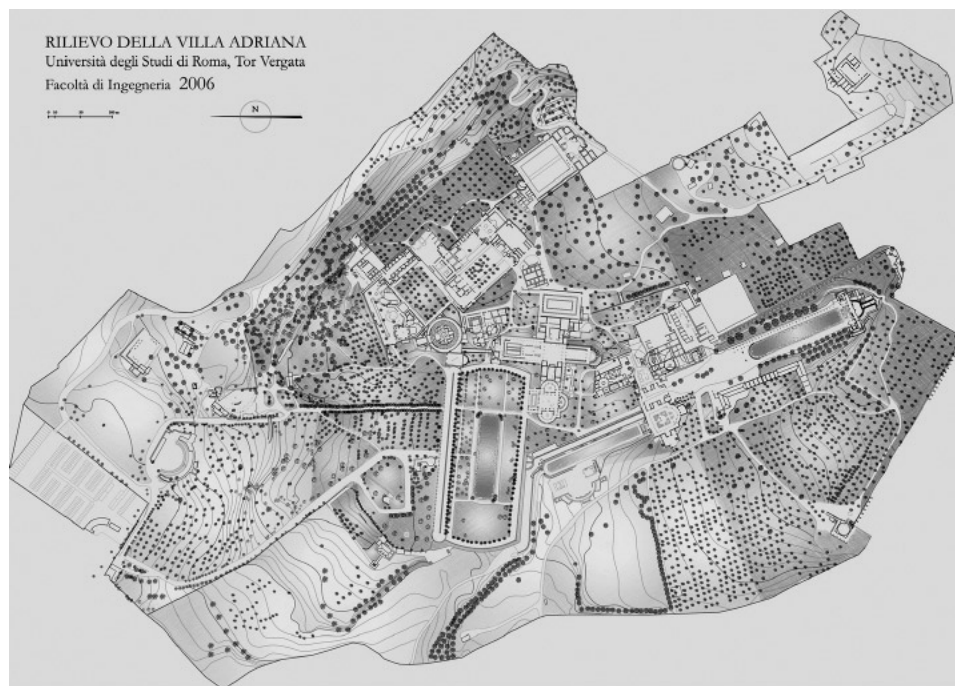


Fig. 1 – La pianta della Villa Adriana redatta dalla Facoltà di Ingegneria dell’Università degli Studi di Roma Tor Vergata.

golo bene non sia ottenuto attraverso processi di sovrapposizione tematica, bensì sia il risultato di operazioni di interazione tra i dati di Vulnerabilità e di Pericolosità. Concomitaneamente all’approfondimento delle relazioni tra i fattori di Pericolosità e la Vulnerabilità dei singoli beni, è un importante obiettivo da raggiungere la specializzazione nella metodologia del rilevamento dello stato di conservazione e, dunque, della Vulnerabilità del rudere e delle aree di interesse archeologico.

Al fine di portare a una sostanziale evoluzione del progetto Carta del Rischio, colmando le mancanze appena esplicate, è stato sviluppato un algoritmo di risoluzione che mette a confronto la Vulnerabilità del bene – definita al massimo livello di approfondimento – con i valori probabilistici di accadimento delle Pericolosità – valutate su scala locale e non globale – individuabili nel sito in cui è localizzato il bene stesso.

Nel caso che si presenta, inerente alla carta della valutazione del Rischio della Villa Adriana a Tivoli, dopo aver acquisito i dati pertinenti a ogni complesso mediante tecniche dirette e indirette di rilevamento è stato strutturato un modello logico di calcolo del Rischio, adeguato a ricevere dati caratteriz-

zati dal massimo livello di approfondimento, e un archivio digitale in ArcGIS entro cui i dati sono stati georeferenziati e ordinati. Questa procedura ha visto la trasformazione delle geometrie vettoriali in elementi topologici poligonali (CATTANI, FIORINI 2004) e la creazione di una tabella degli attributi (FAT), contenente i dati alfanumerici associati a ogni elemento geografico. Nello specifico per ogni muratura sono stati prodotti due diversi livelli informativi, l'uno contenente i dati relativi allo stato di danneggiamento e l'altro le informazioni in merito ai materiali e alle tecniche costruttive. Si tratta, quindi, di un esperimento innovativo in quanto viene affrontato il calcolo del Rischio a un livello dettagliato e rigoroso nonché applicato a un'area archeologica estesa su di una superficie due volte più grande di quella occupata dal sito della Pompei imperiale (Fig. 1).

## 2. LE FASI DEL RILEVAMENTO E DELLA CATALOGAZIONE DEI DATI

Il rilievo dello stato di fatto, quando è condotto con rigorosa aderenza alla realtà strutturale, materica e geometrica dell'opera, rappresenta un documento storico unico, testimonianza accurata di una situazione irripetibile, in quanto transitoria, dell'opera; allo stesso tempo, poi, è interpretazione, quanto più possibile oggettiva e rigorosamente logica, del bene stesso. In uno stesso elaborato, quindi, sono contenute tutte le informazioni sulla reale condizione del bene nel tempo  $t_0$  in cui il rilievo è stato svolto; condizione, questa, estremamente labile, poiché già nel momento  $t_0 + \delta$  (laddove l'intervallo temporale  $\delta$  può essere sufficientemente breve) ha subito dei mutamenti se non macroscopici, almeno fisicamente concreti e allo stesso modo nel tempo  $t_0 - \delta$  le caratteristiche del bene rilevato possono essere più o meno difformi da quelle descritte nel rilievo.

Al di là di queste considerazioni, è evidente che, per quanto labile, il rilievo di un bene costituisce il fondamento per ogni operazione di studio che cerchi di comprendere i processi che hanno condotto la struttura ad assumere la conformazione che le è propria nel momento attuale, non solo nell'ambito della conoscenza dei processi progettuali che hanno guidato l'ideazione e la costruzione della struttura, ma anche di tutti quei processi di deterioramento, comprensivi dei meccanismi genetici ed evolutivi, delle cause prime e di quelle indotte (CINQUE 2009).

L'approccio conoscitivo dell'organismo architettonico deve, pertanto, avvalersi sia delle fonti dirette – entro cui è possibile annoverare le fonti epigrafiche, l'analisi tipologica, la lettura e l'analisi dell'apparecchiatura muraria e degli elementi costruttivi, le indagini metrologiche, modulari e proporzionali, gli studi degli apparati decorativi, le indagini strumentali conoscitive, gli esami sui materiali costitutivi, la lettura stratigrafica – sia delle fonti indirette, che comprendono tutte le testimonianze scritte, comprese nell'ambito della trattatistica, e iconografiche (Fig. 2).

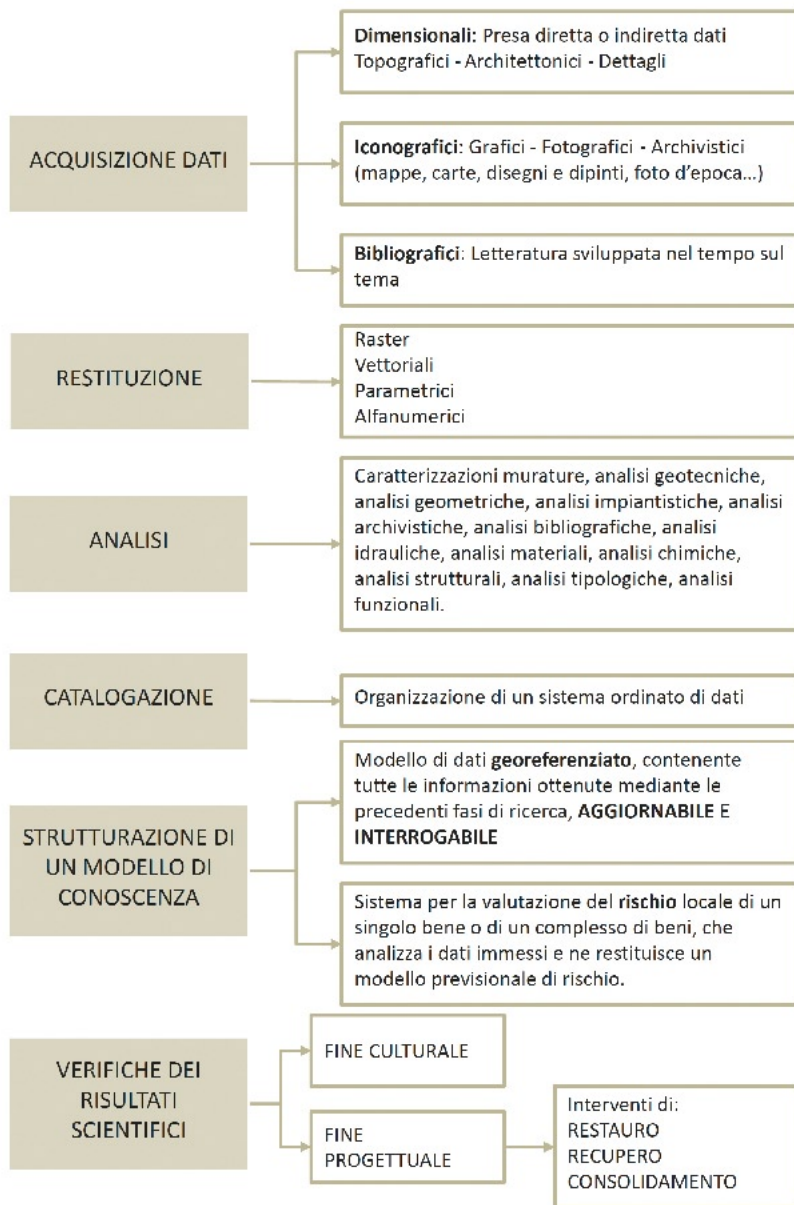


Fig. 2 – Diagramma delle operazioni svolte per lo studio e la valutazione del rischio dei beni rilevati nella Villa Adriana.





Fig. 3 – Immagine del terrazzamento su cui è costruito il Pecile e il cui muro di sostegno è realizzato con un complesso di camere note come Cento Camerelle.

Tale maniera di procedere è stata adottata per la definizione e la conduzione del “Progetto RiVA”, nel cui ambito si è cercato di strutturare un metodo sperimentale di conoscenza della Villa Adriana di Tivoli. All’interno di tale progetto il rilievo della celebre Villa (CONTINI 1751; LANCIANI 1906; MAC DONALD, PINTO 1995), fatta costruire dall’imperatore Adriano alle pendici dei Monti Tiburtini, occupa un ruolo di primo piano, in quanto diventa strumento di base per la focalizzazione dei temi delle ricerche specialistiche da affrontare all’interno di un sito archeologico la cui complessità non è derivata, come avviene di sovente, da manomissioni alle strutture originarie indotte da differenti usi nel tempo, bensì è prevalentemente dipesa dall’impostazione progettuale attribuita all’intero insieme da Adriano stesso o dai suoi architetti.

La Villa Adriana, costruita nel corso dei circa venti anni dell’impero amministrato da Adriano (117-138 d.C.), non solo è composta da un insieme imponente di complessi monumentali che racchiudono una quantità a dir poco impressionante di frammenti di decorazioni pavimentali e parietali e di arredi marmorei di estremo pregio (DE FRANCESCHINI 1991; GUIDOBALDI 1994) ma è anche estesa su una porzione territoriale non inferiore a 120 ettari, di cui

esclusivamente la metà, di proprietà statale, può essere costantemente monitorata e conservata. L'intero insieme edificato, inoltre, è strettamente connesso al contesto territoriale in cui risiede: già a partire dall'impostazione originale il paesaggio era stato considerato come parte integrante dell'architettura e, come tale, rimodellato (Fig. 3). Non solo, quindi, un fondale naturale, ma una vera e propria natura artificciata, una quinta progettata per coesistere con le strutture edificate e per trasmettere ai fruitori immagini suggestive allo scopo di suscitare sbalordimento e, talora, disorientamento.

Lo stesso territorio, tra l'altro, a partire dal XVIII secolo è stato oggetto di notevoli operazioni di piantumazione – prevalentemente di uliveti, cipressi, faggi e querce, ma anche di rare essenze – che, ancor oggi, non solo sono ben visibili all'interno dell'area archeologica, ma che ne costituiscono sia una particolare attrattiva, sia un interessante aspetto di indagine nel contesto della botanica. Solo attraverso queste brevi informazioni appare nella sua imponenza la difficoltà di elaborare soluzioni adeguate alla conservazione di tale immenso insieme di opere; se a tutto ciò, inoltre, si aggiunge una gran quantità di vari interventi conservativi eseguiti nel tempo – molti dei quali lesivi per le opere in quanto realizzati a fronte di una conoscenza limitata e, talvolta, utilizzando materiali di non eccellente qualità – si possono percepire appieno gli ostacoli che si oppongono alla programmazione di opere di conservazione e, conseguentemente, di valorizzazione della villa imperiale tiburtina.

Emergono, quindi, i motivi che hanno indotto la Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio a stipulare una convenzione con la Facoltà di Ingegneria di Tor Vergata mirata a ottenere un supporto di dati corretti e aggiornati dell'intera area demaniale della Villa. A partire dal 2002, il gruppo di Disegno della Facoltà di Ingegneria di Tor Vergata, guidato dalla prof.ssa G.E. Cinque, ha intrapreso le operazioni di rilevamento architettonico generale della Villa, concluse nel 2006 con la pubblicazione della pianta aggiornata della parte demaniale (ADEMBRI, CINQUE 2006), mentre, attualmente, sono pressoché al termine le fasi di rilevamento di dettaglio di ogni singolo complesso, comprensive della schedatura dei dati pervenuti e delle analisi multidisciplinari rivolte all'ottenimento di una conoscenza esaustiva (ADEMBRI, CINQUE 2010a, 2010b; CINQUE 2010; CINQUE, LAZZERI 2010; LAZZERI 2010). In questo momento, dunque, l'interesse è prevalentemente rivolto alla verifica del sistema informativo progettato e del relativo modello per la valutazione del Rischio.

La complessità planimetrica della Villa, la presenza di un tessuto connettivo sotterraneo, il quale è caratterizzato da un'articolata rete viaria pedonale e carrabile, la presenza di poderosi terrazzamenti realizzati per modellare il terreno al fine di creare ampi pianori che potessero essere utilizzati quali basi per gli edifici e per gli spazi circostanti, le molteplici innovazioni tecniche e tecnologiche poste in atto dai progettisti adrianei e lo stato di conservazione



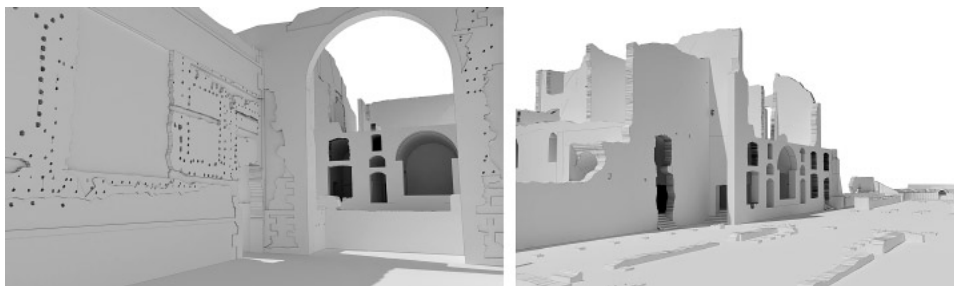


Fig. 4 – Immagini del modello virtuale dello stato attuale del complesso costituito dall’Edificio con Tre Esedre e Palazzo d’Inverno (rilievi e modellazioni svolte nell’ambito del Progetto RiVA, elaborazioni grafiche e rendering di E. Lazzeri).

delle strutture sono solo alcune delle condizioni che hanno richiesto l’adozione di differenti metodi e strumenti per l’acquisizione e la restituzione dei dati dimensionali e geometrici e che hanno reso indispensabile la progettazione ad hoc di un archivio in cui ordinare le informazioni prodotte all’interno di ciascuno dei settori disciplinari che hanno concorso allo sviluppo della ricerca.

Il rilevamento topografico e architettonico di tutta la Villa e del terreno su cui insistono i complessi è stato eseguito, quindi, con una notevole varietà di strumenti diretti e indiretti (fotogrammetria aerea e terrestre, scanner laser 3D, stazione totale, etc.) allo scopo di interpolare i dati ottenuti e di pervenire al minore errore possibile ed è stato restituito con il supporto di molte tecnologie informatiche tra cui, in particolare, software di tipo AutoCAD e di tipo parametrico 3D (Autodesk Revit) per i dati geometrici e dimensionali (Fig. 4), software sviluppati in ambiente VR e in ambiente image processing per l’elaborazione delle immagini e la restituzione delle ipotesi sviluppate circa lo stato originario delle opere (Fig. 5).

Tutte le informazioni ottenute in ogni singola fase di studio sono state catalogate secondo dei criteri preventivamente stabiliti (Fig. 6); nel caso degli elaborati vettoriali è stata adottata una classificazione degli enti geometrici mediante layer, nominalmente definiti da codici alfanumerici, facilmente inseribili e gestibili all’interno di un database. Le denominazioni attribuite ai layer sono univoche in modo tale che a ogni codice corrisponde un preciso significato e una classe di attributi; così facendo il catalogo di informazioni ottenuto alla fine del lavoro di rilievo risulta consultabile e aggiornabile da qualsiasi operatore, nonché esportabile su piattaforme informatiche diverse da quella in cui è stato creato, ad esempio da CAD a GIS.

Il sistema inizialmente concepito, quindi, è stato implementato con un “modello continuo del territorio”, ove per tale si intende un modello concepito in maniera di sfruttare appieno le possibilità derivabili dall’uso di un modello dati GIS (Fig. 7) (IOANNILLI, SCHIAVONI 2002); sistema, questo, che mantiene



Fig. 5 – Modello virtuale dell'ipotesi ricostruttiva delle decorazioni pavimentali e parietali di uno degli ambienti dell'Edificio con Tre Esedre (studi e elaborazioni grafiche di G.E. Cinque, E. Lazzeri).

RGB (239,203,101) Pantone 12 0735 TC	RGB (254,203,0) Pantone 13 0858 TC	RGB (252,121,0) Pantone 14 1159 TC	RGB (249,0,28) Pantone 17 1563 TC	RGB (198,12,48) Pantone 18 1763 TC	RGB (119,35,50) Pantone 19 1659 TC
Gr. 1, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 1	Gr. 1, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 2
RGB (214,227,66) Pantone 13 0650 TC	RGB (182,191,0) Pantone 14 0446 TC	RGB (156,145,0) Pantone 15 0545 TC	RGB (206,142,0) Pantone 15 0953 TC	RGB (189,9,25) Pantone 18 1354 TC	RGB (84,46,25) Pantone 19 1220 TC
Gr. 1, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 1	Gr. 1, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 2
RGB (143,223,226) Pantone 13 5313 TC	RGB (167,193,227) Pantone 15 910 TC	RGB (90,133,215) Pantone 17 4041 TC	RGB (42,110,187) Pantone 18 4141 TC	RGB (0,82, 47) Pantone 19 4050 TC	RGB (0,46,87) Pantone 19 4027 TC
Gr. 1, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 1	Gr. 1, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 2
RGB (197,229,164) Pantone 13 0220 TC	RGB (153,224,113) Pantone 14 0156 TC	RGB (115,175,85) Pantone 15 6442 TC	RGB (0,175,63) Pantone 18 6340 TC	RGB (0,122,77) Pantone 18 5653 TC	RGB (2,71,49) Pantone 19 5420 TC
Gr. 1, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 1	Gr. 1, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 2
RGB (235,170,185) Pantone 13 2010 TC	RGB (234,102,120) Pantone 17 1930 TC	RGB (222,69,97) Pantone 18 1755 TC	RGB (226,23,118) Pantone 18 2143 TC	RGB (167,16,85) Pantone 18 2356 TC	RGB (83,40,75) Pantone 19 3518 TC
Gr. 1, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 1	Gr. 1, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 2
RGB (209,212,211) Pantone 12 6704 TC	RGB (174,180,171) Pantone 15 4101 TC	RGB (129,138,143) Pantone 17 1501 TC	RGB (94,106,115) Pantone 18 0201 TC	RGB (118,106,101) Pantone 18 1306 TC	RGB (74,60,45) Pantone 19 0814 TC
Gr. 1, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 1	Gr. 1, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 1	Gr. 2, Deg. 2	Gr. 3, Deg. 2

Fig. 6 – Schema dei cromatismi scelti per la mappatura dello stato di danneggiamento.

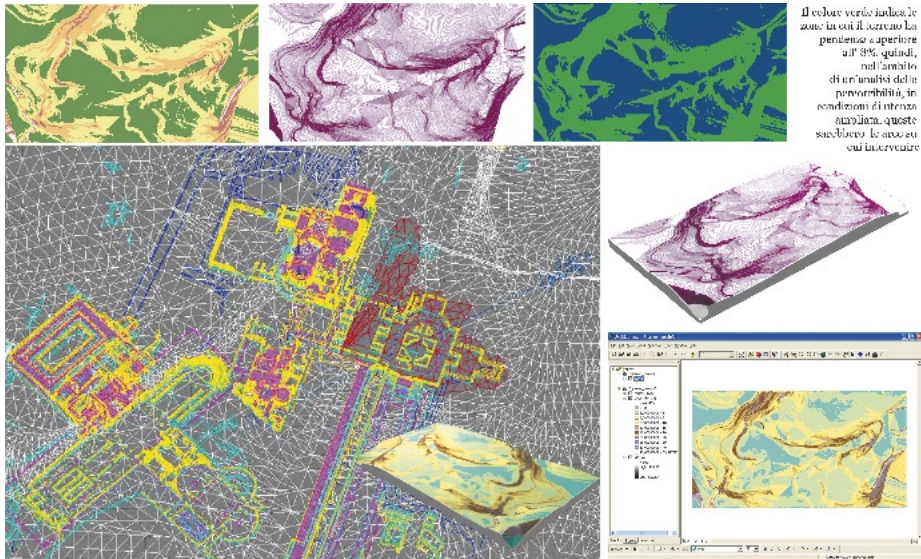


Fig. 7 – Modello digitale del terreno (DTM) e analisi dell'area compresa nei confini demaniali di Villa Adriana.

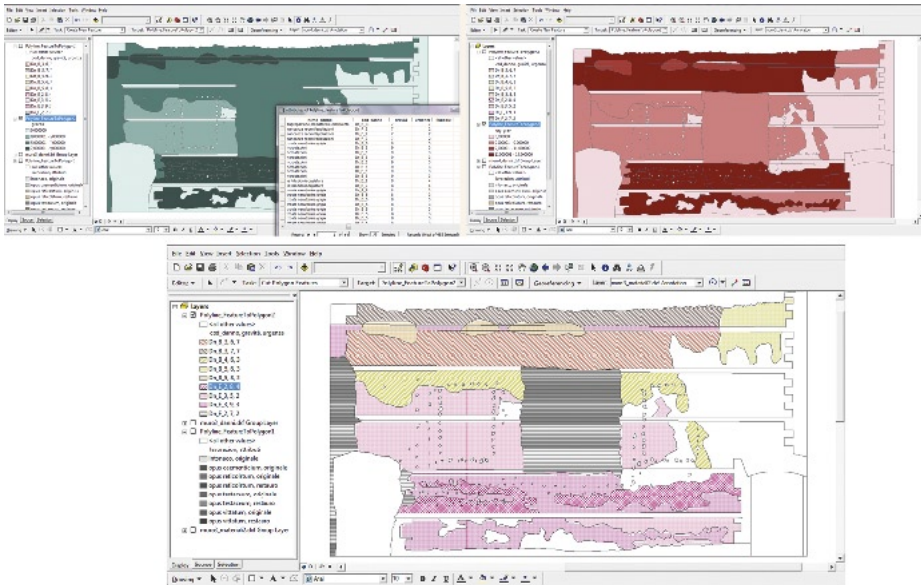


Fig. 8 – Analisi svolte, mediante l'uso di sistemi GIS, sulle classi di danneggiamento delle murature rilevate.





Fig. 9 – Modello digitale di elevazione a maglie triangolari (TIN) con il posizionamento del rilievo planimetrico della Villa Adriana.

tutte le relazioni presenti tra le informazioni archiviate, che offre contemporaneamente informazioni sul territorio senza che l'utente debba costruire di volta in volta un legame tra il rappresentato e i suoi attributi descrittivi e che presenta la reale efficacia nella capacità di produrre, mediante analisi quanto più approfondite possibili, nuovi livelli informativi non generabili in altro modo e con altri sistemi (Figg. 8-9).

Ad esempio, si è condotta l'analisi delle frequenze distributive e percentuali attraverso l'uso degli strumenti contenuti nel toolset Statistics. In particolare si è fatto uso dell'elaborazione Frequency per calcolare la frequenza associata alle categorie di valori contenuti in uno o più campi di una tabella FAT. Questa funzione ha consentito di eseguire importanti elaborazioni finalizzate alla comprensione della formazione e propagazione dei fenomeni dannosi. Utilizzando, infatti, lo strumento Frequency sui campi Nome\_danno, Materiale e Area si è valutata sia la distribuzione percentuale delle classi di danno rispetto ai diversi tipi di materiali posti in opera, sia quali siano le aree più a rischio in riferimento a determinati tipi di danneggiamento.

### 3. UN MODELLO MULTI-HAZARD PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DEI BENI ARCHEOLOGICI

Lo studio per l'elaborazione di un modello di analisi, in grado di integrare i dati di vulnerabilità che caratterizzano i beni in esame e l'ambiente in

cui sono inseriti, è stato avviato prendendo le mosse dalla “Carta del Rischio del patrimonio culturale” dell’ISCR. Sono state, quindi, inizialmente prese in considerazione le logiche messe a punto nel campo del reperimento dei dati e per la valutazione dei tipi di danni a cui le strutture sono soggette (analisi puntuale dell’estensione, della Gravità e dell’Urgenza delle forme di degrado) e sono stati adottati i criteri stabiliti per discretizzare un edificio monumentale nei suoi elementi di base (fondazioni, elevato, solai/coperture, collegamenti verticali, rivestimenti parietali e pavimentali), allo scopo di ottenere un indice di Vulnerabilità globale dell’intero bene che fornisca uno dei dati da cui partire per strutturare un modello di valutazione del Rischio. In particolare, nel modello di calcolo, la Vulnerabilità è intesa come una dimensione latente e misurabile indicativamente attraverso i vari aspetti del degrado, ossia definibile come la misura della fragilità o dell’impossibilità di un elemento di resistere al verificarsi di un dato evento calamitoso, in funzione delle proprie caratteristiche.

Dovendo dare una definizione di Rischio non generica, ma congruente all’ambito scientifico in cui si sta lavorando, facciamo riferimento al rapporto redatto dall’Unesco circa i fenomeni franosi (VARNES 1984), nel quale il Rischio è definito come la possibilità di una perdita (vite, funzionalità del territorio, beni mobili o immobili) ed è espresso in funzione della Vulnerabilità dell’elemento (misura della fragilità o dell’impossibilità di un elemento di resistere a un evento calamitoso), della Pericolosità (probabilità di accadimento di un fenomeno potenzialmente distruttivo, o in altri termini il livello di potenziale aggressività di una data area territoriale, indipendentemente dalla presenza o meno dei beni) e del valore, o valore esposto (l’insieme degli elementi a rischio presenti nell’area esposta all’evento).

Secondo quanto detto, dunque, in sintesi il Rischio ( $R$ ) è valutato mediante la relazione:

$$R = H \cdot V \cdot V_a$$

dove:  $H$  = Pericolosità (hazard),  $V$  = Vulnerabilità,  $V_a$  = Valore esposto.

La stima accurata della Vulnerabilità di una struttura è necessaria per stabilire quanta incidenza avrebbe il verificarsi di un evento pericoloso sulla conservazione del bene stesso. Quanto peggiore è lo stato di conservazione di un elemento, tanto maggiore è la sua Vulnerabilità a parità di Pericolosità; è evidente, infatti, che un muro interessato da un cedimento avrà una resistenza inferiore rispetto a una muratura staticamente efficiente, nel caso un’ingente nevicata imponesse alla struttura un carico accidentale elevato.

Trattando in termini generali il concetto di Vulnerabilità bisogna precisare che il danno indotto sull’edificio al verificarsi di un certo evento pericoloso può essere di varia natura: estetico, funzionale, strutturale.

Nel caso di analisi della Vulnerabilità per un bene immobile di tipo civile o per attività economiche a esso associate, questa può essere espressa



attraverso la perdita percentuale del valore economico conseguente al verificarsi del fenomeno franoso. Per i beni culturali, nella fattispecie per i beni archeologici e storici, non è possibile applicare il medesimo approccio a causa della difficoltà o impossibilità di assegnazione di un valore economico per tali strutture. Anche una stima della severità del danno basata sull'impegno economico necessario per il ripristino della situazione precedente al dissesto può essere di difficile definizione, a causa della non riproducibilità delle caratteristiche originarie del bene lesionato. L'elemento diagnostico, pertanto, sembra essere costituito esclusivamente dalla percentuale del bene a rischio perduto o danneggiato.

Allo scopo di procedere verso la valutazione del Rischio, quindi, il primo passo affrontato ha avuto per oggetto la determinazione di un Indice di Vulnerabilità Teorica (IVT), la cui stima è effettuata considerando l'estensione dell'effetto dannoso di un certo evento pericoloso sull'elemento strutturale considerato, nell'ipotesi che questo sia interessato già da un determinato tipo di danneggiamento. A questa prima operazione analitica ha fatto seguito la contestualizzazione del bene nel territorio in cui vive, territorio caratterizzato da una probabilità di accadimento, oppure dalla presenza, con una certa intensità, di determinati eventi pericolosi. Sono pertanto state considerate 17 Pericolosità: sisma, frana, esondazione, dinamica dei litorali, valanghe, eruzioni vulcaniche, neve, ghiaccio, incendio, subsidenza, erosione, annerimento, stress fisico, concentrazione di popolazione, pressione turistica, suscettibilità al furto, vibrazioni del traffico. Tali Pericolosità, a loro volta, sono classificate secondo i tre domini: strutturale, antropico e ambientale. Il modello ottenuto attraverso l'integrazione dei dati di Vulnerabilità con quelli di Pericolosità permette, quindi, di formulare valutazioni sull'effettivo Rischio del Bene relativamente a una o più Pericolosità (LAZZERI, IOANNILLI, CORCELLI 2008).

Il lavoro svolto ha, quindi, avuto come scopo primario quello di definire un algoritmo per il calcolo di un indice di Rischio in riferimento ai beni archeologici, così da integrare il sistema informativo della Carta del Rischio, nel quale è presente solo la definizione di un indice di Vulnerabilità. La ricerca, inoltre, è stata caratterizzata da un elevato grado di approfondimento sia nell'analisi della Vulnerabilità, sia nella valutazione locale (e non globale) del valore delle singole Pericolosità. A tale proposito, quindi, con riferimento alla valutazione della Vulnerabilità, le indagini sono state condotte in maniera capillare nel tentativo di sperimentare, in un caso complesso quale quello della Villa Adriana, le reali possibilità di applicazione delle voci comprese nella scheda al secondo livello di approfondimento prodotta dall'ISCR che, come dimostrato dalla letteratura (ACCARDO, CACACE, RINALDI 2005), al momento è stata adottata solo per l'1% circa dell'intera campionatura dei beni rilevati su territorio nazionale.

Il modello sviluppato per la determinazione del Rischio, quindi, è stato elaborato facendo riferimento alla scheda analitica presente nel modello schedografico MA (Monumento Archeologico), prodotto dall'ISCR e mirato al calcolo dell'indice di Vulnerabilità (CACACE, FERRONI 2006). Sempre dalle indicazioni dell'ISCR, fornite in merito alla classificazione e alla nomenclatura, sono state estrapolate le denominazioni degli elementi costruttivi (E) – scale e collegamenti verticali, fondazioni, pavimenti/rivestimenti, strutture in elevazione, solaio/copertura – e le loro sottoclassi, ossia le componenti strutturali (C), attraverso cui è possibile discretizzare il bene (B), e le pertinenti tipologie di danno – danni strutturali, disgregazione del materiale, umidità, alterazioni di origine biologica, alterazioni degli strati superficiali, parti mancanti – a loro volta articolate in 63 sottoclassi di danno.

Ugualmente dalla scheda di approfondimento MA sono stati desunti gli attributi con cui descrivere il danno, ossia la Gravità del danno (GR), il grado di Urgenza (URG) e la Diffusione (indicato con un valore percentuale); ciascuno di questi dati rappresenta un campo la cui compilazione è vincolata a un vocabolario chiuso. In particolare, la “Gravità del danno” è un indice che definisce l'impatto che il danno ha sulla stabilità della struttura, mentre la “Diffusione del danno” è un valore associato al livello di propagazione del danno che, a sua volta, è calcolato facendo riferimento all'elemento costruttivo ed espresso attraverso un valore percentuale; il “grado di Urgenza” è un indice mediante cui si identifica l'avanzamento del degrado e del danno esistente.

Infine, sempre dalla scheda di approfondimento MA, è stata presa in considerazione la sezione “coperture di protezione” e, in particolare, per l'implementazione del modello di valutazione del Rischio è stato necessario utilizzare le informazioni inerenti il tipo di protezione (copertura oppure barriera di confine), il tipo di struttura (copertura tradizionale oppure tensostruttura), lo stato dei componenti della copertura (funzionante, non funzionante, inadeguato).

Ulteriori informazioni sono state desunte dai risultati ottenuti da A. CORCELLI (2008) nel corso degli studi svolti in merito alla valutazione della Vulnerabilità dei siti storici in riferimento solo a 5 Pericolosità strutturali (neve, ghiaccio, frana, esondazione, incendio).

Tenendo conto di tutte le informazioni brevemente esposte è possibile illustrare il modello logico elaborato. Il primo passo dell'analisi ha avuto per oggetto il calcolo della potenziale Vulnerabilità per ciascuna componente C, facente parte di un dato elemento costruttivo o decorativo E di un bene B, rispetto alle 17 Pericolosità considerate e ipotizzando che la componente C sia, di volta in volta, caratterizzata da una delle tipologie di danno. La Vulnerabilità di ogni elemento strutturale viene identificata da un codice posizionale di 17 cifre, ciascuna delle quali è riferita a una Pericolosità con valori espressi in forma numerica da 1 a 10. Il valore della Vulnerabilità può

essere incrementato o diminuito in relazione alla presenza di un sistema di protezione.

In funzione dello specifico soggetto della ricerca inerente beni archeologici, ossia manufatti spesso frammentari e comunque il più delle volte privi di intere porzioni strutturali e, come tali, particolarmente sensibili alle quotidiane azioni dei semplici fattori climatici, quali la pioggia, il vento e le variazioni di temperatura, è stato necessario porre particolare attenzione sulle coperture di protezione, inserendole tra i dati da valutare nel modello, e incrementando o diminuendo il valore della Vulnerabilità in relazione alla presenza o meno di un sistema di protezione e alla funzionalità dello stesso.

Una volta stabilito l'Indice di Vulnerabilità, sono state inizialmente considerate le questioni attinenti il calcolo del Rischio Potenziale (RP) e successivamente quelle pertinenti il Rischio Effettivo (RE); in particolare il Rischio Potenziale è ottenuto mediante un processo di interpolazione dei dati di Vulnerabilità e quelli di Pericolosità ed è espresso, come gli altri indici, attraverso un valore numerico compreso tra 1 e 10.

Il Rischio Effettivo consente, poi, di migliorare i parametri del Rischio Potenziale attraverso l'inserimento di ulteriori informazioni riguardanti lo stato di conservazione dell'oggetto analizzato. Per ottenere la valutazione del Rischio Effettivo di una singola componente del bene in relazione a una data Pericolosità è necessario inizialmente pervenire alla definizione dello stato attuale di danno relativo alla componente stessa, ottenibile dai valori della Gravità (GR), del grado di Urgenza (URG) e della Diffusione del danno. Ponendo in relazione tali valori si perviene alla determinazione dell'Indice di Danneggiamento (ID), esprimibile con valori compresi tra 1 e 10, che definisce, assieme al Rischio Potenziale, il secondo parametro per ottenere il calcolo del Rischio Effettivo la cui stima consente di valutare ogni singola componente in relazione a una data sottoclasse di danno (RE\_Ci). Da questo ultimo valore, attraverso una serie di operazioni di sintesi, condotte, a seconda dei casi, con il metodo del calcolo della varianza o della media e ricorrendo, laddove necessario, all'uso di criteri decisionali, si perviene al Rischio Effettivo Totale di ciascun elemento per tipologia di danno e singola Pericolosità e, infine, al Rischio Effettivo Totale di un intero bene per singola Pericolosità, rappresentato da un vettore con 17 componenti (pari alle Pericolosità considerate).

Il modello elaborato prevede un'ultima implementazione per il calcolo del Rischio Globale del bene, che elimina la differenziazione tra le pericolosità, ovvero effettua una media tra i 17 valori che compongono il vettore del Rischio Effettivo Totale del Bene.

Tutti i processi descritti sono sintetizzabili in tre gruppi di operazioni:  
– le operazioni di calcolo, che comprendono tutti i processi eseguiti fino al calcolo del valore di Rischio Effettivo della singola componente; in questa fase analitica si è fatto uso di alcuni principi della Logica Fuzzy;

- la valutazione dei sistemi di protezione, che interviene nella prima parte del modello, e che può imporre una variazione nell'Indice di Vulnerabilità Teorica;
- le operazioni di sintesi, che a partire dal valore di Rischio Effettivo conducono, per fasi successive di accorpamento, al valore di Rischio Globale, calcolato per singola Pericolosità o per tutte le Pericolosità. In questa fase del sistema vengono impiegati dei criteri decisionali e alcune logiche elementari della Multi-Criteria Analysis (MCA).

L'utilizzo di alcune delle logiche che caratterizzano la MCA<sup>1</sup> (MALCZEWSKI 1999; ZARGHAMI, SZIDAROVSKY 2011) non è stato condotto nel modo più canonico e nemmeno è stato strutturato un sistema completo e complesso di MCA, ma si è piuttosto cercato di fare riferimento ai principi base di questa importante logica decisionale per trovare dei metodi che potessero essere usati nella sintesi di alcuni indici.

Nel sistema sviluppato i processi di analisi non possono essere eseguiti in perfetta aderenza con i metodi procedurali della MCA, in primo luogo perché l'uso di criteri non è associato al raggiungimento di un obiettivo, inteso come massimizzazione o minimizzazione di una variabile all'interno di un problema complesso, ma è legato alla necessità di sintetizzare un numero elevato di variabili applicando dei "filtri", in modo da ottenere risultati che siano indici veritieri della situazione reale. Nello specifico i metodi di analisi multicriteriale adottati nel modello di calcolo del Rischio sono costituiti sia da un sistema di pesatura elaborato sulla base di un'attenta valutazione dei diversi comportamenti dei materiali rispetto ai fenomeni dannosi a cui la struttura è soggetta, sia da un sistema valutativo utilizzato per differenziare il tipo di indice di Rischio – strutturale, decorativo o complessivo – calcolato dal modello; il sistema così strutturato permette di evitare che nel risultato finale vengano convogliati indistintamente tutti i dati, senza attribuire il giusto peso a quelle voci che invece forniscono un apporto indubbiamente più gravoso.

Diversamente l'utilizzo della Logica Fuzzy è stato applicato al calcolo di tutti gli indici compresi nella fase di calcolo (Rischio Potenziale, Indice di Danneggiamento e Rischio Effettivo). La decisione di fare uso di un approccio non molto diffuso nell'ambito della conservazione dei beni culturali (NICCOLUCCI, HERMON 2003), ma piuttosto impiegato nella creazione di sistemi di controllo e di supporto alle decisioni, nella programmazione di satelliti, nella

<sup>1</sup> Nella sua forma completa la MCA necessita inizialmente di un insieme di progetti o attività eseguibili e di una serie di obiettivi da raggiungere, l'avvicinamento ai quali è regolato tramite alcuni criteri, anch'essi definiti dal decisore. In un'ordinaria applicazione di MCA, l'analista deve creare un sistema che risolva i seguenti problemi: confrontare criteri misurati con unità diverse, decidere l'importanza relativa (priorità) dei diversi obiettivi, calcolare la soluzione ottimale una volta che i diversi criteri sono stati resi confrontabili e sono stati loro assegnati pesi diversi in relazione alle diverse priorità.

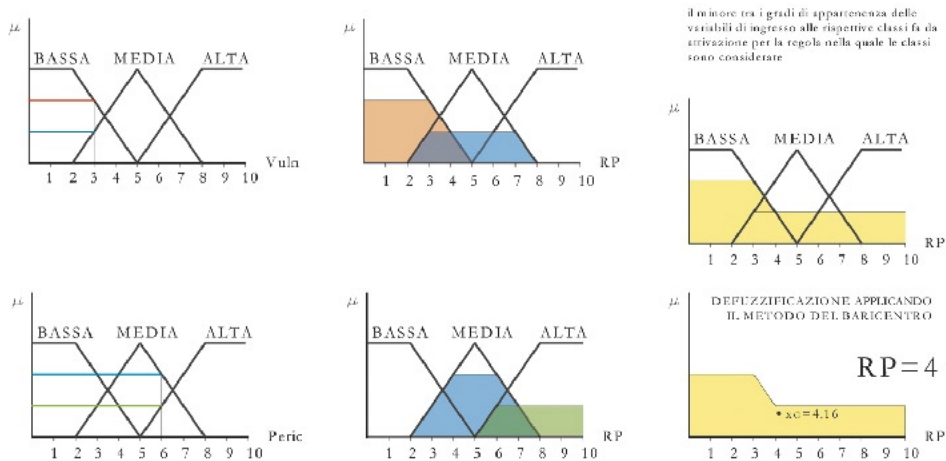


Fig. 10 – Fuzzy sets usati nel processo di fuzzificazione per il calcolo del valore di Rischio Potenziale.

progettazione di elettrodomestici e nell’ambito della produzione di macchine dotate d’intelligenza artificiale, è stata indotta dalla necessità di avere un sistema che fosse più versatile di qualsiasi sistema matematico potesse essere sviluppato in quest’ambito e al tempo stesso di non usare algoritmi complessi e non facilmente controllabili (KANDEL 1986; KOSKO 1994; HÁJEK 1998).

In particolare una delle prime difficoltà riscontrate nel modello per il calcolo del Rischio è data dal fatto che l’attribuzione di valori numerici ai vari parametri non è operazione immediata, in quanto per la maggior parte dei casi si deve fornire solo un’indicazione qualitativa e non quantitativa. In altri termini nel definire “bassa” la Vulnerabilità di un certo elemento architettonico, ad esempio un solaio, caratterizzato da una particolare condizione statica, rispetto alla Pericolosità neve, certamente è stata valutata la condizione di conservazione del solaio stesso, che evidentemente non presenta stati di danneggiamento tali da renderlo gravemente a rischio nel caso si verifichi l’evento pericoloso considerato. Allo stesso modo però si considera “bassa” la Vulnerabilità di un pilastro interessato da fenomeni di “instabilità” rispetto a una delle Pericolosità ricadenti nella classe di Pericolosità ambiente-aria, quale l’annerimento; è evidente, infatti, che uno stato di danneggiamento che interessa l’aspetto statico della struttura non predispone necessariamente il bene stesso a essere ulteriormente danneggiato a causa di alcuni particolari fattori ambientali. In sintesi la stessa valutazione del valore di Vulnerabilità può essere raggiunta considerando diversi parametri e la stessa valutazione non esprime, per quanto si possa sostituire il valore nominale “bassa” con uno numerico “1”, la complessità delle motivazioni sottese alla sua attribuzione.



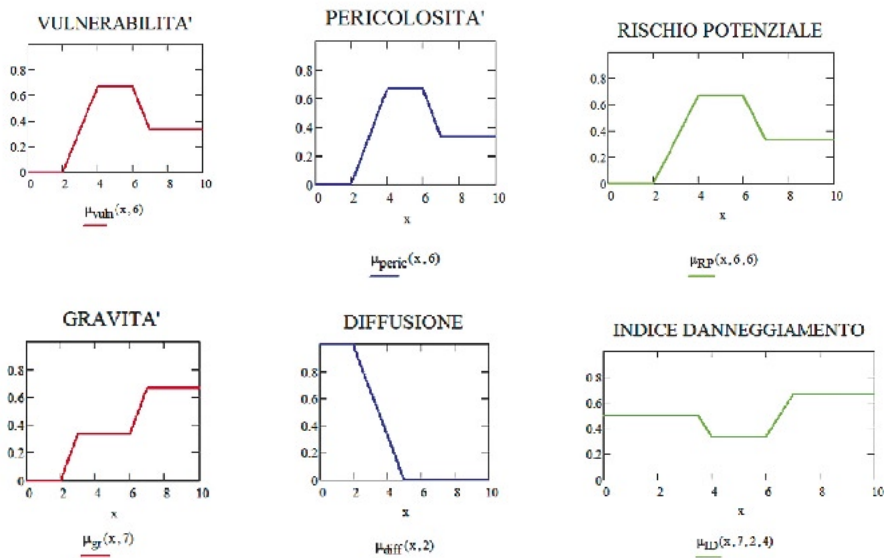


Fig. 11 – Operazioni di calcolo: elaborazioni attraverso i fuzzy sets per il calcolo del Rischio Potenziale e dell’Indice di Danneggiamento.

Quest’arbitrarietà aumenta nel momento in cui si sommano due valori, come nel caso in cui al valore di Pericolosità si affianca quello di Vulnerabilità per ottenere il Rischio Potenziale. In questo caso come in tutte le altre operazioni analoghe previste dal sistema configurato, si utilizzano dei cicli “if-then”, in cui si lega al verificarsi di una o più condizioni di partenza una conseguenza:

if “Vulnerabilità=bassa” and “Pericolosità=bassa” then “RP=basso”

E quindi, volendo attribuire un valore al concetto di basso, medio e alto, vista la forte approssimazione utilizzata per ridurre i tanti significati contenuti nel termine, è opportuno fare riferimento a una logica in grado di gestire un sistema che non sia noto con precisione, caratterizzato da molte variazioni parametriche e articolati obiettivi da raggiungere, in altre parole, la Fuzzy Logic.

Le interpolazioni eseguite nella fase di calcolo, quindi, si basano sull’uso di processi di fuzzification e defuzzification; in particolare si è scelto di usare delle funzioni di appartenenza ( $\mu$ ) triangolari e trapezoidali per tutti i valori in entrata – Vulnerabilità, Pericolosità, Gravità, Urgenza e Diffusione del danno – e si è stabilito un intervallo di valori tra 1 e 10 per indicare l’entità di tutti i parametri (Fig. 10-11). Il processo di defuzzification è stato eseguito utilizzando il metodo del baricentro, anche detto metodo del centroide o COG (Center Of Gravity), laddove il valore calcolato è l’ascissa del baricentro della

figura formata dalla funzione di appartenenza. Questo metodo è preferibile nei casi in cui si cerca la miglior soluzione di compromesso, poiché tiene conto anche dei contributi dati dalle regole meno influenti.

#### 4. I RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE CONDOTTA SU ALCUNI BENI CAMPIONE

L'efficacia del modello è stata valutata attraverso l'utilizzo dei dati derivanti dal rilievo diretto e dettagliato di alcuni beni campione – Sala dei Pilastri Dorici, Sala dei Filosofi, Muro di Spina del Pecile, Braccio sud-est delle Cento Camerelle, Edificio con Tre Esedre, Caserma dei Vigili – appartenenti alla Villa Adriana (Figg. 12a, b). Le strutture rilevate risultano costituite da 40 componenti strutturali, sulle quali sono state rilevate 212 aree di danneggiamento appartenenti a 11 diverse classi di danno. Il rilievo ha avuto per oggetto un'estensione superficiale di circa 5.287 m<sup>2</sup>, dei quali 3.002 m<sup>2</sup> sono risultati danneggiati. Grazie all'organizzazione di tutti i dati reperiti in una banca dati facilmente consultabile è stato possibile valutare con precisione quali siano le tipologie di danno più diffuse, nonché stimare l'estensione dei danni con maggiore Gravità e Urgenza.

Le analisi condotte hanno consentito di determinare che i danni più diffusi sono quelli che interessano gli strati più superficiali delle strutture. In particolare erosione, incrostazioni/concrezioni, disgregazione del materiale costituente rappresentano il 69% della superficie totale danneggiata e il 56% delle tipologie di danno complessive rilevate sulle strutture (Fig. 13); la qual cosa indica un'ampia diffusione sia numerica che areale di queste classi di danneggiamento. Per avere, però, un quadro più chiaro della situazione è opportuno valutare non solo la Diffusione superficiale del danno, ma anche gli altri due attributi che lo caratterizzano, ossia la Gravità e l'Urgenza. Questi due dati, infatti, permettono di stimare che il 78% dei danni rilevati presenta un'Urgenza di modesta entità, ma, di contro, il 92% degli stessi danni è caratterizzato da una Gravità medio-alta (Fig. 14). Questi dati, quindi, consentono di stabilire che le patologie dannose riscontrate sui beni usati come modello di riferimento si sono sviluppate in un arco temporale tanto lungo da determinare un'elevata Diffusione del danno e un'altrettanto ingente entità dello stesso, ma, parallelamente, questa genesi del processo dannoso non comporta un alto grado di Urgenza.

Le considerazioni fatte per i dati di danneggiamento sono valide anche per gli indici di Rischio, laddove è stata riscontrata una concentrazione di valori più elevati in riferimento ai fattori di Pericolosità appartenenti al dominio ambiente-aria. Questa distribuzione degli indici di Rischio appare coerente con le condizioni ambientali e con i dati di Vulnerabilità rilevati sulle strutture della Villa Adriana, in quanto l'ubicazione e l'esposizione della villa comportano una maggiore incidenza delle Pericolosità del dominio ambientale sul valore di Rischio Globale del bene. I grafici Rischio-Pericolosità mostrano una crescita

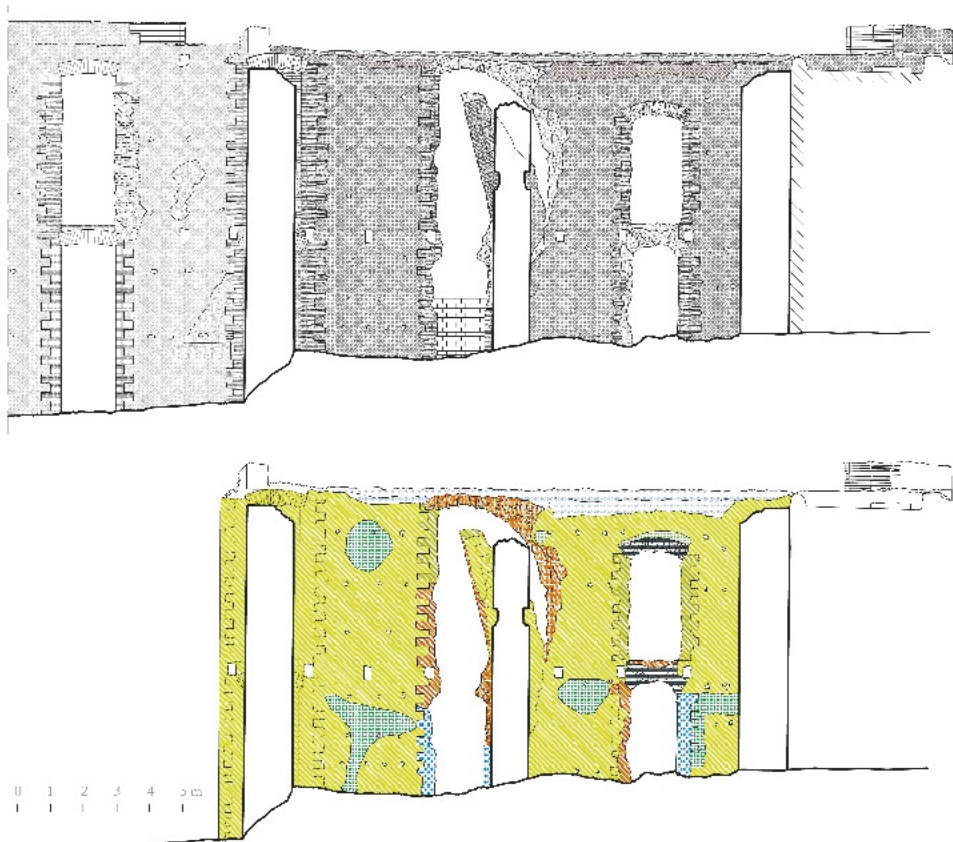


Fig. 12a – Restituzione del rilievo e analisi dello stato di danneggiamento del cd. Nodo-Cerniera delle Cento Camerelle.

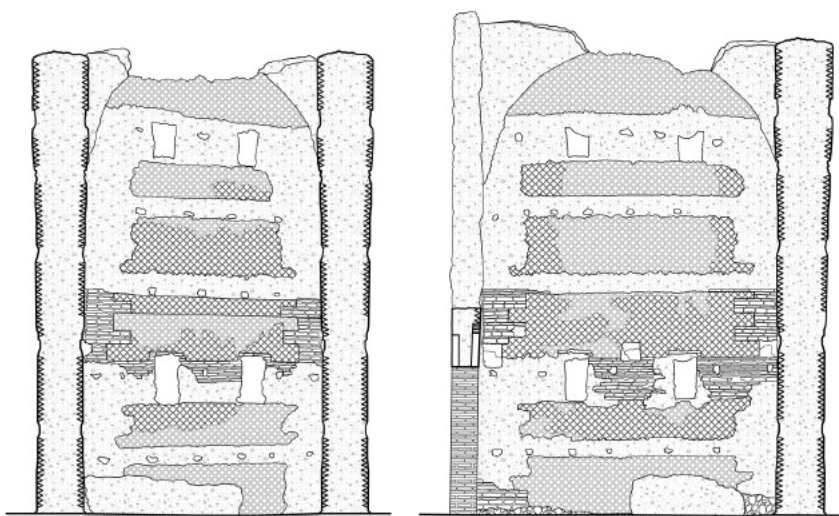


Fig. 12b – Rilievo e mappatura dei materiali di due murature della Caserma dei Vigili.

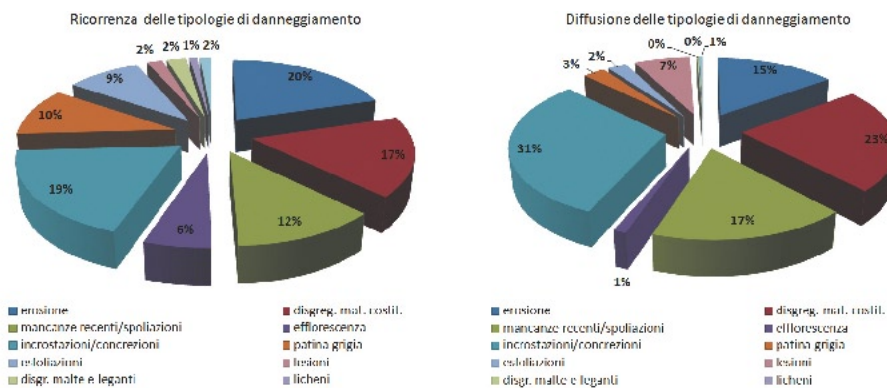


Fig. 13 – Diagrammi delle percentuali di Diffusione delle classi di danno.

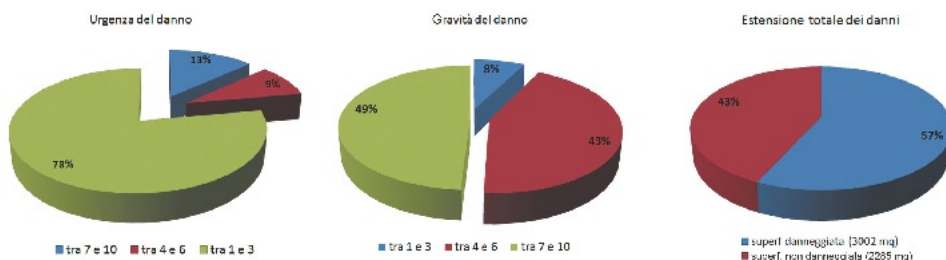


Fig. 14 – Diagrammi di estensione, Gravità e Urgenza dei danni.

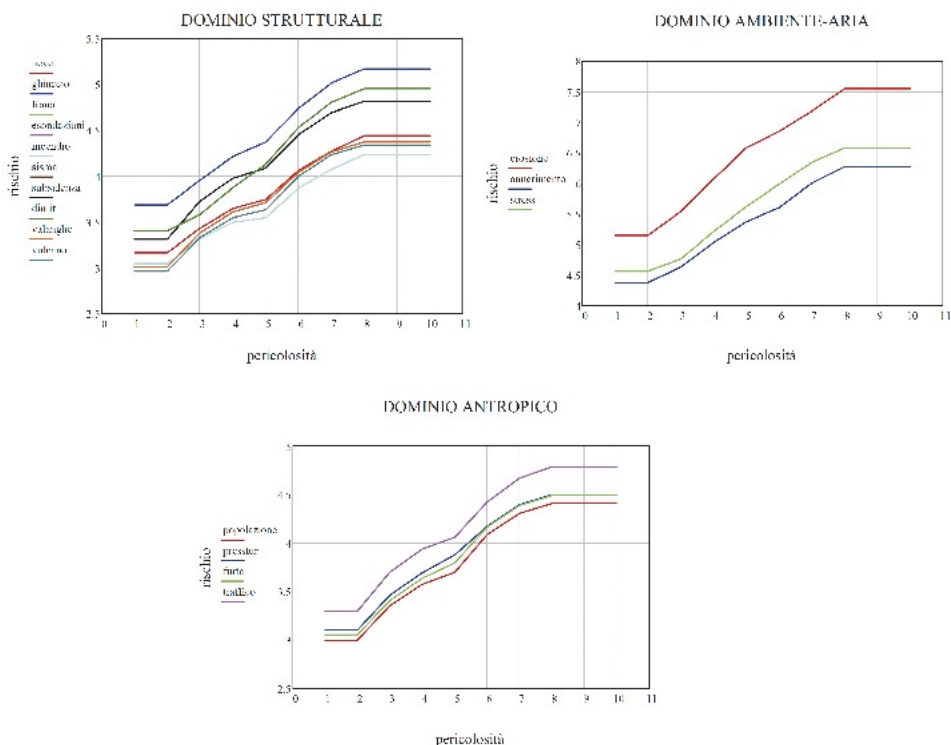


Fig. 15 – Grafici Rischio-Pericolosità in riferimento all'edificio denominato Sala dei Pilastri Dorici.

del valore di Rischio proporzionale a quello di Pericolosità; nello specifico, però, il massimo valore di Rischio riferito alle Pericolosità appartenenti al dominio strutturale e antropico è pari a 5, diversamente, per le Pericolosità del dominio ambientale, il valore massimo è pari a 8 (Fig. 15).

L'utilizzazione diffusa di un tale modello, se implementato con informazioni analitiche e puntualmente definite, ottenibili solo con una schedatura operata al massimo livello di approfondimento, rappresenterebbe un utile strumento nelle fasi iniziali della progettazione di interventi di recupero sui beni, ma soprattutto permetterebbe di identificare le parti di territorio da "mettere in sicurezza" al fine di tutelare l'integrità del patrimonio culturale esistente in stato di emergenza.

ELISABETTA LAZZERI

Dipartimento di Ingegneria Civile  
Università degli Studi di Roma Tor Vergata

#### BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. 2003, *Enhancement of the Organisation and Capabilities to Preserve Cultural Heritage Assets of Egypt. Risk Map for North Saqqara Site*, Handbook for the Environmental Risk Analysis, Pisa, Edizioni Plus.
- ACCARDO G., CACACE C., RINALDI R. 2005, *Il Sistema Informativo Territoriale della Carta del Rischio*, «ARKOS. Scienza e Restauro dell'Architettura», 6, 43-52.
- ACCARDO G., GIANI E., GIOVAGNOLI A. 2003, *The Risk Map of Italian Cultural Heritage*, «Journal of Architectural Conservation», 2, 41-57.
- ADEMBRI B., CINQUE G.E. 2006, *Villa Adriana, La Pianta del Centenario 1906-2006*, Firenze, Centro Di.
- ADEMBRI B., CINQUE G.E. 2010a, *La decorazione di un ambiente dell'Edificio con Tre Esedre*, in M. SAPELLI RAGNI (ed.), *Villa Adriana. Una storia mai finita*, Roma, Electa, 200-203.
- ADEMBRI B., CINQUE G.E. 2010b, *I rivestimenti in opus sectile della latrina del Giardino-Stadio*, in M. SAPELLI RAGNI (ed.), *Villa Adriana. Una storia mai finita*, Roma, Electa, 204-206.
- BALDI P., CORDARO M., MELUCCO VACCARO A. 1987, *Per una Carta del Rischio del patrimonio culturale: obiettivi, metodi e un piano pilota*, «Memorabilia: il futuro della memoria», 1, 371-388.
- BRANDI C. 1956, *Cosa debba intendersi per un restauro preventivo*, «Bollettino dell'Istituto Centrale del Restauro», 27-28, 87-92.
- CACACE C., FERRONI A.M. 2006, *La vulnerabilità dei monumenti e dei complessi archeologici: schedatura conservativa e calcolo dell'indice*, in M.C. LAURENTI (ed.), *Le coperture delle aree archeologiche-Museo Aperto*, Roma, Gangemi.
- CATTANI M., FIORINI A. 2004, *Topologia: identificazione, significato e valenza nella ricerca archeologica*, «Archeologia e Calcolatori», 15, 317-340.
- CAVAGNARO L. (ed.) 1992, *Strutturazione dei dati delle schede di precatalogo Beni architettonici e ambientali - edifici e manufatti Scheda A*, Roma, ICCD-MiBAC.
- CINQUE G.E. 2009, *Rilevare non solo misurare*, in G. FIOCCO, R. MORELLI (eds.), *Città e campagna: un binomio da ripensare*, «Annali del Dipartimento di Storia», 4, 185-202.
- CINQUE G.E. 2010, *Approcci preliminari allo studio della pianta della Villa Adriana di Tivoli*, «Romula», 9, 19-54.



- CINQUE G.E., LAZZERI E. 2010, *Roccabruna: un'architettura adrianea a immagine del Cielo*, in M. INCERTI (ed.), *Mensura Coeli. Atti dell'VIII Convegno Nazionale di Archeoastronomia*, Ferrara, UnifePress.
- CONTINI F. 1751, *Ichnografia Villae Tiburtinae Hadriani Caesaris olim a Pyrrho Ligorio*, Roma Typographia Apollinea.
- CORCELLI A. 2008, *Progettazione e sperimentazione di un modello di analisi multi-hazard per la valutazione del rischio locale dei beni storici*, Tesi di Laurea in Ingegneria Ambientale, Università degli Studi di Roma Tor Vergata.
- D'ANDREA A., GUERMANDI M.P. (eds.) 2008, *Strumenti per l'archeologia preventiva. Esperienze, normative, tecnologie*, Budapest, Archaeolingua.
- DE FRANCESCHINI M. 1991, *Villa Adriana. Mosaici, pavimenti, edifici*, Roma, L'Erma di Bretschneider.
- GUERMANDI M.P. 2001, *Rischio archeologico: se lo conosci lo eviti*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- GUIDOBALDI F. 1994, *Sectilia Pavimenta di Villa Adriana*, Roma, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato-Archivi di Stato.
- HÁJEK P. 1998, *Methamathematics of Fuzzy Logic*, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher.
- IOANNILLI M., SCHIAVONI U. 2002, *Fondamenti di Sistemi Informativi Geografici*, Roma, Texmat.
- JEFFREYS D., TAVARES A. 2000, *An integrated mapping project for the Saqqara plateau and escarpment*, in M. BÁRTA, J. KREJC' (eds.), *Abusir and Saqqara in the Year 2000*, Praha, Academy of Sciences of the Czech Republic, Oriental Studies, 27-32.
- KANDEL A. 1986, *Fuzzy Mathematical Techniques with Applications*, Reading, Addison-Wesley.
- KOSKO B. 1994, *Fuzzy Thinking*, London, Flamingo.
- LANCIANI R. 1906, *La Villa Adriana*, Roma, Tipografia della Regia Accademia dei Lincei.
- LAZZERI E. 2010, *Geometrie di progetto e di cantiere*, in G.E. CINQUE, E. LAZZERI, *Analisi geometriche e progettuali in alcuni complessi di Villa Adriana*, «Romula», 9, 55-84.
- LAZZERI E., IOANNILLI M., CORCELLI A. 2008, *Valutazione del rischio dei Beni Culturali: un modello di analisi multi-hazard*, «MondoGIS», 66/67, 19-25.
- MAC DONALD W.L., PINTO L.A. 1995, *Hadrian's Villa and its Legacy*, New Haven, Yale University Press.
- MALCZEWSKI J. 1999, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, New York, John Wiley and Sons.
- NICCOLUCCI F., HERMON S. 2003, *La logica fuzzy e le sue applicazioni alla ricerca archeologica*, «Archeologia e Calcolatori», 14, 97-110.
- Regione Siciliana 2008, *La carta del Rischio del Patrimonio Culturale Siciliano. Il Modello di studio alla scala locale. L'esperienza di indagine dei Waterfront di Catania, Messina, Palermo, Siracusa e Trapani*, Palermo, Regione Siciliana-Assessorato dei Beni Culturali, Ambientali e della Pubblica Istruzione.
- VARNES D.J. 1984, *Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practices*, Paris, Unesco.
- ZARGHAMI M., SZIDAROVSKY F. 2011, *Multicriteria Analysis*, Dordrecht, Springer Verlag.

## ABSTRACT

Compared with other objects of our cultural heritage, the various construction remains that belong to the ancient architectural heritage are generally associated with the most challenging problems with respect to their preservation. Difficulties and problems become unpaired when the ancient heritage is the assembly of several monumental constructions, as in the case

of the imperial complex constructed by Adriano in Tivoli, known as Hadrian's Villa. Under these circumstances, any risk analysis and subsequent study of preservation measures will require a two stage approach. In the first stage, a detailed knowledge of each single element or structure within the complex must be acquired. In the second stage the available knowledge pertaining to the various monuments must be combined and the entire complex combining the single architectural artifacts into a monumental unity must be re-examined with respect to its original status and its historical modifications. Hence a great wealth of information and a profound knowledge have been acquired on several monuments in this complex. Therefore, it is now possible to propose sound hypotheses on each one of these architectural artifacts as well as to propose an interactive data system for risk analyses and risk assessment with respect to the preservation of the complex. Taking the opportunity of the "Risk assessment map of the cultural heritage" compiled by the Central Institute for Restoration (ISCR), a research project was undertaken to develop an analysis model of the villa which would allow an estimation of the global risk of the various ancient structures. This project is based on the use of a GIS to develop a matrix of risk indexes as well as a database grouping all available information on the single monument. The development of this system will make it possible to cross reference the data acquired within the various fields of investigation involved in the survey phase, the preservation phase and the restoration process of each monumental unit and the complex as a whole.

