

La carta del rischio

La "Carta del Rischio" è un progetto realizzato dall'Istituto Centrale per il Restauro allo scopo di fornire ai responsabili della tutela del territorio e all'Amministrazione Centrale uno strumento tecnologico 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, di conservazione ed alla pianificazione urbanistica.

La rappresentazione cartografica del livello di rischio diventa allora un sintetico modo di visualizzare questa informazione di capitale importanza per la vita del patrimonio culturale ed un valido mezzo di pianificazione.

Il Sistema Informativo Territoriale, detto anche GIS (Geographic Information System), è oggi lo strumento tecnico informatico più adatto a raggiungere tale scopo, proprio perché permette di visualizzare, attraverso la produzione di rappresentazioni cartografiche tematiche, i fenomeni che si vogliono analizzare e conoscere nella dimensione territoriale e temporale.

Nello specifico lo strumento GIS messo a punto crea la possibilità concreta di produrre carte aggiornabili dei differenti rischi di perdita cui ogni singolo bene del patrimonio culturale nazionale è continuamente sottoposto. Non si deve dimenticare il ruolo fondamentale che in questo tipo di sistemi deve avere la raccolta e l'aggiornamento dei dati che devono essere utilizzati nell'elaborazione delle informazioni, perché l'intensità di rischio varia nel tempo in relazione allo stato di conservazione di ogni singolo bene ed è diversa in rapporto alle caratteristiche territoriali ed ambientali in cui il bene è collocato.

In tal senso il significato probabilistico insito nel concetto di rischio e la conoscenza acquisita da tutta la comunità scientifica sulle funzioni di danno che descrivono i processi di trasformazione fisico-chimica dei materiali costitutivi, ovvero i meccanismi di deterioramento dei beni, servono da guida e da filtro per selezionare dati utili e necessari al raggiungimento dello scopo, per determinare le modalità di raccolta dei dati, per sviluppare le procedure di analisi ed elaborazione delle informazioni, in generale per progettare l'architettura del SIT.

Tra il 1992 ed il 1996, l'ICR ha avviato la realizzazione del Sistema Informativo Territoriale denominato "MARIS" (MAppa RISchio), al fine di mettere a disposizione della Pubblica Amministrazione questa informazione che deve essere alla base della programmazione. Riferimento preferenziale sono le Soprintendenze del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, che svolgono attività di tutela, salvaguardia, conservazione e manutenzione sui Beni Archeologici, Architettonici, Artistici e Storici presenti sul territorio di loro competenza, ma anche tutte le altre Amministrazioni statali e locali interessate a questo tipo di problematica.

L'indirizzo metodologico che ha consentito lo sviluppo del MARIS è maturato, di fatto, nel corso degli ultimi 30 anni grazie alle esperienze vissute in tema di applicazione delle metodologie scientifiche, del controllo microclimatico ambientale e delle prove non distruttive alla conoscenza e alla conservazione dei beni. Infatti, ad integrazione o, per quanto possibile, in alternativa al restauro che interviene a danno avvenuto, questo indirizzo propone di sviluppare, attraverso l'intervento di conservazione e manutenzione dei beni, una strategia basata sulla prevenzione del danno.

La sua origine più lontana è nel concetto di "restauro preventivo", elaborato da Cesare Brandi nella "Teoria del Restauro", concetto che può avere un riscontro concreto solo nella prevenzione del processo di degrado attraverso il controllo dell'ambiente, del territorio e nella manutenzione programmata del bene.

Il progetto nasce in concreto da un'idea di Giovanni Urbani e raccoglie i contenuti metodologici sviluppati con "Il Piano Pilota per la Conservazione programmata dei Beni Culturali in Umbria" (1975), il primo esperimento di valutazione globale dei fattori di degrado esteso a un intero territorio, la cui validità si confermò drammaticamente in occasione dei terremoti del Friuli (1976), e dell'Irpinia (1980).

In un documento successivo redatto nell'ambito di "Memorabilia" (1987), intitolato "Per una Carta del Rischio del Patrimonio Culturale" è stata delineata l'iniziativa ed il progetto è stato avviato solo nel 1990, nell'ambito della legge 84/90 che, con 28 miliardi ha finanziato la realizzazione dell'impianto pilota, attribuendone all'ICR la responsabilità scientifica.

I processi informatici sviluppati con il Sistema Informativo Territoriale della "Carta del Rischio", permettono oggi di calcolare l'intensità del rischio di perdita cui è soggetto ogni bene monumentale e storico artistico appartenente al patrimonio culturale italiano e permettono di conoscerne la distribuzione sul territorio attraverso rappresentazioni cartografiche tematiche aggiornabili.

Che cos'è il Sistema Informativo Territoriale MARIS

Nella sua attuale configurazione il SIT MARIS raccoglie una prima, anche se incompleta, determinazione della consistenza, della tipologia e della distribuzione sul territorio del patrimonio culturale, almeno nelle sue emergenze.

È il più esteso sistema di banche dati, alfanumeriche e cartografiche, esistente oggi in Italia, in grado di esplorare, sovrapporre, elaborare informazioni intorno ai potenziali fattori di rischio che investono la configurazione materiale del patrimonio stesso.

Nel complesso si tratta di dati, documentazioni, catene di informazioni che, mettendo in evidenza, sia pure in termini generali, le situazioni di pericolo per i monumenti, costituiscono supporto per l'autorità politica ed amministrativa che deve pianificare, programmare e indirizzare i flussi finanziari per gli interventi di restauro e di manutenzione dei singoli beni.

L'apporto della statistica alla Carta del Rischio consente di considerare lo stato di conservazioni di ogni monumento collocato in un dato territorio non più o non solo come un fenomeno singolare o individuale, ma come un caso riferibile a una più vasta popolazione di monumenti aventi caratteristiche fra loro confrontabili e soggette a determinati fenomeni di pericolosità.

È dimostrato come ai fini delle scelte da operare in termini di tutela del patrimonio culturale e di prevenzione dai danni, sia determinante il poter usufruire di un supporto di dati ed informazioni tecnicamente affidabili e costantemente aggiornati.

La valutazione preventiva del rischio, la prevenzione dei danni e la conseguente riduzione dei possibili fattori di degrado sul patrimonio, si basano su una conoscenza dei fenomeni e dei beni da tutelare che deve essere sempre più approfondita.

La Carta del Rischio è una proposta di approccio sistematico e razionale alla conoscenza del rapporto esistente tra beni e territorio con la finalità ultima della prevenzione dei danni al Patrimonio della Cultura Italiana.

Architettura del SIT MARIS

Il modello di rischio adottato è stato determinante per il disegno dell'architettura del SIT Maris e la realizzazione del progetto. Conoscere il rischio di danno cui sono soggetti gli elementi di una particolare "popolazione statistica", significa mettere in relazione la quantità di danno che un evento produce su un determinato oggetto o individuo della popolazione considerata e la probabilità che quell'evento si verifichi.

Per applicare questo tipo di approccio al patrimonio culturale si sono dovuti considerare i "beni" storico artistici come le "unità" a rischio della popolazione di cui si deve calcolare il livello di rischio cui dette unità sono soggette.

Di conseguenza la realizzazione del MARIS è stata dimensionata assumendo come elemento minimo georeferenziale alla scala del bene (= unità statistica della popolazione considerata) di cui bisogna

calcolare il rischio di perdita, ed il comune come elemento minimo della scala territoriale (= unità territoriale) di cui bisogna quantificare i fattori di rischio.

Le tipologie di beni, come i dipinti su tavola, le tele, i reperti archeologici etc. (alcuni autori sostengono una suddivisione minima di 120 classi), in quanto beni mobili non geoferenziabili, sono state considerate associabili ad un bene/contenitore, che meglio risponde alla scala dimensionale su indicata.

Se si considera concretamente la varietà dei beni storico artistici che formano il patrimonio culturale italiano, che l'evento dannoso è l'effetto di un processo di deterioramento non scomponibile in eventi "elementari" esprimibili solo in termini probabilistici, che il meccanismo secondo cui avviene coinvolge un elevato numero di variabili legate tra di loro in modo articolato e complesso, è facile accorgersi che l'idea di un modello di Rischio rigorosamente statistico non è possibile in quanto bisognerebbe definire preliminarmente sia "l'evento" dannoso sia il "meccanismo probabilistico" che genera l'evento, ovvero il contesto "stocastico" in cui l'evento può avvenire.

Pertanto, poichè l'ambito storico artistico non consente una misura probabilistica del rischio, si è allora proceduto ad individuare le variabili fisiche e sociali che influiscono sul processo di deterioramento per utilizzare queste "grandezze" o "fattori" nel processo di quantificazione del rischio, ponendo in relazione funzionale il "Rischio" con i "Fattori di Rischio".

Da questo modello di rischio è derivata in concreto l'organizzazione logica del SIT MARIS. In altri termini la difficoltà di una misura puramente probabilistica del rischio ha portato in pratica alla costruzione di "Indicatori di Rischio" per esprimere la misura del livello di rischio attraverso indici di tale livello, indipendentemente da una loro possibile correlazione con una valutazione di probabilità vera e propria. Allo stesso modo la misura dei diversi "Fattori di Rischio" è stata espressa in termini di "Indicatori dei Fattori di Rischio".

In pratica i fattori di rischio sono stati suddivisi in due aree o componenti caratterizzate l'una dalla Vulnerabilità (V) del bene, ossia da una funzione che indica il livello di esposizione di un dato bene all'aggressione dei fattori territoriali ambientali, l'altra dalla Pericolosità (P) territoriale, ossia da una funzione che indica il livello di potenziale aggressione caratteristica di una data area territoriale, indipendentemente dalla presenza o meno dei beni.

In questo modo è stato possibile esprimere il Rischio in funzione di queste due componenti e misurarne l'intensità attraverso la misura delle grandezze fisiche che concorrono alla determinazione dei due parametri appena definiti.

Il tempo (t) e la localizzazione spaziale (x,y,z) delle grandezze fisiche considerate sono le altre variabili introdotte per poter conoscere la distribuzione spazio/temporale dei fenomeni che si vogliono analizzare e per consentire la rappresentazione geografica territoriale.

Oltre alla quantificazione delle grandezze fisiche che, caratterizzano i domini della vulnerabilità e della pericolosità, devono essere considerate nella loro interazione dinamica, nella loro diversa incidenza rispetto alle varianti tipologiche dei manufatti e nella determinazione dei differenti rapporti di scala per la rappresentazione delle informazioni e dei fenomeni, si è dovuto preliminarmente procedere alla quantificazione degli elementi costituenti il patrimonio culturale.

Il modello sopra descritto ci permette di esprimere il rischio come una funzione generale delle componenti di vulnerabilità, relative ad ogni unità della popolazione, e di pericolosità, relative ad ogni area territoriale su cui il bene può esistere:

$$R = R(V_1, V_2, \dots, V_m; P_1, P_2, \dots, P_n)$$

A tal fine sono stati individuati tre domini della Vulnerabilità V in funzione delle grandezze che caratterizzano lo stato di conservazione del bene rispettivamente per:

- l'aspetto della superficie V_1 ;
- le caratteristiche costruttive e statico/strutturali V_2 ;
- l'uso e la sicurezza V_3 .

Analogamente sono state individuate tre dimensioni della pericolosità in funzione delle grandezze che, governando i meccanismi di degrado, ne caratterizzano il dominio:

- i fattori climatici, microclimatici e gli inquinanti dell'aria sono stati utilizzati per descrivere il dominio ambientale/aria P₁;
- le caratteristiche geomorfologiche del suolo e del sottosuolo sono state prese per definire il dominio statico/strutturale P₂;
- le dinamiche demografiche e socioeconomiche sono state infine considerate per caratterizzare il dominio antropico P₃.

Il SIT MARIS, come tutti i sistemi informativi territoriali, integra dati alfanumerici con dati cartografici e consente il reperimento di tutte le informazioni anche per via della loro localizzazione geografica. Il SIT MARIS è stato realizzato utilizzando prodotti ESRI (ARC/INFO - ARCVIEW) per quanto riguarda la gestione della cartografia di base e la generazione delle carte tematiche e prodotti Oracle per la costituzione, gestione ed interrogazione della Banca Dati alfanumerica (Data Base Management System DBMS).

Tale sistema è vivo e modificabile, gestisce ed elabora informazioni e risultati che variano con la stessa velocità con cui variano i dati Territoriali: ciò vuol dire che il sistema prevede la possibilità di aggiornare i dati nella misura in cui questi vengono forniti dalle fonti riconosciute.

Il Sistema, realizzato secondo un'architettura modulare di tipo client-server è organizzato in un livello centrale (Polo Centrale) ed un livello Locale (Poli Periferici). Al Polo Centrale è affidata la funzione di analisi e di sviluppo dei modelli per gestire a livello nazionale informazioni e dati, sia cartografici che alfanumerici, in relazione a tutti i fattori di degrado che caratterizzano il Territorio e la consistenza e distribuzione dei beni.

Ai Poli Periferici è affidata la funzione di controllo e raccolta delle informazioni puntuali sullo stato di conservazione dei beni e, quindi, sulla valutazione della loro "vulnerabilità" nell'ambito territoriale di propria competenza (regionale, provinciale e/o comunale).

Il Polo Centrale della Carta del Rischio, che funziona come centro di elaborazione dei dati dell'intero sistema, è ubicato presso il laboratorio di Fisica dell'Istituto Centrale del Restauro.

Presso il Polo Centrale è stata elaborata una cartografia numerica di base che, permettendo una selezione dei livelli delle informazioni riportate (strade, fiumi, laghi, reti di comunicazione, curve di livello) a seconda delle scale di rappresentazione prescelte, costituisce la griglia di riferimento di tutte le elaborazioni, facilitando la comprensione e la lettura dei fenomeni sul territorio.

Stabilito come unità minima di riferimento del sistema l'ambito territoriale del comune, l'archivio permette di elaborare dati e statistiche per ognuno degli 8100 comuni italiani con aggregazioni successive provinciali, regionali e nazionali.

Attività del Polo Centrale e dei Poli Periferici

Al Polo Centrale è affidato il compito di:

- Raccogliere i dati riguardanti le grandezze che concorrono alla determinazione degli indici di pericolosità;
- Strutturare le basi dati alfa – numeriche, vettoriali e raster in un unico archivio di tipo relazionale finalizzato alla definizione degli indici;
- Realizzare i programmi di elaborazione per la generazione degli indici e delle carte tematiche;
- Sviluppare i modelli di simulazione e rappresentazione e, più in generale, eseguire le elaborazioni di sintesi;
- Elaborare le informazioni riguardanti gli indici che concorrono alla determinazione di detti parametri;

- Produrre le rappresentazioni cartografiche del rischio e dei fattori di rischio.

Ai Poli Periferici è affidato il compito di:

- Raccolta dei dati riguardanti le grandezze che concorrono alla determinazione degli indici di vulnerabilità del Patrimonio Culturale;
- Di controllo dell'evoluzione dello stato di conservazione del Patrimonio;
- Di verifica del livello di pericolosità locale.

La Banca Dati

Dopo un'attenta analisi delle fonti delle informazioni esistenti, si è provveduto alla raccolta sistematica, all'organizzazione e all'informatizzazione di un ricchissimo patrimonio di dati che afferiscono a quattro classi principali:

- Entità geografiche di base che caratterizzano il territorio Italiano;
- Entità anagrafiche identificative che determinano univocamente la consistenza e la distribuzione dei beni del patrimonio culturale;
- Entità che definiscono la natura del bene e ne definiscono lo stato di conservazione (vulnerabilità);
- Entità per definire l'intensità e la distribuzione dei fenomeni che caratterizzano la Pericolosità secondo aree Territoriali (al momento è considerata l'area delimitata dai confini amministrativi degli 8100 comuni italiani e, per alcune tematiche, dai confini delle 300.000 sezioni di censimento).

Nel reperimento delle informazioni sono state privilegiate le fonti dei dati che garantivano: l'omogeneità, la congruenza dei dati, la loro attendibilità anche in termini di aggiornamento e la diffusione sull'intero Territorio Nazionale. L'originalità del lavoro consiste nel fatto di aver messo insieme e razionalizzato, le conoscenze ad oggi disponibili presso le varie, fonti per tutti i fenomeni ambientali che provocano degrado sui monumenti o ne mettono in pericolo la conservazione, traducendole in un linguaggio informatico unitario.

Alla formazione ed all'aggiornamento della Banca Dati "MARIS" concorrono da una parte i dati acquisiti da Enti ed Amministrazioni che operano sul territorio con altri fini e compiti istituzionali dall'altra i dati acquisiti tramite la rete di rilevamento che opera presso i Poli Periferici. Pertanto, il sistema di raccolta ed aggiornamento dei dati è formato, da una rete mista di rilevamento costituita da gruppi di lavoro che utilizzano:

- Dati provenienti da banche dati già strutturate ed operanti;
- Schede catalografiche;
- Strumenti di misura da campo;
- Postazioni fisse ed unità mobili di acquisizione automatica.

La Cartografia

Al fine di pervenire alla rappresentazione cartografica delle informazioni e, più in particolare degli indici, è stata acquisita ed elaborata una cartografia di base utile all'indirizzamento geografico ed alla definizione topologica degli elementi da rappresentare per l'intero territorio nazionale.

Per poter appoggiare i dati e le informazioni georeferenziate il SIT MARIS utilizza una cartografia di base che permette rappresentazioni a diverse scale (1:200.000 per l'intero Territorio), ed è costituita dai seguenti livelli informativi geografici:

- Il reticolo dei limiti amministrativi regionali, provinciali, comunali fino alla sezione di censimento prodotto dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT). Su questi si sono costruiti i limiti amministrativi di competenza delle Soprintendenze;
- Il Piano quotato (DTM scala 1:25.000) per la descrizione orografica, prodotto dal Servizio Geologico Nazionale (SGN), da cui sono state derivate le curve di livello ogni 150 m.;
- dall'Il reticolo della cartografia al 25.000 al fine di utilizzare un'inquadramento noto e coerente nelle rappresentazioni di maggior dettaglio prodotto dall'Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI) e i relativi toponimi;
- Il reticolo stradale, idrico e ferroviario, le aree di bacino e lacuali, prodotto dall'Agenzia Nazionale del Patrimonio Ambientale (ANPA);
- Il reticolo stradale urbano (streetnet) e provinciale (roadnet) comprensivo dei toponimi prodotto dalla società Tele Atlas;
- Le ortofoto digitali scala 1:10.000 dell'intero Territorio Italiano prodotte dall'Azienda di Stato per gli interventi sul Mercato Agricolo (AIMA).

A partire da questa base geografica viene costruita la cartografia tematica utilizzando di volta in volta la scala più adeguata di rappresentazione: la scala 1:200.000, quando interessa analizzare fenomeni a livello dell'intero territorio nazionale; la scala 1:10.000 se l'interesse è rivolto a porzioni di territorio a livello regionale, provinciale, comunale e di sezione di censimento; la scala 1:500 fino ad 1:10 per conoscere tematiche relative al singolo monumento ed al suo stato di conservazione.

La Schedatura Conservativa

La Schedatura Conservativa prevede l'uso di due moduli schedografici principali rispettivamente per i beni architettonici e per i beni archeologici e più Moduli schedografici collegati ai due fondamentali.

Per ogni monumento sottoposto all'indagine viene redatto un apposito fascicolo suddiviso nelle seguenti sezioni:

- [Modulo Unità edilizia storica](#); (modulo per beni architettonici)
- [Modulo MA Complesso o Monumento archeologico](#) (modulo per i beni archeologici);
- Modulo OA Opere d'Arte;
- [Modulo RA Reperti Archeologici \(Pavimenti, rivestimenti parietali, decorazioni e materiali lapidei archeologici\)](#);
- [Modulo Contenitore di Manufatti Mobili e Museali](#);
- [Modulo Rischio Antropico](#).

Il Modello schedografico sviluppato per il SIT MARIS è, in pratica, articolato in due sezioni fondamentalmente: la prima dedicata alle informazioni anagrafiche del bene, la seconda dedicata ai dati sullo stato di conservazione. Per costruire la struttura della scheda, l'ICR ha assunto lo standard catalografico dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la documentazione (ICCD) per la parte anagrafica identificativa dei beni. Questo consente l'integrazione e la compatibilità dei dati raccolti nell'ambito delle attività di schedatura svolte per la "Carta del Rischio" con i dati del Catalogo, unificando e semplificando l'attività dello schedatore.

Per ogni monumento vengono rilevate le estensioni dei vari elementi costruttivi e di rivestimento, distinguendone i materiali e le tecniche di realizzazione. I danni riscontrati, rigidamente classificati, vengono valutati in estensione, percentualmente, attribuendo agli stessi un grado di gravità e di urgenza. A ciò si accompagna una valutazione delle condizioni gestionali e dell'intorno urbanistico del monumento stesso, eventualmente suddiviso in unità funzionali.

A parte la funzione di strumento per il rilevamento e la gestione di informazioni sullo stato di conservazione e di gestione dei singoli manufatti (il cui uso è di diretto interesse dei responsabili del bene), le schede vengono anche utilizzate per rilevazioni di tipo statistico di interesse generale e centrale. Con un metodo appositamente messo a punto per questo progetto 200 variabili contenute nelle schede stesse vengono utilizzate in maniera comparativa allo scopo di determinare attraverso il calcolo la "vulnerabilità" del manufatto, ovvero la suscettibilità che lo stesso possiede di degradarsi nel tempo.

Il Modello schedografico sviluppato per la parte conservativa prevede l'acquisizione dei dati relativi allo stato di conservazione degli elementi costruttivi e decorativi che caratterizzano il bene, secondo il seguente schema.

Elementi costruttivi e decorativi:

- Fondazioni (anche se difficilmente ispezionabili)
- Strutture in Elevazione
- Strutture di Orizzontamento
- Coperture
- Collegamenti Verticali
- Pavimenti Interni
- Pavimenti Esterni
- Rivestimenti
- Apparato Decorativo Interno
- Rivestimenti e Decorazioni Esterne
- Infissi interni
- Infissi esterni

Impianti di sicurezza (Decreto Legge 626):

- Incendio
- Antifurto
- Smaltimento acque

Al momento della schedatura conservativa del bene viene stimata l'intensità di 6 tipologie di danno che possono essere riscontrate per ogni elemento costruttivo e decorativo. Ogni tipologia di danno, presente per ogni elemento, si classifica graduando gravità, estensione ed urgenza del danno secondo una scala di intensità suddivisa in più livelli.

Tipologie di danno:

- Danni generico
- Disgregazione Materiali
- Umidità
- Attacchi Biologici
- Alterazione Strati Superficiali
- Parti Mancanti

Scala dell'intensità del danno:

- Gravità(1, 2, 3)
- Estensione(20%, 40%, 60%, 80%, 100%)
- Grado di urgenza(1, 2, 3, 4, 5)

L'acquisizione dei dati alfa - numerici viene inoltre accompagnata da allegati grafici e fotografici relativi al computo metrico dei danni, al rilievo geometrico del monumento ed alla collocazione territoriale geografica del monumento (georeferenziazione).

Censimento e Vulnerabilità del Patrimonio Culturale

Nell'ambito del Progetto sono state svolte due attività parallele di ricognizione ed acquisizione di dati, con differenti finalità scientifiche e livelli di approfondimento, relativi al Patrimonio Culturale:

- censimento a scala nazionale della consistenza e distribuzione dei beni realizzato sulle Guide d'Italia del Touring Club Italiano e sulle Guide Archeologiche Laterza (TCI/LATERZA) ;

- schedatura "conservativa" da effettuare su campo per acquisire i dati necessari al calcolo della Vulnerabilità;

Il censimento, effettuato attraverso una ricognizione dei repertori Bibliografici TCI/LATERZA, offre un quadro parziale rispetto alla reale consistenza del Patrimonio Nazionale, ma configura comunque con attendibile determinazione i livelli quantitativi e tipologici della sua distribuzione sul territorio.

La Banca Dati fornisce una prima provvisoria stima della consistenza dei principali beni archeologici ed architettonici nazionali, comprese le strutture edificate dopo il 1950 con funzione di museo, gallerie d'arte, ecc.. La scelta di queste due serie di pubblicazioni è stata determinata, oltre che da una loro riconosciuta validità scientifica, soprattutto dall'approccio quanto più possibile omogeneo nella lettura dei principali elementi e fenomeni che vanno a costituire l'intera realtà del patrimonio culturale nazionale. Nella fase di censimento del Patrimonio è stata operata una raccolta dei dati puntuali; l'omogeneità dei quali è stata garantita dall'uso della scheda specifica e uniformata (Scheda Maris) che, per ciascun Bene, ha permesso di codificare tutte le informazioni utili.

Il Censimento del Patrimonio, pur nei limiti della natura delle informazioni rilevate permette di costruire carte della consistenza e distribuzione dei beni a livello Nazionale di area Comunale. Costituisce inoltre un'ottima base di lavoro per il calcolo del "Rischio Territoriale", ossia ha permesso la valutazione dei livelli di Rischio che i diversi ambiti territoriali comunali presentano in funzione dei fenomeni di degrado riscontrati e della consistenza del patrimonio censito.

Nell'ambito del progetto, parallelamente al censimento eseguito a livello Nazionale è stata eseguita una vasta indagine sullo stato di conservazione di 789 monumenti, 222 archeologici e 567 architettonici, distribuiti su quattro aree campione, che coprono Lazio, Campania, Emilia – Romagna, Veneto, Piemonte e Lombardia. Questo Piano Pilota è stato effettuato con schede messe a punto dall'Istituto Centrale del Restauro. Per la parte anagrafica identificativa, la struttura della scheda ha lo stesso linguaggio ed utilizza lo standard definito dall'Istituto Centrale del Catalogo e della Documentazione, già in uso per la normale attività di catalogazione presso le Soprintendenze e presso molti Uffici Regionali. Ciò al fine di permettere anche lo scambio automatico tra i SIT degli Istituti Centrali. Questa scelta metodologica serve a realizzare uno strumento per la valutazione a basso costo dello stato di conservazione dei monumenti e delle opere d'arte, che soddisfi i seguenti requisiti:

1. Unità logica e lessicale;
2. Valutazioni metriche certe sia degli elementi costitutivi del manufatto sia dell'estensione e della gravità delle diverse forme del degrado;
3. Agevole archiviazione dei dati delle rappresentazioni grafiche e fotografiche degli stessi.

La Vulnerabilità è in pratica la componente del rischio che definisce lo stato di conservazione della superficie, della struttura e le modalità di uso del bene. Può essere calcolata attraverso i valori assunti dalle grandezze del rispettivo dominio e utilizzata come indicatore del livello di esposizione al danno in cui l'i-esimo bene ("individuo") si trova:

$$V_{1i} = V_1(t,xyz,m_1\dots m_p\dots)$$

$$V_{2i} = V_2(t,xyz,n_1\dots n_p\dots)$$

$$V_{3i} = V_3(t,xyz,o_1\dots o_p\dots)$$

dove:

$m_1\dots m_p\dots$ = variabili utilizzate per quantificare lo stato di conservazione della superficie in base al grado di urgenza, gravità ed estensione che più tipologie di danno possono assumere in relazione agli elementi che caratterizzano l'aspetto "superficiale" del bene i-esimo.

$n_1\dots n_p\dots$ = variabili utilizzate per quantificare lo stato di conservazione della struttura in base al grado di urgenza, gravità ed estensione che più tipologie di danno possono assumere in relazione agli elementi costruttivi fondamentali.

$o_1, \dots, o_p, \dots =$ variabili utilizzate per quantificare le dinamiche d'uso e la sicurezza del bene.

Banche Dati della Pericolosità

I fenomeni di pericolosità analizzati rientrano in tre ambiti o domini tematici: pericolosità statico – strutturale, ambientale – aria, antropica. I dati raccolti sono stati elaborati attraverso la definizione di algoritmi che, partendo dalla presenza o meno del fenomeno, dalla sua estensione ed intensità, permette di attribuire ad ogni singolo comune un valore di pericolosità (indice). Successivamente ad ogni indice, suddiviso in classi, è stato attribuito un differente peso, al fine di gerarchizzare i diversi fenomeni rispetto al loro ipotetico effetto sui beni culturali e permettere di elaborare gli indici e le carte di sintesi delle pericolosità.

La Pericolosità **P** è la componente del rischio che descrive il processo fisico di deterioramento dei beni. Può essere calcolata attraverso i valori assunti dai fattori di pericolosità del rispettivo dominio ed è utilizzata come indicatore della potenziale aggressione esercitata dal territorio rispetto alla superficie del manufatto, alla struttura ed al danno derivante da attività dirette dell'uomo per il bene *i*-esimo eventualmente presente sull'area territoriale del comune *j*-esimo:

$$P_{1j} = P_1(t, xyz, a_1 \dots a_n \dots)$$

$$P_{2j} = P_2(t, xyz, b_1 \dots b_n \dots)$$

$$P_{3j} = P_3(t, xyz, c_1 \dots c_n \dots)$$

dove

$a_1 \dots a_n$ = variabili utilizzate per quantificare la dinamica del processo fisico di potenziale danneggiamento della superficie dei beni in base ai valori assunti dai fattori inquinanti e climatici nella *j*-esimo unità territoriale;

$b_1 \dots b_n$ = variabili utilizzate per quantificare il processo fisico di potenziale degrado delle caratteristiche statico/strutturali dei beni in base ai valori assunti nella *j*-esima unità territoriale dalle dinamiche catastrofiche del suolo e del sottosuolo;

$c_1 \dots c_n$ = variabili utilizzate per quantificare il processo fisico di potenziale degrado dei beni di base ai valori assunti da dinamiche correlate direttamente o indirettamente ad attività antropiche *j*-esimo unità territoriale;

Pericolosità Statico - Strutturale

Numerosi sono i fenomeni naturali che hanno incidenza, più o meno diretta, sulla stabilità strutturale di un edificio, in particolare se vetusto e quindi, di norma, degradato. Nell'ambito di questo progetto si è deciso di approfondire lo studio di sei fenomenologie che, più di altre, particolarmente in Italia, hanno influenza sulla stabilità degli edifici:

- A. Sismica;
- B. Frane e dissesti,
- C. Esondazioni,
- D. Dinamica dei litorali,
- E. Valanghe,
- F. Vulcanica.

In assenza, di informazioni dettagliate circa l'intensità ed i tempi di ritorno di un certo fenomeno, assenza, peraltro, riscontrata per le grandi aree, si può affermare che il criterio di attribuzione di un certo livello di pericolosità ad un determinato territorio è stato legato alla presenza, ed alla quantificazione di tale presenza rispetto alle superfici comunali, del fenomeno di cui si sta valutando la pericolosità ed, eventualmente, alla sua ripetitività.

Indici di Pericolosità

Gli Indicatori di pericolosità statico – strutturale sono sei, più un Indicatore di Sintesi:

1. Indice di pericolosità sismica;
2. Indice di pericolosità da esondazioni (due fonti: Ministero dell'Ambiente e Servizio geologico Nazionale);
3. Indice di pericolosità frane e dissesti (due fonti: Ministero dei Lavori Pubblici e Servizio Geologico Nazionale);
4. Indice di pericolosità da vulcani;
5. Indice di pericolosità da valanghe;
6. Indice di pericolosità da dinamica dei litorali;
7. Indice di sintesi di pericolosità statico – strutturale.

Gli Indicatori sono definiti da algoritmi solitamente sviluppati da studiosi esperti del fenomeno ed usati dalle Amministrazioni che, per missione istituzionale, si occupano di quella dinamica Territoriale.

Partendo dalla informazione sulla presenza o meno del fenomeno, si arriva ad attribuire ad ogni area Comunale un valore (indice) che tiene conto, sostanzialmente, di quanta parte della superficie comunale sia interessata dal fenomeno, ed eventualmente, nei pochi casi possibili, dei diversi livelli di intensità con cui il fenomeno stesso è presente.

A tal valore, suddiviso poi in classi per comodità di applicazione, è stato attribuito un peso, differente per i diversi tematismi, in modo da gerarchizzare i vari fenomeni rispetto alla loro pericolosità nei confronti dei Beni Culturali.

Per giungere ad un indicatore di sintesi si è proceduto a determinare la media aritmetica ponderata dei sei singoli indicatori costruiti, precedentemente calcolati, ottenendo un valore dell'indicatore di pericolosità statico – strutturale, in analogia con tutti gli altri, compreso tra 0 e 100, congruente con gli altri indici di pericolosità e di vulnerabilità.

I valori sono stati discretizzati in classi, per comodità di rappresentazione cartografica, per arrivare, quindi, alla redazione delle singole carte tematiche procedendo alla graficizzazione, mediante diverse campiture e/o coloriture, degli ambiti comunali.

Fonti dei Dati

SISMA

- Classificazione dei Comuni per categoria Sismica (Ministero LL.PP. 1987)

ESONDAZIONI

- Superfici esondabili per comune, superfici esondabili rispetto alla superficie comunale, carte aree esondabili (*Autorità di Bacino fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta, Bacchiglione, CSI Piemonte, Autorità di Bacino Tevere – Ministero dell'ambiente, Carta della stabilità Geomorfologica in Italia, 1992*).
- Numero di eventi per comune dal dopoguerra al 1990 (*Servizio Geologico Nazionale – Vol. XLVII - V. Catenacci, 1992*).

SUBSIDENZA

- Aree di subsidenza per comune (Ministero dell'Ambiente).

FRANE

- Numero frane per Comune, tipologia di frana, superficie franosa per evento e per comune; numero di centri abitati da considerare e/o trasferire per comune (*I Movimenti Franosi in Italia – Ministero Lavori Pubblici, 1964*).

- Numero di eventi per Comune dal dopoguerra al 1990 (*Servizio Geologico Nazionale – Memorie della Carta Geologica d'Italia – Vol. XLVII – V. Catenacci, 1992*)

DINAMICA DEI LITORALI

- Tratto di costa per Comune in avanzamento;
- Tratto di costa per Comune in arretramento;
- Tratto di costa per Comune stabile;
- Rapporto tra tratto costiero affetto da fenomeno di avanzamento/arretramento e tratto costiero totale; rapporto costa/perimetro comunale (*Atlante delle spiagge Italiane – CNR 1986*)

VALANGHE

- Superfici interessate da valanghe e/o probabile predisposizione ad esse, su base comunale (*UFF. NE. VA. Regioni Alpine e Province Autonome 1982*).

PERICOLOSITA' VULCANICA

- Superfici interessate da aperture di bocche crateriche, colate laviche e zone soggette a caduta di piroclastiti, su base comunale (*Carta dei Movimenti Recenti della Crosta Terrestre – Ministero dell'Ambiente, 1992*).

Carte Tematiche

- Classificazione sismica dei comuni italiani; Nord; Centro; Sud;
- Pericolosità da frane e/o dissesti (fonte Min. LL.PP. 1964); Nord; Centro; Sud;
- Pericolosità da frane e/o dissesti (fonte S.G.N.1992)
- Com. italiani per numero di frane o un dissesti;
- Com. italiani per numero di centri abitati minacciati da frane o dissesti;
- Com. italiani per numero di centri abitati da consolidare e/o trasferire;
- Pericolosità da fenomeni di esondazione (fonte Min. Ambiente 1992);
- Pericolosità da fenomeni di esondazione (fonte S.G.N.1992); Nord; Centro; Sud;
- Pericolosità da fenomeni vulcanici; Sud;

- Pericolosità da dinamica dei litorali dei comuni costieri italiani; [Nord](#); [Centro](#); [Sud](#);
- Com. costieri interessati da avanzamento dei litorali
- Com. costieri interessati da arretramento dei litorali
- Com. costieri interessati da subsidenza
- Pericolosità da fenomeni valanghivi; [Nord](#); [Sud](#);
- Indice di sintesi di pericolosità statico – strutturale; [Nord](#); [Centro](#); [Sud](#).

Pericolosità Ambientale - Aria

E' certo che i fattori climatologici e di inquinamento atmosferico comportano un degrado per i materiali lapidei ed in particolare per quelli con matrice calcarea. Per realizzare una Banca Dati relativa a questi fattori è stato necessario un consistente lavoro di normalizzazione dei dati disponibili presso le diverse strutture pubbliche e private in quanto essi sono stati forniti sia su supporto numerico, che su supporto cartaceo secondo una varietà di formati spesso non standard. Per una definizione il più possibile adeguata della pericolosità ambientale – aria sono stati definiti 2 distinti e indipendenti indici chimico – fisici:

1. Indice di erosione;
2. Indice di stress - fisico.

Dell'indice di annerimento, essendo i dati disponibili riferiti ad aree territoriali diverse da quella comunale, si è proceduto alla loro stima su base comunale impiegando procedure di spazializzazione e di disaggregazione. Tali procedure hanno interessato in particolare modo le seguenti informazioni:

1. Stima delle emissioni diffuse comunali di SO₂, NO_x, PST;
2. Stima delle deposizioni di zolfo;
3. Stima dei valori mediani di acidità della pioggia;
4. Attribuzione delle variabili meteorologiche climatiche ai comuni.

Per quanto riguarda l'**indice di erosione** è risultato possibile applicare un modello, la formula di Lipfert, che ha permesso di quantificare la perdita di materiale nell'unità di tempo (**µm/anno**). Nell'applicazione della formula si è valutata l'incidenza dei singoli fattori sulla perdita di materiale ed è emerso che: il fattore che incide maggiormente sulla perdita di materiale calcareo è la pioggia.

Per l'indice di annerimento, ci si è basati sull'influenza esercitata dalle emissioni di particolato giungendo, mediante l'applicazione di un modello a box, al calcolo di un indice correlato al fenomeno dell'annerimento ovvero di una stima della concentrazione di particolato a livello comunale espressa in µ/m³.

L'indice di stress fisico che in qualche modo è legata all'interazione termica igrometrica **aria materia**. Per quando riguarda questo indice è stato possibile solo definire le grandezze misurabili, non essendo ad oggi disponibili i dati per l'intero Territorio e non essendo ancora definito un algoritmo attendibile per il calcolo dell'indice. Per il calcolo del Rischio è stato necessario definire un unico indicatore di pericolosità ambientale. Si è, quindi, proceduto alla valutazione di diversi rapporti tra i due indicatori standardizzati in questione ed infine è stata assunta l'ipotesi che attribuisce peso all'annerimento pari a 2.5 volte quello di erosione. Successivamente è stata effettuata la somma dei due indicatori con tali pesi, calcolata la media ponderata e lo scarto quadratico medio.

Attività sul Campo:

A riscontro e validazione dei dati sull'inquinamento e sui parametri ambientali, ricavati dalle fonti disponibili, sono stati installati 3 cantieri per il monitoraggio in situ presso 3 monumenti, al fine di verificare e controllare l'attendibilità degli indici di pericolosità calcolati. Per ciascuno di essi si è provveduto al controllo degli effetti dell'inquinamento sia sulle superfici dei monumenti, sia su provini lapidei collocati in posizione limitrofa.

Indici di Pericolosità

Per il calcolo dell'indice di **erosione** si è fatto ampio uso della formula di Lipfert. Tale formula si riferisce ai meccanismi quasi – stazionari e non tiene conto dei meccanismi discontinui come ad esempio lo sfoliamento delle croste nere, costituite prevalentemente da materiale carbonioso e gesso, che si formano nelle strutture urbane nelle parti riparate dalla pioggia. Di questo aspetto del rischio ambientale - aria si tiene conto tramite l'indice di annerimento.

La descrizione del processo di deterioramento non può considerarsi completa se non si tiene conto di ulteriori fattori che complicano il quadro, fattori associati alla porosità e alla struttura dei materiali lapidei. Così, il processo di migrazione dei sali dalle zone superficiali verso l'interno della pietra può essere origine di fenomeni di fratturazioni a causa della cristallizzazione dei sali intrusi; un ulteriore problema è dovuto ai fenomeni di cambiamento di stato cristallino dei sali solubili al variare dell'umidità relativa. Questi aspetti, estremamente complessi e non ancora sistematizzati in un modello analogo a quello di Lipfert, sono stati dal punto di vista teorico accorpati nell'indice di stressi fisico.

Questo indice tiene conto della parte di danno fisico legato all'interazione termica e igrometrica tra l'ambiente e il materiale ed ai cicli di gelo e disgelo. Il fenomeno è influenzato anche dalle caratteristiche strutturali del materiale in esame, come nel caso della migrazione e cristallizzazione dei sali nella struttura porosa del materiale. Per mantenere il limite amministrativo comunale come unità minima territoriale di riferimento, si è operata una stima dei dati, che non avevano queste caratteristiche, con procedure di spazializzazione e disaggregazione. L'Indice di erosione (o carsico): si basa essenzialmente sulla formula di Lipfert, che l'autore assume valida per un pH della pioggia compreso tra 3 e 5 e cioè:

$$P_m = 18,8 + 0,016H^+R + 0,18(V_{ds}(SO_2) + V_{dN}(HNO_3))$$

Dove i parametri hanno i seguenti significati:

P_m perdita di materiale

R quantità di pioggia

H^+ apporto di ione idrogeno (nanomoli/cc)

V_{ds} velocità di deposizione dell' SO_2 (cm/s)

(SO_2) concentrazione di SO_2 ($\mu g/mc$)

V_{dN} velocità di deposizione dell' NO_3 (cm/s)

(HNO_3) concentrazione di NO_3 ($\mu g/mc$)

A questi parametri bisogna aggiungere il fatto che il comune sia vicino o lontano dal mare (effetto costa). Per i Comuni la cui distanza dal mare è minore di 5 Km, questo effetto è valutato il 10% dell'effetto carsico, per i siti costieri è nullo.

Indice di annerimento: si basa essenzialmente sull'influenza esercitata dalle emissioni di particolato, la cui concentrazione a livello comunale è stimata mediante l'uso del modello a box. Il modello utilizzato, però, stima in modo approssimato la concentrazione dovuta all'emissione di tutto il particolato, non separando le particelle carboniose, responsabili dell'annerimento, dalle altre particelle. Quindi, la concentrazione del particolato stimata a livello comunale deve essere considerata come un indice surrogato, ed è valido sostanzialmente per le aree urbane dove una quota rilevante di particolato è dovuta principalmente alle emissioni dei gas di scarico dei motori alimentati a gasolio e quindi ricchi di particelle carboniose.

Fonti dei Dati

DATI GENERALI

- Caratteristiche strutturali dei comuni (*ISTAT 1981, 1985, 1991*)
- Sistema di classificazione dell'uso del suolo (*ISTAT 1991*)
- Popolazione dei Comuni (*ISTAT 1981, 1985, 1991*)
- Abitazioni dei Comuni (*ISTAT 1981, 1991*)
- Comuni costieri (*ISTAT T.C.I. 1990*)
- Classificazione delle attività economiche (*ISTAT 1991*)
- Industrie dei Comuni (*ISTAT 1981, 1991*)
- Veicoli circolanti dei Comuni (*ACI 1985, 1990*)
- Consumi a gasolio da riscaldamento nelle provincie (*Ministero Industria 1985, 1991*)
- Consumi a gasolio da riscaldamento nei comuni (*Elab. ATI MARIS 1985, 1991*)
- Aeroporti (*1991*)
- Porti (*1985*)
- Autostrade, Km per Comune (*T.C.I. 1985*)
- Autostrade, veicoli teorici medi giornalieri per tratto (*Elab. ATI MARIS AISCAT T.C.I. Soc. Autostrade 1985*)

INQUINAMENTO EMISSIONI

- Corinair dati generali
- Corinair emissioni diffuse Provinciali (*Ministero Ambiente – ENEA 1985*)
- Corinair emissioni diffuse Comunali (*Elab. ATI MARIS 1985*)
- Grandi impianti (*Ministero Ambiente – ENEA - Sezione Dati Generali 1985 – 89*)
- Grandi impianti (*Ministero Ambiente – ENEA - Sezione Dati Camini 1985 – 89*)
- Grandi impianti (*Ministero Ambiente – ENEA - Sezione Dati Emissioni Stimate 1985 – 89*)
- Grandi impianti (*Ministero Ambiente – ENEA - Sezione Dati Emissioni Ufficiali 1985 – 89*)

INQUINAMENTO CONCENTRAZIONI

- Reti di rilevamento della qualità dell'aria (*Ministero Ambiente – ENEA – Sezione Anagrafica 1990*).
- Reti di rilevamento della qualità dell'aria (*Ministero Ambiente – ENEA – Sezione Dati 1978 - 90*).
- Reti di rilevamento delle deposizioni atmosferiche (*Ministero Ambiente – CNR - ENEL – Sezione Anagrafica 1988-92*).
- Reti di rilevamento delle deposizioni atmosferiche (*Ministero Ambiente – CNR - ENEL – Dati Deposizioni 1988-92*).
- Reti di rilevamento delle deposizioni atmosferiche (*Ministero Ambiente – CNR - ENEL - Dati Precipitazioni 1988-92*).
- Deposizioni di zolfo delle provincie (*Elab. ATI MARIS 1985*)

CLIMA

- Temperature massime mensili dei nodi (*Ministero Agricoltura e Foreste/UCEA 1993*)
- Temperature minime mensili dei nodi (*Ministero Agricoltura e Foreste/UCEA 1993*)

- Umidità relativa mensile dei nodi (*Ministero Agricoltura e Foreste/UCEA 1993*)
- Precipitazioni dei nodi (*Ministero Agricoltura e Foreste/UCEA 1993*)
- Eliofania dei nodi (*Ministero Agricoltura e Foreste/UCEA 1993*)
- Intensità del vento dei nodi (*Ministero Agricoltura e Foreste/UCEA 1993*)
- Altimetria dei nodi (*Ministero Agricoltura e Foreste/UCEA 1993*)
- Nodi – Comuni (*Elab. ATI MARIS 1993*)
- Temperature massime e minime dei Comuni corrette con il gradiente termico (*Elab. ATI MARIS 1993*)
- Direzione e intensità del vento al suolo (*Sezione Anagrafica – Aeronautica Militare Italiana 1961 – 90*)
- Direzione e intensità del vento al suolo (*Sezione Dati – Aeronautica Militare Italiana 1961 – 90*)

Cantieri per lo studio degli effetti prodotti dal clima dall'inquinamento.

Per realizzare dal vivo un modello su cui studiare gli effetti dei fattori di degrado più significativi in situazioni tipiche di rischio ambientale, è stata realizzata una sperimentazione per la valutazione della velocità e delle caratteristiche di decadimento dei materiali esposti agli agenti esterni. Il degrado del materiale lapideo è infatti funzione del clima, degli inquinanti aerodispersi e delle caratteristiche chimico – fisiche della superficie esposta.

Il modello di degrado della pietra serve per programmare in modo efficace gli interventi e per tenere sotto osservazione aree del territorio nazionale caratterizzato da un elevato indice di rischio (da inquinamento – clima).

Sono stati individuati tre siti con differenti livelli di rischio ambientale e scelti come indicatori del degrado alcuni materiali lapidei a componente calcarea situati in ciascuno di essi:

- Livello zero (assenza di inquinanti): abbazia di S. Scolastica a Subiaco;
- Situazione caratterizzata da forte presenza di aerosol marino: Mausoleo di Munazio Planco a Gaeta;
- Zona urbana con elevata concentrazione di inquinamenti: Arco Settimio Severo a Roma.

Il rilevamento degli effetti dell'inquinamento atmosferico è stato eseguito sia sulle superfici dei monumenti stessi, esposti e non alla pioggia battente, attraverso misure, analisi e campionamenti secondo metodologie normalizzate.

Lo studio degli inquinanti è stato effettuato con una stazione mobile di rilevamento; è stato eseguito il monitoraggio del particolato atmosferico, del fumo nero, del biossido di zolfo, dell'ozono e del PH della pioggia, contemporaneamente al rilevamento dei parametri climatici e microclimatici.

Il confronto tra i dati sui monumenti, quelli sui provini e quelli ambientali permetterà di definire l'aggressività dell'ambiente e prevedere la velocità dei processi di alterazioni ad essa legati; la finalità ultima sarà quella di individuare, se possibile, una "funzione di danno" per i diversi materiali lapidei.

Carte Tematiche

- Indice di pericolosità da erosione; Nord; Centro; Sud.
- Contributo della pioggia all'indice di erosione
- Contributo della deposizione di zolfo all'indice di erosione
- Contributo della deposizione di acido nitrico all'indice di erosione
- Contributo dell'apporto di ione H all'indice di erosione
- Contributo dell'effetto aerosol marino all'indice di erosione
- Indice di pericolosità da annerimento da inquinanti atmosferici; Nord;

Centro; Sud.

- Indice di pericolosità ambientale – aria.

Nord; Centro; Sud.

Pericolosità Antropica

Per la pericolosità antropica si è ricorso a ragionamenti deduttivi che sono stati finalizzati a "verificare" se la pressione antropica attribuita ad un dato territorio è di fatto "pericolosa" per i beni presenti. La valutazione della pericolosità antropica non può che intendersi in termini di propensione di un determinato contesto territoriale, la cui esistenza reale potrà essere convalidata unicamente dal confronto con i dati rilevati nel campo.

Gli Indicatori

I fenomeni antropici identificativi come potenzialmente responsabili di effetti negativi sulla conservazione del patrimonio culturale sono riducibili a tre aree tematiche per le quali sono stati individuati e calcolati quattro Indicatori di Pericolosità:

- Dinamiche della densità demografica intese come spopolamento ed sovrappopolamento;
- Pressione turistica;
- Suscettibilità al furto.

Lo spopolamento comporta in linea generale, il venire meno delle condizioni di convenienza (economica e sociale) alla sorveglianza, alla manutenzione e alla valorizzazione del bene; fatto che costituisce il presupposto del progressivo e ineluttabile degrado del bene stesso. L'eccessivo incremento della popolazione, non garantendo le componenti considerate vitali per la conservazione e la fruibilità del bene culturale provoca un impatto potenzialmente dannoso sull'area in cui sorge il monumento e sul monumento stesso. L'eccessivo incremento della popolazione, non garantendo le componenti considerate vitali per la conservazione e la fruibilità del bene culturale provoca un impatto potenzialmente dannoso sull'area in cui sorge il monumento e sul monumento stesso.

La fruizione turistica dei beni culturali archeologici e architettonici può costituire un serio pericolo per la loro stessa conservazione in mancanza di servizi, strutture e politiche gestionali. Per l'Indice di Pericolosità Turistico si è tenuto conto, quindi della *attrattività turistico - culturale* di un Comune (misurata in termini di numero di beni culturali segnalati dal T.C.I.) e della massa circolante di *turismo culturale* (misurata in termini di visitatori annui medi all'Istituto d'arte più frequentato del comune).

Infine si è scelto di costruire l'indice di *suscettibilità al furto* direttamente a partire dalle rilevazioni dei furti di opere d'arte fornite dal Comando dei carabinieri del nucleo TPA, senza rapportarlo nè al totale dei beni presenti nè alla dinamica del fenomeno. L'Indicatore pertanto coincide col valore normalizzato del numero totale dei furti censiti dal Comando dei Carabinieri per la tutela del Patrimonio Artistico (TPA) negli undici anni dal 1981 al 1992.

In analogia con gli altri tematismi è stato necessario definire un indice di sintesi di pericolosità antropica. Tale indice si definisce come somma dei valori normalizzati dei quattro indicatori: spopolamento, concentrazione, furti e turismo (solo quando il valore è maggiore di 16).

Fonti dei Dati

TERRITORIO

- Popolazione residente per Comune (ISTAT 1951, 1991)
- Superficie comunale (ISTAT 1991)
- Uso del suolo: superficie urbanizzata, agricola, forestale, cave acque (ISTAT 1991)
- Abitazioni occupate e non (ISTAT 1991)
- Abitazioni per epoca di costruzione (ISTAT 1991)

VISITATORI

- Musei statali: numero visitatori, paganti e non, per mese, nome e tipologia dell'Istituto – dati comunali – M.BB.CC.AA. (ENIT 1990, 1991)

- Musei non statali: numero dei visitatori, paganti e non , per mese, nome e tipologia dell'Istituto – dati comunali – (ENIT 1988, 1991)

TURISMO

- Ricettività alberghieri numero dei posti letto e delle camere per categoria – dati comunali – ISTAT (ENIT 1990)
- Ricettività alberghiera: numero di giornate/letto disponibili – dati provinciali – ISTAT (ENIT 1991)
- Movimento clienti: arrivi e presenze dei clienti italiani e stranieri per tipo di categoria alberghiera – dati provinciali – ISTAT (ENIT 1991).

FURTI

- Numero delle denunce di furti di opere d'arte per comune e tipologia del contenitore (T.P.A. – Carabinieri – 1981/1992).

Carte Tematiche

- Indice della pericolosità da Spopolamento; Nord; Centro; Sud.
- Indice della pericolosità da Concentrazione; Nord; Centro; Sud.
- Indice della pericolosità da Pressione Turistica; Nord; Centro; Sud.
- Indice della suscettibilità al Furto; Nord; Centro; Sud.
- Indice di sintesi di Pericolosità antropica; Nord; Centro; Sud.

Il Rischio

Il patrimonio culturale è soggetto ad un processo di degrado causato da diversi e numerosi fattori, fisici, sociali, ed umani che contribuiscono all'azione di degrado con differenti meccanismi ed in diversa misura. L'approccio statistico seguito nella presente ricerca ha consentito di esprimere i "Modelli di Rischio", mediante uno schema che pone in relazione il " Rischio" con i "Fattori di Rischio ". In tale schema gli "oggetti" a rischio costituiscono le "unità" di una "popolazione statistica", per ciascuna delle quali i fattori di rischio assumono specifici " valori ":

- a. Per i singoli Beni (unità edilizie storiche, oppure monumenti e complessi archeologici, oppure oggetti artistici, ecc.) l'obiettivo di determinare il "Rischio Individuale" con riferimento allo stato di suscettibilità al processo di degrado che il singolo Bene può subire;
- b. Il binomio "comprensorio territoriale - aggregato di beni giacenti nel comprensorio" con il fine di definire il "Rischio Territoriale" con riferimento allo stato di suscettibilità al processo di degrado (del patrimonio culturale) che caratterizza il territorio nel quale è collocato l'aggregato di Beni considerato.

Nella presente investigazione viene adottato un approccio alla "misura" del Rischio (individuale o territoriale), consistente nella determinazione di appropriati "Indicatori di Rischio", ossia di misure quantitative del livello di rischio espresse come Indici di tale livello, a prescindere da una loro possibile correlazione con una valutazione di probabilità.

Il Rischio Territoriale

Il Modello di Rischio Territoriale, così ottenuto, fornisce una visione compatta del Rischio del Patrimonio Culturale su scala nazionale. Esso costituisce, in effetti, un supplemento integrativo rispetto all'ottica individuale del singolo bene, offrendo il quadro generale nel quale vengono, poi, a configurarsi i Rischi Individuali. Entrambi gli approcci risultano utili ai fini della Manutenzione Programmata, poiché

contribuiscono alla quantificazione dei parametri decisionali, sia nella dimensione estensiva (distribuzione spaziale delle risorse) che in quella intensiva (allocazione individuale delle risorse).

Il Modello del Rischio Territoriale

Le Carte del Rischio Territoriale derivano da una lettura comparata degli esiti delle precedenti fasi del lavoro e precisamente dall'individuazione degli indicatori di pericolosità e dalla consistenza e distribuzione del patrimonio culturale ottenuta tramite la schedatura del repertorio bibliografico TCI/LATERZA.

Queste carte costituiscono strumento neutro e "trasparente" (nella misura in cui è sempre possibile risalire ai dati di base utilizzati e alle loro fonti) da utilizzarsi come supporto alla decisione, in particolare riferita alla distribuzione razionale delle risorse finanziarie disponibili.

Utenti cui questo "prodotto" si rivolge sono certamente identificabili nelle autorità politiche e tecniche operanti nell'ambito del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, ma anche, in prospettiva, nelle amministrazioni pubbliche, locali e non, qualora si renda utile disporre di un sistema informativo completo ed omogeneo nonché di uno strumento d'informazione flessibile e rinnovabile, in base al quale impostare strategie di valorizzazione e tutela del patrimonio culturale.

Le diverse combinazioni possibili tra indici di pericolosità e dati sul patrimonio culturale consentono la realizzazione di un numero molto alto di carte di rischio. Quelle finora prodotte sono solo un esempio degli infiniti incroci possibili tra i dati e dimostrano le possibilità conoscitive di questo strumento. Per la realizzazione grafica dei prodotti cartografici sono stati identificati tre principali modelli di interrelazione dei dati:

1. *Interrelazione di tipo "binario"*: l'aggettivo "binario" sta proprio ad indicare la selezione della semplice discriminante "presenza/assenza" di beni culturali rispetto ai 15 indici di pericolosità.
2. *Interrelazione del tipo 'overlay mapping'*: deriva dalla sovrapposizione (sulla stessa immagine cartografica) di due (o più) informazioni: almeno una afferente la pericolosità e almeno una afferente la schedatura del patrimonio culturale, e permette la lettura contemporanea dei fenomeni senza perdere l'informazione fornita dal dato di base.
3. *Interrelazione del tipo 'sintetico'*: tale modello di interrelazione definisce il rischio come prodotto dell'intensità dei fattori riscontrata e numero di beni selezionati presenti nell'ambito territoriale.

Carte Tematiche

- Carta del rischio sismico;
- Carta del rischio da esondazione (fonte: Min LL.PP.);
- Carta del rischio da esondazione (fonte: S.G.N.);
- Carta del rischio da frane e dissesti (fonte: Min LL.PP.);
- Carta del rischio da frane e dissesti (fonte: S.G.N.);
- Carta del rischio da vulcanismo;
- Carta del rischio da valanghe;
- Carta del rischio da dinamica dei litorali;
- Carta del rischio da erosione;
- Carta del rischio per annerimento da inquinanti atmosferici;
- Carta del rischio da spopolamento;
- Carta del rischio da concentrazione antropica;
- Carta del rischio da pressione turistica;
- Carta del rischio da furto;
- Carta del rischio statico – strutturale (sintesi);
- Carta del rischio statico – strutturale (sintesi) per numero di beni;
- Carta del rischio statico – strutturale (sintesi) per importanza conferita ai beni dalle guide del T.C.I.;
- Carta del rischio da erosione per numero di beni;
- Carta del rischio ambientale – aria per numero di beni;
- Carta del rischio per annerimento da inquinanti atmosferici per n° di beni;
- Carta del rischio ambientale – aria per importanza conferita ai beni dalle guide del T.C.I.;
- Carta del rischio antropico (sintesi);

- Carta del rischio antropico (sintesi) per numero di beni;
- Carta del rischio antropico (sintesi) per importanza conferita ai beni dalle guide del T.C.I.;
- Carta del rischio per concentrazione antropica associata a presenza di infrastrutture e servizi di valore storico artistico;
- Carta del rischio per spopolamento/concentrazione antropica associata alla consistenza dei beni in area urbana;
- Carta del rischio per concentrazione antropica associata alla presenza di beni di interesse archeologico;
- Carta del rischio per suscettibilità al furto e presenza di beni mobili;
- Carta del rischio da pressione turistica sui contenitori dei beni artistici;
- Carta del rischio ambientale – aria (sintesi);
- Carta del rischio per concentrazione antropica associata ad uso improprio (terziario) di beni architettonici;
- Carta del rischio da pressione turistica per i beni appartenenti a "complessi urbanistici";
- Carta del rischio da pressione turistica per i beni appartenenti a "complessi urbanistici";
- Carta del rischio di annerimento da inquinamento atmosferico per duomo, cattedrali, battisteri ante 1400;
- Carta del rischio sismico per le chiese;
- Carta del rischio statico – strutturale per campanili e torri;
- Carta del rischio sismico per numeri di beni;
- Carta del rischio da esondazioni per numero di beni (fonte: S.G.N.);
- Carta del rischio da frane e dissesti per numero di beni (fonte: Min. LL.PP.);
- Carta del rischio da vulcanismo per numero di beni;
- Carta del rischio da valanghe per numero di beni;
- Carta del rischio da dinamica dei litorali per numero di beni;
- Carta del rischio da spopolamento per numero di beni;
- Carta del rischio da concentrazione antropica per numero di beni;
- Carta del rischio da pressione turistica per numero di beni;
- Carta del rischio da furto per numero di beni;
- Carta del rischio ambientale – aria per complessi scultorei (datati fino al 1800);
- Carta del rischio statico – strutturale per porte, bastioni e mura ubiche.

Il Rischio Individuale

Al fine di giungere ad una valutazione del Rischio Individuale sono state individuate due componenti dei fattori di rischio:

- La Vulnerabilità (V) dei beni, che rappresenta la componente scelta per indicare il livello di esposizione di un dato bene all'aggressione dei fattori territoriali ambientali, in funzione delle grandezze che caratterizzano lo stato di conservazione del bene rispetto alla superficie (V_1), alle caratteristiche costruttive e statico/strutturali (V_2), all'uso e sicurezza (V_3). Questa componente viene calcolata attraverso i valori assunti dalle grandezze del rispettivo dominio e utilizzata come indicatore del livello di esposizione al danno dell'i-esimo bene ("individuo");
- La Pericolosità (P) territoriale che rappresenta la componente scelta per indicare il livello di potenziale aggressione di una data area territoriale in funzione delle grandezze che governano i meccanismi di degrado, ossia i fattori climatici, microclimatici e gli inquinanti per il dominio ambientale/aria (P_1), le caratteristiche geomorfologiche del suolo e del sottosuolo per il dominio statico/strutturale (P_2), le dinamiche demografiche e socioeconomiche per il dominio antropico (P_3).

Questa componente viene calcolata attraverso i valori assunti dai fattori di pericolosità del rispettivo dominio ed è utilizzata come indicatore della potenziale aggressione esercitata dal territorio rispetto alla superficie del manufatto, alla struttura ed al danno derivante da attività dirette dell'uomo per il bene i-esimo eventualmente presente sull'area territoriale del comune j-esimo.

Modello di Rischio Individuale

Il modello di Rischio Individuale, qui adottato, prevede la determinazione del Rischio riguardante il singolo Bene, come funzione dei valori assunti in esso dai rispettivi Indicatori di Vulnerabilità e Pericolosità:

$$R = f(V, P)$$

Ove R denota l'Indicatore di Rischio (che viene, a sua volta, distinto in tre indicatori specifici, a seconda del dominio di riferimento: statico - strutturale, ambientale- aria, antropico), V e P denotano i valori assunti dagli Indicatori di Vulnerabilità e dagli Indicatori Sintetici di Pericolosità, ed, infine, "f" è una appropriata funzione matematica applicata a V e P. Il Rischio viene pertanto calcolato in funzione dei valori assunti dai parametri di Vulnerabilità per il bene i-esimo e di Pericolosità per il bene i-esimo e di Pericolosità per il comune j-esimo di appartenenza del bene:

$$R_{ji} = R(V_{1i}, V_{2i}, V_{3i}, P_{1j}, P_{2j}, P_{3j})$$

Riguardo agli Indicatori Sintetici di Pericolosità si sottolinea che questi vengono calcolati, separatamente per ogni dominio, come funzioni degli originali Indicatori di Pericolosità, in modo da ottenere un'unica misura di Pericolosità da inserire nel suddetto Modello di Rischio. La funzione R si configura come una media ponderata degli Indicatori V e P, ottenuta attribuendo un maggior peso ai primi rispetto ai secondi. Questa scelta è giustificata dal fatto che la Pericolosità territoriale, è misurabile con precisione solamente in un intorno del singolo Bene, mentre al momento è derivata solo da una elaborazione statistica, riferita all'intera area territoriale del comune. Il superamento di questo limite oggettivo è conseguibile solo disaggregando ulteriormente la scala territoriale di riferimento per il calcolo degli Indicatori di Pericolosità. Ad esempio ciò può essere fatto per la pericolosità antropica prendendo in considerazione le 300.000 sezioni di censimento.

In analogia direzione è stato sviluppato il I Modello di Rischio Individuale su Scala Locale, sperimentato nel Comune di Ravenna. Nella fattispecie la pericolosità è derivata da un intorno del monumento ma senza riferimento al limite amministrativo territoriale (Comune o sezione di censimento). Con la stessa logica è avviato un progetto inserito nel programma Archimed in collaborazione tra ICR e alcune Regioni Italiane.

Componente di Vulnerabilità

Le variabili di base per il calcolo degli Indicatori di Vulnerabilità sono tratte dalle apposite Schede Conservative (nell'esempio: scheda 1 per i domini X e Y e la Scheda 9 per il dominio Z) somministrate a ciascuno dei Beni in esame.

Nel corso dello sviluppo della "Carta del Rischio" sono state condotte sperimentazioni, per fasi successive, su un campione sempre più allargato di beni, che hanno permesso di scegliere e validare le variabili più significative per la determinazione dello stato di conservazione.

Questo viene di fatto valutato attraverso il calcolo di indici di vulnerabilità del bene, avendo determinato anche i pesi da attribuire ad ogni singola variabile utilizzata nel procedimento di calcolo. L'intero ciclo di sperimentazione pilota è stato condotto su un campione complessivo di 800 monumenti ed è rappresentato delle varie tipologie di beni e di differenti aree territoriali: Piemonte, Emilia Romagna, Lazio e Campania.

I risultati della sperimentazione hanno permesso di definire un insieme di 200 variabili ed il peso da attribuire ad ognuna per calcolare gli indicatori di vulnerabilità. Dal momento che la determinazione dei pesi viene effettuata analizzando sempre l'intero campione, è possibile utilizzare lo stesso procedimento di calcolo indipendentemente dalla localizzazione dei beni e all'aggiornamento dei pesi con un conseguente affinamento del grado di vulnerabilità, accompagnato da un miglioramento del livello di affidabilità dell'indicatore. Di seguito è riportato l'algoritmo utilizzato per il calcolo:

$$INDvul(k) = SOMMA (P_j * Q_{ji} / (m - n) * (cost/m))$$

dove

INDvul(k) = indice di vulnerabilità del bene k-esimo

m = numero di variabili considerate

n = numero di variabili per le quali mancano informazioni

P_j = peso relativo alla variabile j-esima

Q_{ji} = valore i-esimo assunto dalla variabile

cost/m = cost. aggiornata in tabella pesi quantificazioni.

L'impostazione generale per il calcolo degli Indicatori di Vulnerabilità configura la Vulnerabilità come una "dimensione latente", misurabile solo "indirettamente", attraverso le variabili "manifeste" rilevate nelle Schede.

Per quanto riguarda gli Indicatori di Vulnerabilità Statico - Strutturale e Ambiente - Aria mediante la tecnica PRINCALS i giudizi diagnostici- prognostici, espressi in termini di modalità qualitative ordinali relativamente allo stato di conservazione dei diversi elementi architettonici componenti l'utilità edilizia in esame, vengono opportunamente quantificati e "pesati" in base alle correlazioni empiriche tra di essi registrate.

L'Indicatore di Vulnerabilità viene definito sotto forma di una somma di tali giudizi quantificati, ciascuno moltiplicato per il rispettivo "**peso**". Si ottiene, una "combinazione lineare" delle valutazioni espresse riguardo allo stato di conservazione dei diversi segmenti architettonici nei quali è suddivisa una data unità edilizia.

Tale combinazione lineare ha la proprietà di riassumere, in maniera ottimale, l'informazione sul degrado apportata da ciascuno dei summenzionati giudizi, consentendo di pervenire ad una sintesi valutativa espressa da un "punteggio di Vulnerabilità" caratterizzante la singola unità edilizia.

Le diverse unità saranno, pertanto, comparabili, sotto il profilo della Vulnerabilità, attraverso i relativi punteggi. Per l'Indicatore di Vulnerabilità Antropica si è adottata la metodologia dell'Analisi Canonica Generalizzata, mediante la tecnica OVERALS (cfr. Gifi, 1990 e manuale SPSS - Categories, 1995).

L'indicatore di Vulnerabilità Antropica è calcolato come una combinazione lineare delle variabili quantificate, utilizzando come coefficienti di tale combinazione i suddetti "pesi". Anche in questo caso si applicano le considerazioni interpretative, già svolte a proposito degli Indicatori di Vulnerabilità Statico - Strutturale e Ambientale - Aria.

Componente di Pericolosità

Gli Indicatori di Pericolosità, relativi ai Beni considerati, vengono calcolati con una metodologia differente rispetto agli Indicatori di Vulnerabilità. Innanzitutto si fa riferimento, in questo caso, ad "Unità Territoriali", quale i Comuni, nel cui ambito sono situati i beni in questione. Pertanto la nozione di Pericolosità viene, in prima istanza, definita rispetto al singolo Comune. Solo in un secondo momento il "livello di Pericolosità" del Comune viene attribuito al Bene in esso collocato. In secondo luogo il riferimento territoriale degli Indicatori di Pericolosità consente di realizzare, a differenza dello studio di Vulnerabilità, un approccio non campionario, in quanto è possibile analizzare i diversi Fattori di Pericolosità in relazione all'intero insieme degli 8063 Comuni Italiani.

La metodologia seguita per il calcolo degli Indicatori di Pericolosità si è articolata nelle seguenti fasi:

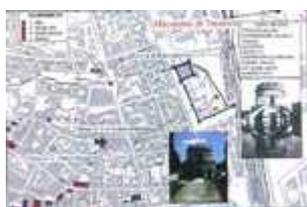
- a. Reperimento di dati territoriali concernenti i diversi aspetti della Pericolosità. In genere tali dati sono ricavati da fonti ufficiali (ISTAT, Ministeri, ENEA, ecc.). Si vengono così a determinare diverse variabili territoriali, ciascuna delle quali misura un certo **Fattore di Pericolosità**.
- b. Determinazione del valore di ciascuna delle variabili di Pericolosità relativamente ad ognuno dei Comuni Italiani. A volte, a tal fine, si sono dovute adottare opportune procedure di "spazializzazione" (ad esempio per passare da dati aggregati a livello provinciale a dati disaggregati a livello comunale).
- c. Individuazione e costruzione di Indicatori di Pericolosità. In tale ottica, sono state applicate specifiche tecniche di standardizzazione atte a rendere tra di loro comparabili i diversi indicatori.

In base alla procedura ora illustrata, sono stati calcolati 12 Indicatori di Pericolosità (a livello comunale), così suddivisi:

- Dominio Statico - Strutturale : 6 Indicatori di Pericolosità (sismica, vulcanica, da frane, da valanghe, da esondazioni, da dinamica dei litorali)
- Dominio Ambientale - Aria: 2 Indicatori di Pericolosità (da erosione, da annerimento)
- Dominio Antropico: 4 Indicatori di Pericolosità (da spopolamento, da concentrazione demografica, da pressione turistica, da furti).

Modello di rischio locale: Modulo di Ravenna

Nell'ambito del Progetto è stata condotta una sperimentazione in un'area campione, quella del **Comune di Ravenna**, per determinare le metodologie, le procedure, i sistemi ottimali di visualizzazione elettronica, le possibilità di raffigurazione di dettaglio necessarie per la caratterizzazione del **Rischio Locale**.



L'approfondimento compiuto sul territorio del **Comune di Ravenna** rappresenta lo stadio più completo di realizzazione della **Carta del Rischio**.

L'analisi fortemente approfondita dei fenomeni di pericolosità Territoriale consente di apprezzare differenze di intensità e qualità dei fenomeni ad una scala ridotta ben al di sotto della dimensione comunale. La schedatura dello stato di conservazione effettuata su tutti i monumenti permette di associare alla vulnerabilità di ciascuno di essi le pericolosità che gli sono pertinenti, arrivando ad una quantificazione individuale e, se così si può dire, personalizzata del livello di rischio cui ogni monumento è soggetto. Questo approfondimento è stato possibile a Ravenna grazie anche alla grande quantità di materiale disponibile presso l'Ente Locale (banche dati, cartografia, informazioni omogenee e classificate).

La gestione delle informazioni ha richiesto la definizione dei livelli cartografici di riferimento differenziati a seconda delle scale di indagine prese in esame e ottimizzate in video (territorio della Soprintendenza rapp. 1:100.000, territorio comunale rapp. 1:25.000/1:10.000, aree urbanizzate rapp. 1:5.000/1:2.000, area di pertinenza del singolo monumento 1:1.000/1:500). Su queste basi avviene quindi l'individuazione puntuale della distribuzione dei singoli beni e dei fenomeni di pericolosità attivi sul territorio in grado di interferire con i beni stessi.

Le informazioni raccolte sono organizzate su tre livelli distinti che vanno dal Livello Soprintendenza configurato sulle informazioni, prevalentemente di tipo statistico presenti nel Polo Centrale, al livello Comunale che definisce i fattori di pericolosità specifici del territorio e la reale localizzazione dei beni e infine al Livello Monumento che associa ai dati relativi alle caratteristiche e allo stato di conservazione dei beni i livelli di vulnerabilità del bene stesso e la pericolosità che si determina nell'intorno urbano del bene stesso.

La sperimentazione condotta sul **Polo di Ravenna** ha portato alla georeferenziazione di 133 beni (15 localizzati in area, 88 nel centro storico ed i 26 rimanenti in area extraurbana). L'analisi della pericolosità statico - strutturale del comune esaminato ha individuato sul modulo nazionale l'esistenza degli aspetti connessi alla subsidenza - inondabilità determinata da fattori geologici e da cause antropiche con frequenti estrazioni di fluidi dal sottosuolo. Per ridefinire gli indici chimico - fisici di pericolosità ambientale - aria ci si è avvalsi dei dati provenienti dalla rete di rilevamento presente con 15 centraline gestite da Presidio multizonale Provinciale distribuite su tutto il territorio.

Tutti dati acquisiti sono stati inseriti nelle procedure di calcolo elaborate per ottenere in un primo momento gli Indicatori standard rischio articolati successivamente in classi di rischio (0 a 7). La rappresentazione cartografica degli stessi consente la visualizzazione immediata delle priorità che occorrerebbe adottare per una efficace conservazione dei beni monumentali presenti nel Territorio di Ravenna.

