

Il Sistema Informativo Territoriale della “Carta del Rischio”

Giorgio Accardo, Carlo Cacace, Roberto Rinaldi

Istituto Centrale per il Restauro – Laboratorio di Fisica

Premessa

Se si assume il rischio di perdita del patrimonio culturale come criterio per l'individuazione delle priorità operative, la conoscenza della sua distribuzione sul territorio è utile e necessaria per lo sviluppo della politica di settore e, in particolare, per la programmazione degli interventi di tutela, di conservazione e di uso del territorio. La possibilità di rappresentare su cartografia il livello di rischio diventa allora un sintetico modo di visualizzare questa informazione di capitale importanza per la vita del patrimonio culturale è un valido mezzo per pianificare le attività ad esso connesse. La tecnologia dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) sembra oggi la più adatta a raggiungere tale scopo, proprio perché rende possibile la visualizzazione e l'analisi dei fenomeni in forma cartografica e, nello specifico, permette di produrre una mappa sempre aggiornabile del rischio di perdita del patrimonio culturale nazionale. L'accessibilità delle tecnologie informatiche oggi disponibili non deve, però, far dimenticare il ruolo fondamentale che comunque spetta alla raccolta dei dati, all'elaborazione delle informazioni e ai processi di conoscenza connessi con tali attività. A questo proposito il significato probabilistico insito nel concetto di rischio e le conoscenze maturate dall'Istituto Centrale per il Restauro di Roma (ICR) sulle funzioni di danno e sui processi di trasformazione fisico-chimica dei materiali costitutivi, ovvero sui meccanismi di deterioramento dei beni, sono serviti da guida e da filtro per individuare e definire i modelli necessari allo sviluppo di tale Sistema Informativo, per selezionare i dati utili e necessari al raggiungimento dello scopo, per normalizzare le modalità di raccolta degli stessi e per sviluppare le procedure di analisi e elaborazione delle informazioni. Così, tra il 1990 e il 1996, l'ICR ha realizzato il primo GIS in grado di produrre una MAPpa aggiornabile del RISchio di perdita del patrimonio culturale (1, 2). Da questo deriva il nome MARIS dato al progetto, conosciuto anche come SIT CdR (Sistema Informativo Territoriale per la “Carta del Rischio”). Le Soprintendenze del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali (MBCA) sono state individuate come utenti preferenziali del sistema, senza comunque trascurare l'esistenza di altri soggetti interessati, come ad esempio le Amministrazioni Locali (Regioni, Province, Comuni), le Diocesi e le Università, che anche concorrono alla attività di tutela e salvaguardia dei Beni Archeologici, Architettonici, Artistici e Storici presenti sul territorio. Obiettivo principale del sistema è quello di arrivare a conoscere il Rischio di perdita, cui ogni bene del patrimonio culturale è soggetto, per mettere questa informazione a disposizione della programmazione. In questo modo chi deve prendere decisioni sulle attività di conservazione e restauro potrà avvalersi anche di questa informazione fondamentale. Molto spesso vengono proposte iniziative più o meno onerose finalizzate alla compilazione di una fantomatica graduatoria dei beni più a rischio, senza pensare che tale risultato mai potrà essere raggiunto in modo corretto, se prima non si realizzano le condizioni operative per determinare questo rischio con lo stesso metro di misura per ogni bene del patrimonio.

L'indirizzo metodologico che ha consentito lo sviluppo del SIT MARIS è maturato nel corso degli ultimi 30 anni, grazie alle esperienze vissute in tema di applicazione delle indagini 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 interventi sistematici di conservazione e manutenzione dei beni, una strategia basata sulla prevenzione del danno. L'origine più lontana di questo indirizzo può essere ritrovata 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 delle sollecitazioni esterne (ad esempio i fattori ambientali, gli inquinanti etc) e la manutenzione programmata dei beni. Il primo tentativo di attuare questa strategia risale al 1975, quando l'ICR, sotto la direzione di Giovanni Urbani, ha elaborato il "Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in

Umbria". Se la proposta fosse stata sostenuta allora da una più convinta decisione politica di attuazione del piano, oggi si sarebbe potuto contare sui dati acquisiti e sulle verifiche effettuate sistematicamente per tutto questo tempo in un territorio campione che, come la regione Umbra, è significativamente rappresentativo di tutta la complessa realtà del patrimonio culturale italiano (3 - 6).

In verità, se ricordiamo questa immaturità politica non dobbiamo dimenticare lo stato delle capacità informatiche di allora. Infatti i primi personal computer, che sono apparsi solo alla fine degli anni settanta, avevano solo poche decina di kilobyte di memoria di RAM e, solo oggi grazie alle sinergie create dall'abbinamento calcolatori e reti di comunicazione per la trasmissione delle informazioni, si sono create le condizioni per poter realizzare un vero e proprio GIS, funzionale alle esigenze di conservazione e manutenzione dei beni storico artistici, architettonici e archeologici.

Modelli, strumenti e dati

Dato un certo insieme di elementi, il rischio viene definito da un punto di vista statistico, mettendo 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. Applicando questo approccio al patrimonio culturale si possono considerare i beni storico artistici come le unità di una particolare popolazione statistica e calcolare i livelli di rischio cui dette unità sono soggette attraverso i valori che i Fattori di Rischio possono assumere per ognuna di esse. Ciò implica, ovviamente, che tali fattori possano essere quantificati, o meglio misurati, per ogni unità della popolazione e per ogni unità territoriale su cui la popolazione insiste. Di conseguenza, la realizzazione del sistema informativo e della sua banca dati è stata dimensionata assumendo il **monumento** come elemento minimo georeferenziale alla scala del bene (unità statistica della popolazione considerata) di cui bisogna calcolare il rischio di perdita, e il **comune** come elemento minimo della scala territoriale (unità territoriale) di cui bisogna quantificare i fattori di rischio. In relazione agli individui che popolano il patrimonio culturale bisogna dire che altre classi di beni e tipologie, come dipinti su tavola, tele, reperti archeologici etc., in quanto beni mobili, sono state considerate associabili ad un bene/contenitore, che meglio risponde alla scala dimensionale su indicata. Vedremo più avanti come, con l'evoluzione del GIS, è possibile migliorare la risoluzione spaziale della scala territoriale spostandosi dalla griglia amministrativa, formata dagli 8100 comuni, a quella formata dalle 323.647 sezioni di censimento, o ad altre griglie con andamento regolare. Se si considera che il danno subito da un bene è il risultato di un processo di deterioramento non scomponibile in eventi elementari esprimibili solo in termini probabilistici e che il meccanismo secondo cui si produce il danno coinvolge un elevato numero di variabili legate tra di loro in modo articolato e complesso, è facile accorgersi che l'applicazione di un modello di Rischio rigorosamente statistico non è possibile in quanto bisognerebbe definire a priori sia l'evento dannoso sia il contesto stocastico in cui l'evento può avvenire. Poiché l'ambito storico artistico non consente una misura del rischio in tali termini, si sono individuate allora le variabili fisiche e sociali che influiscono sul processo di deterioramento da utilizzare nella quantificazione del rischio, ponendo in relazione funzionale il Rischio con i Fattori di Rischio. Ciò significa che il modello sviluppato è in pratica un modello misto, che si avvale allo stesso tempo di metodologie statistiche e deterministiche nei processi di calcolo dei parametri e nell'analisi dei dati. Da questo modello misto 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 esprimerne il livello attraverso il calcolo di indici, indipendentemente da una loro possibile correlazione con una valutazione di probabilità vera e propria, come è nel caso del dado, dove di fronte all'evento lancio, la probabilità che esca il numero 6 (o qualsiasi altro numero segnato su una delle sei facce) vale $1/6$ è determinabile a priori. Allo stesso modo la misura dei diversi Fattori di Rischio è stata espressa in termini di Indicatori dei Fattori di Rischio. In pratica tali fattori sono stati suddivisi e organizzati secondo una logica deterministica di causa e effetto, che vede due componenti principali:

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

In questo modo è possibile esprimere il Rischio in funzione di queste due componenti e misurarne l'intensità attraverso la misura delle grandezze fisiche, che concorrono alla loro determinazione. 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 parametri e dei fenomeni che si vogliono analizzare: ciò ne consente la rappresentazione geografica territoriale e la sua evoluzione nel tempo. Oltre alla quantificazione delle grandezze fisiche che, caratterizzando il dominio della vulnerabilità e quello 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 definizione del sistema fisico di riferimento, ossia degli elementi geografici di base che caratterizzano lo spazio in cui i beni sono collocati. Altra determinazione di base è stata quella di quantificare gli elementi costituenti il patrimonio culturale, per poter inserire e considerare anche i beni culturali tra gli elementi geografici di base. In merito a questo punto bisogna evidenziare che, in via preliminare, si è dovuto affrontare e risolvere il problema della conoscenza della distribuzione del patrimonio culturale italiano per area territoriale e della sua consistenza locale e totale. Questa è un'informazione essenziale senza la quale è impossibile dimensionare la banca dati, le funzionalità e i processi di calcolo del sistema informatico. L'attuale stato di sviluppo del SIGEC, il Sistema Informativo Generale del Catalogo sviluppato dall'ICCD, ancora oggi è impegnato nella soluzione di questo problema.

La Carta della distribuzione del patrimonio italiano prodotta dal MARIS tra 1990/95 si configura come il primo censimento dei beni immobili (architettonici e archeologici) organizzato in banca dati territoriale. Tale censimento risulta essere ancora quello più completo e esteso in modo omogeneo a tutto il territorio italiano (**7, 8**). La fonte su cui è stato effettuato il censimento è di natura bibliografica e i dati sono stati ottenuti dalle Guide d'Italia del Touring Club Italiano (TCI) e dalle Guide Archeologiche Laterza. Anche se l'informazione quantitativa ottenuta costituisce una stima per difetto dell'intero patrimonio culturale, essa si è rivelata utile e necessaria per avviare lo sviluppo del GIS, l'organizzazione della banca dati e la definizione iniziale delle procedure di analisi e di calcolo.

Calcolo del Rischio

Il modello sopra descritto ci permette di esprimere il rischio come una funzione generale delle componenti di vulnerabilità e di pericolosità:

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

A tal fine sono stati individuati tre domini della Vulnerabilità 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 .

La vulnerabilità è pertanto una funzione che, definiti i tre domini, può essere calcolata attraverso i rispettivi valori 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:

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

$n_1...n_p$ sono le variabili utilizzate per quantificare lo stato di conservazione della struttura in base al grado di urgenza, gravità e estensione che più tipologie di danno possono assumere in relazione agli elementi costruttivi fondamentali del bene i-esimo.

$o_1...o_m$ sono le variabili utilizzate per quantificare le dinamiche d'uso e la sicurezza sempre del bene i-esimo.

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 con gli inquinanti dell'aria sono stati utilizzati per descrivere il dominio ambientale/aria P_1 ;
- le caratteristiche geomorfologiche del suolo e del sottosuolo sono state prese per definire il dominio statico/strutturale P_2 ;
- le dinamiche demografiche e socioeconomiche sono state infine considerate per caratterizzare il dominio antropico P_3 .

La Pericolosità P è pertanto una funzione che, descrivendo il processo fisico di deterioramento dei beni, può essere calcolata attraverso i valori assunti dai fattori di pericolosità del rispettivo dominio e utilizzata per indicare la potenziale aggressione esercitata dal territorio rispetto alla superficie del manufatto, alla struttura e al danno derivante da attività dirette dell'uomo per il bene i-esimo eventualmente presente sull'area territoriale del comune j-esimo:

$$P_{1j} = P_1(t,xyz,a_1...a_n...), P_{2j} = P_2(t,xyz,b_1...b_n...), P_{3j} = P_3(t,xyz,c_1...c_n...)$$

dove

$a_1...a_n$ sono le 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-esima unità territoriale;

$b_1...b_n$ sono le 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;

$c_1...c_n$ sono le variabili utilizzate per quantificare il processo fisico di potenziale degrado dei beni in base ai valori assunti da dinamiche correlate direttamente o indirettamente ad attività antropiche nella j-esima unità territoriale.

Il Rischio viene calcolato in funzione dei valori della Vulnerabilità del bene e di Pericolosità della zona territoriale di appartenenza del bene: $R_{ji} = R(V_{1i}, V_{2i}, V_{3i}; P_{1j}, P_{2j}, P_{3j})$

Raccolta dei dati

L'individuazione delle variabili per il calcolo degli indicatori è stata determinante per selezionare sia le fonti esistenti da cui attingere dati significativi per la Pericolosità che per definire modalità normalizzate per l'acquisizione diretta dei dati, necessari per la Vulnerabilità. I dati sono stati memorizzati mediante procedure software che ne garantiscono il formato omogeneo nell'archiviazione, ciò al fine di rendere il flusso delle informazioni, indipendente dall'hardware, e integrabile con altre banche dati esistenti. Pertanto, all'incremento della **banca dati** concorrono non solo le amministrazioni che si occupano della tutela dei beni ma anche quelle che si occupano della tutela del territorio.

DATI DI BASE

La Carta del Rischio è un Sistema Informativo Geografico (GIS) basato su una struttura logica e fisica che permette di acquisire dati, organizzarli, analizzarli, individuare legami tra le cause dei fenomeni dannosi e gli effetti prodotti, utilizzando un riferimento topografico spaziale univoco e coerente, rappresentato dalla cartografia geografica di base (rilievi montuosi, fiumi, strade, etc) in cui, attraverso l'indirizzo geografico, si è compreso anche la localizzazione territoriale dei beni culturali (fig.1, fig.2).

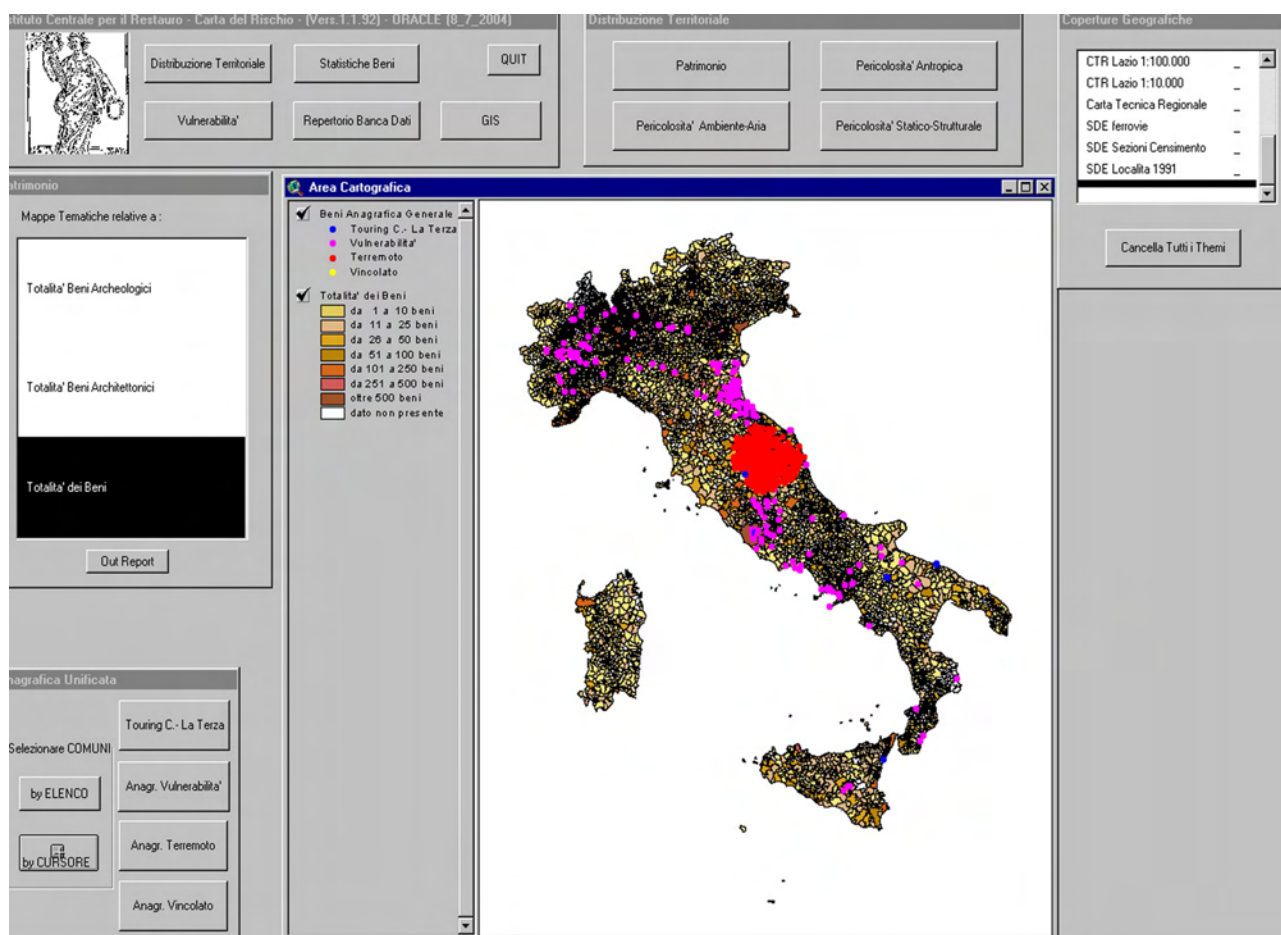
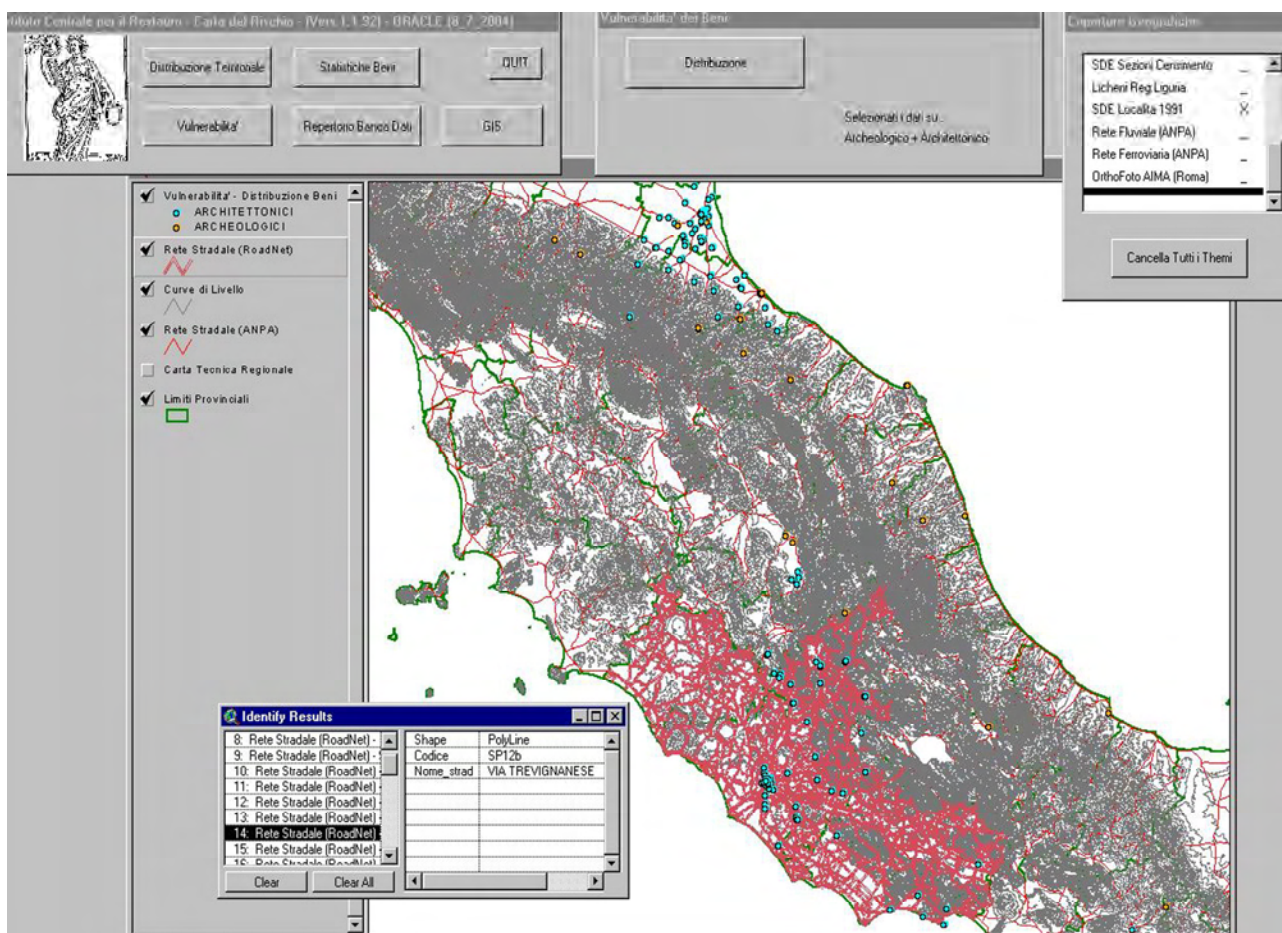


fig 1



fig_2

Al fine di pervenire alla rappresentazioni cartografiche delle informazioni e degli indici, è stata utilizzata una cartografia di base di sufficiente risoluzione (scala 1:10.000) per l'indirizzo geografico delle entità (coordinate) e per la definizione topologica degli elementi da rappresentare in relazione agli aspetti territoriali.

Tale cartografia si riferisce a contenuti di tipo amministrativo, geografico e architettonico/archeologico e comprende:

- il reticolo dei limiti amministrativi regionali, provinciali, comunali fino alla sezione di censimento (dall'ISTAT) e si sono costruiti i limiti territoriali di competenza amministrativa delle Soprintendenze;
- il piano quotato (DTM – Modello Digitale del Terreno) per la descrizione orografica secondo curve di livello ogni 100 m (scala 1:25.000) (dal Servizio Geologico Nazionale);
- il reticolo della cartografia al 25.000 al fine di utilizzare un inquadramento noto e coerente nelle rappresentazioni di maggior dettaglio (dall'IGM);
- il reticolo stradale, idrico e ferroviario, le aree di bacino e lacuali (scala 1:25.000) (dall'ANPA);
- le ortofoto (scala 1:10.000) di tutto il territorio al di sotto della quota 2.000 m (dall'AGEA);
- il reticolo delle strade statali, provinciali e comunali di tutto il territorio (scala 1:10.000) (da Tele Atlas).
- la digitalizzazione dei dati da fonte TCI e Laterza per la formazione della banca dati del patrimonio;
- la determinazione delle coordinate geografiche e dello stato di conservazione di ogni bene (le attività in corso prevedono di portare la georeferenziazione a 100.000 beni entro il 2004);

- la determinazione dello stato di conservazione di ogni bene attraverso la schedatura della Vulnerabilità

PATRIMONIO

Per il **patrimonio dei beni**, che rappresenta il settore di specifica competenza, sono stati utilizzati due modelli schedografici, uno dedicato al censimento da fonte bibliografica con cui sono stati acquisiti i dati sulla consistenza, la distribuzione e la tipologia dei beni su scala nazionale, l'altro dedicato al censimento sul campo, con cui vengono acquisiti i dati relativi allo stato di conservazione dei beni utilizzati per calcolare gli indici di vulnerabilità. Il modulo schedografico è stato studiato in relazione a tre categorie principali di beni: archeologia; architettura e contenitori museali di beni mobili (Fig 03).

fonte t.c.i./Laterza	scheda t.c.i./Laterza	55.07
		6
fonte terremoto Umbria	scheda terremoto	3748
fonte vincolato Liguria	scheta vincolato	4212
fonte vulnerabilita	scheda opera d'arte	1867
fonte vulnerabilita	scheda architettonica	817
fonte vulnerabilita	scheda archeologica	431
fonte vulnerabilita	scheda rep. Archeologico	843
fonte vulnerabilita	scheda antropica	329
	Totale schede	67.32
		3

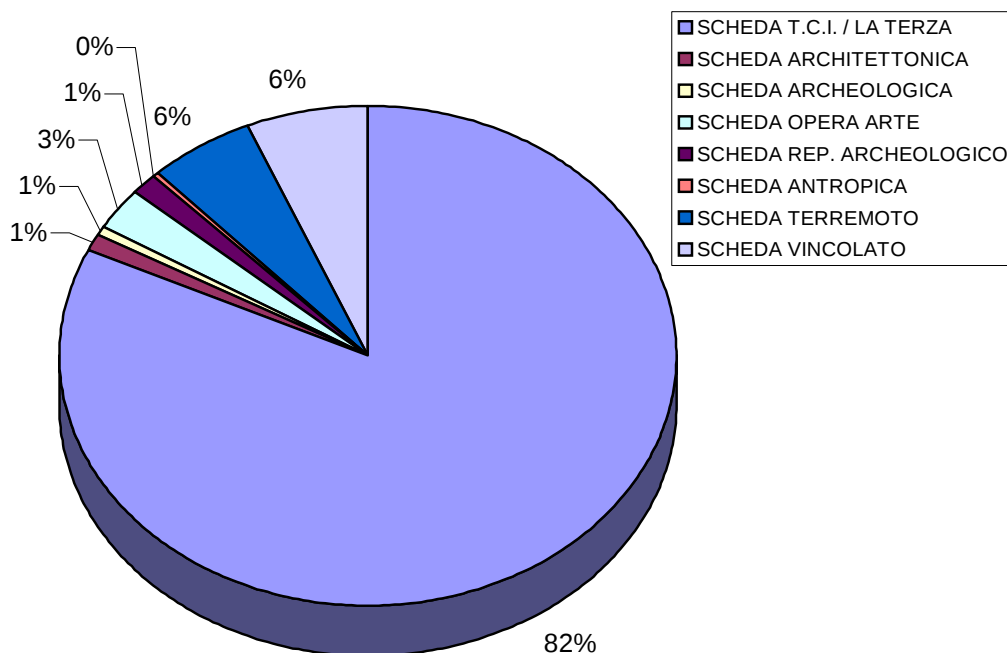


Fig 3

VULNERABILITA'

La competenza dell'ICR nello specifico settore della conservazione è servita per selezionare le variabili utili a definire lo stato di conservazione dei beni e per mettere a punto il modello schedografico normalizzato da utilizzare su campo per la raccolta dei dati. In questo ambito sono

stati utilizzati anche apparati strumentali per effettuare un rilievo geometrico speditivo del bene e dare un supporto grafico e fotografico ai dati di 1° livello utilizzati per la definizione dello stato di conservazione. Limitatamente a tre siti campione (Roma, Gaeta e Subiaco) sono state utilizzate postazione fisse e mobili, dotate di apparati per il prelievo, l'analisi di campioni e l'acquisizione automatica di inquinanti dell'aria, dati climatici, microclimatici, mediante campionamento normalizzato e misura standard delle grandezze considerate, al fine di effettuare approfondimenti di 2° livello, verifiche sulle variabili utilizzate per il calcolo della pericolosità e controlli sulle funzioni di danno adottate (9, 10). Gli indicatori di vulnerabilità sono stati elaborati attraverso analisi statistiche condotte su un campione di circa 800 beni schedati (405 architettonici; 218 archeologici) in base alle variabili scelte. In particolare, l'analisi condotta ha portato ad una individuazione di parametri specifici per il calcolo degli indici di vulnerabilità dei beni architettonici e archeologici. Il modello schedografico risulta articolato in due sezioni principali: la prima dedicata alle informazioni anagrafico - identificative del bene, la seconda dedicata al suo stato di conservazione. Quest'ultima, a sua volta, è suddivisa in funzione dei livelli di approfondimento che si possono raggiungere. Per avere un'idea della logica con cui funziona la scheda conservativa utilizzata dal SIT CdR, è utile confrontare i modelli in uso per l'architettura e per l'archeologia. Il software sviluppato permette l'acquisizione dei dati relativi allo stato di conservazione degli elementi tipologici dei beni corrispondenti, secondo lo schema in tab.1,

ARCHITETTURA	ARCHEOLOGIA
<i>Elementi costruttivi e decorativi</i>	<i>Elementi costruttivi e decorativi</i>
Fondazioni (anche se difficilmente ispezionabili)	Fondazioni
Strutture in elevazione	Strutture in elevazione
Strutture di Orizzontamento e Solai	Strutture di Orizzontamento e Solai
Coperture	Coperture
Collegamenti Verticali	Collegamenti Verticali
Pavimenti Interni	Pavimenti Interni
Pavimenti Esterni	Rivestimenti e Decorazioni
Rivestimenti	
Apparato Decorativo Interno	
Rivestimenti e Decorazioni Esterne	
Infissi interni	
Infissi esterni	
<i>in relazione alla gestione</i>	<i>in relazione alla gestione</i>
Smaltimento acque piovane	Uso del bene
Impianto idrico	Impianti sistema deflusso acqua
Impianto elettrico	Impianti smaltimento acque/idrovore
Impianto di riscaldamento	Coperture di protezione

Tab_1

schema che con le debite analogie è stato mantenuto invariato nella sua struttura anche per le opere mobili. Al momento della schedatura conservativa di ogni bene viene stimata l'intensità di 6 tipologie di danno che possono essere riscontrate per ogni elemento costruttivo e decorativo. Le tipologie di danno, valutate per ogni elemento, si classificano graduando gravità, estensione e urgenza del danno secondo una scala di intensità suddivisa in più livelli, (vedi tab.2).

Tipologie di danno
<i>Danno generico strutturale</i>
Disgregazione Materiali
Umidità
Attacchi Biologici
Alterazione Strati Superficiali
Parti Mancanti

Scala dell'intensità del danno	
Gravità	(1, 2,)
Estensione	(20%, 40%, 60%, 80%, 100%)
Grado di urgenza	(1, 2, 3)

Tab.2

Spesso vengono sviluppate nuove cartelle cliniche, simili alla scheda normalizzata proposta per la conservazione programmata, ma strutturate per raggiungere un livello ancora più approfondito nella definizione dello stato di conservazione del bene (11 - 13). La flessibilità del Sistema MARIS permette l'integrazione dei dati o di una eventuale banca dati generata da questa tipologia di schede. Questo può essere fatto solo perché fin dall'inizio è stata prevista la possibilità di estendere a successivi livelli di approfondimento il modello schedografico adottato a condizione che l'organizzazione di queste cartelle cliniche di approfondimento sia compatibile con quella di MARIS. Un esempio concreto di implementazione della banca dati e di integrazione software si è ottenuto con la definizione all'interno della sezione di vulnerabilità archeologica, di uno specifico modello schedografico redatto per le coperture di protezione, dato il condizionamento che esse esercitano nella conservazione dei beni archeologici e nella loro vulnerabilità. Tale modello consente, in maniera sintetica e speditiva, una valutazione dell'efficienza e dell'adeguatezza della struttura di protezione in rapporto all'edificio antico (fig. 04).

fig 4

La compilazione delle schede di vulnerabilità viene guidata da norme di compilazione che si avvalgono, per la maggioranza dei campi, di vocabolari 'chiusi'. L'uso di una terminologia unificata è risultato utile soprattutto per il riconoscimento dei materiali e delle tecniche di fabbricazione, attualmente valida solo per i beni archeologici (Fig. 05).

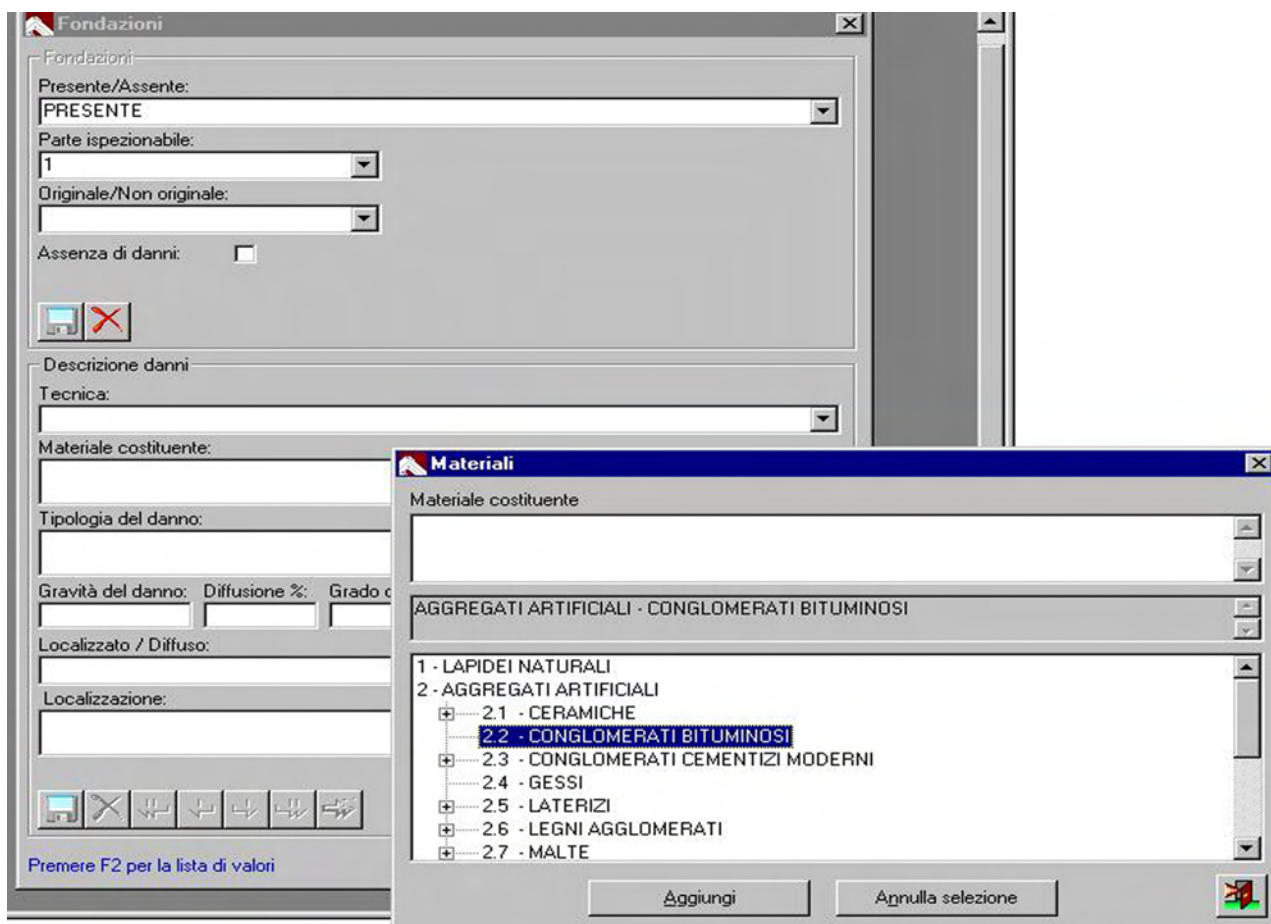


fig 5

Fino ad oggi la schedatura conservativa ha interessato un campione complessivo di 4770 beni e è rappresentativa di diverse tipologie per aree territoriali differenti: Piemonte, Emilia Romagna, Umbria, Marche, Lazio, Campania e Sicilia. La sperimentazione è stata condotta, per fasi successive, su un campione sempre più allargato di beni e ha permesso di scegliere e convalidare le variabili più significative da utilizzare per la determinazione dello stato di conservazione. Quest'ultimo viene di fatto valutato attraverso il calcolo dell'indice di vulnerabilità del bene. Il risultato della sperimentazione ha permesso di individuare un insieme di 200 variabili e di calibrare il peso da attribuire ad ogni singola variabile utilizzata nel procedimento di calcolo. 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 da chi effettua la schedatura e, con l'aumento dei beni schedati, si può anche procedere all'aggiornamento dei pesi, con un conseguente affinamento della scala di vulnerabilità, accompagnato anche da un miglioramento del livello d'affidabilità dell'indicatore.

L'acquisizione dei dati alfa-numeriche viene integrata da allegati grafici e fotografici, relativi al computo metrico dei danni, al rilievo geometrico del monumento (piante, alzati etc) e alla collocazione territoriale geografica (georeferenziazione) (fig.06).

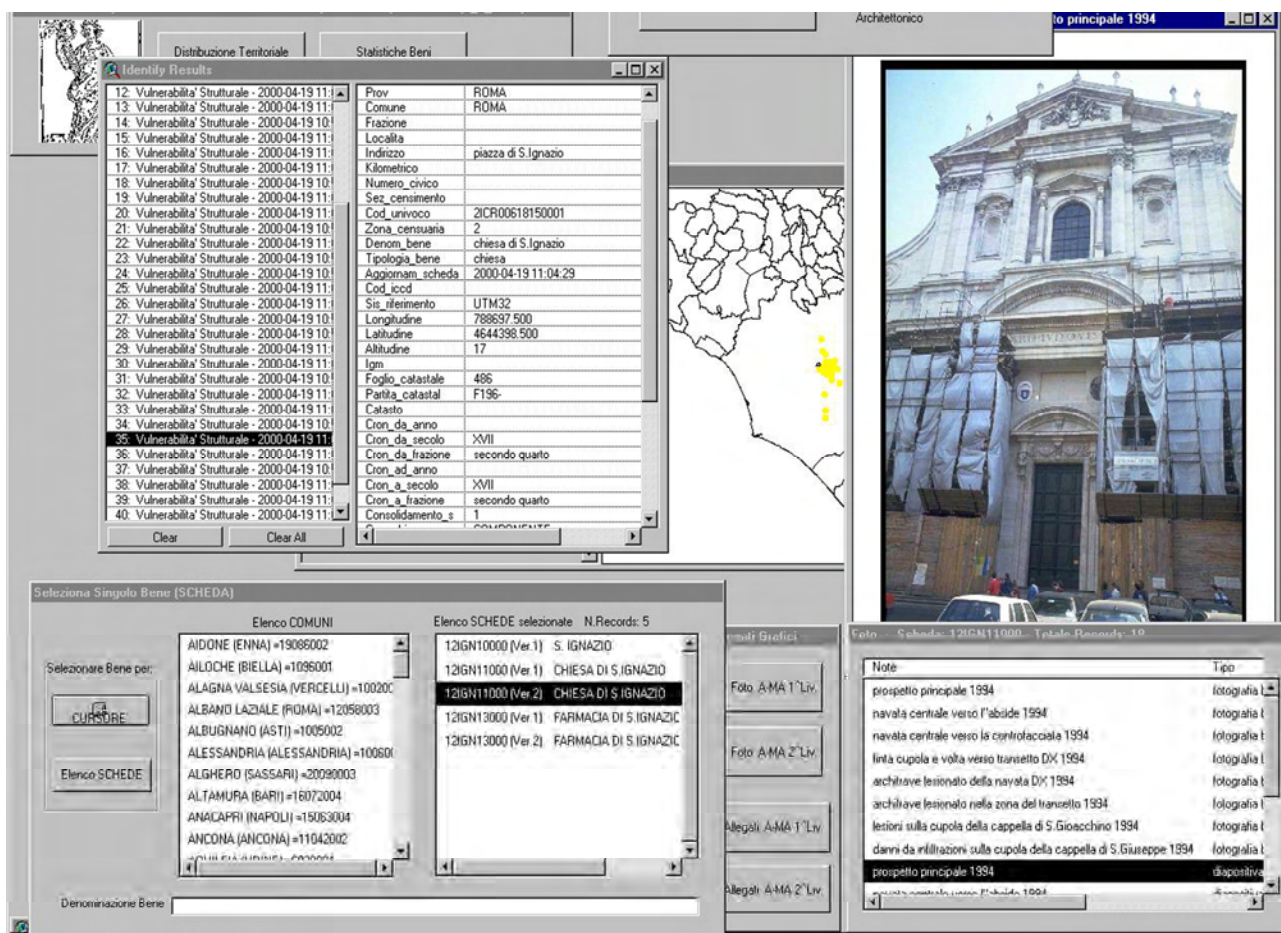
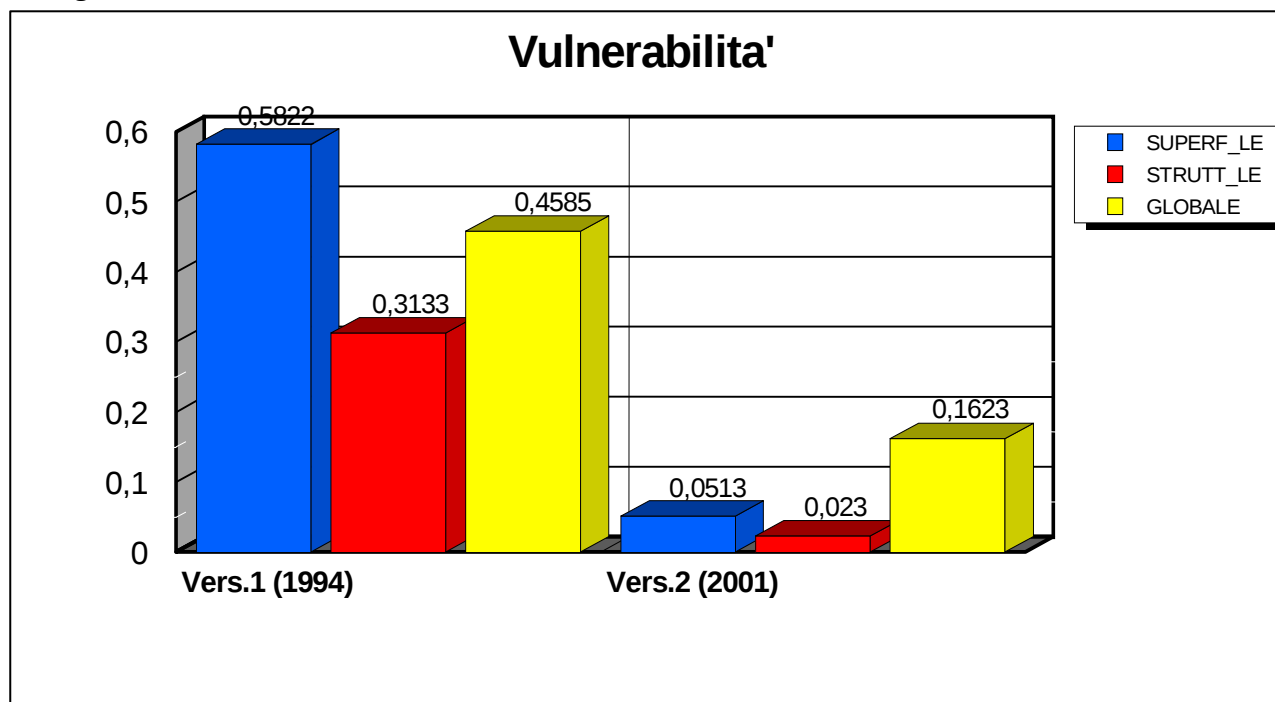


fig. 6

Il criterio univoco che caratterizza il modello schedografico conferisce autonomia nella gestione dell'attività di schedatura, poiché la valutazione dello stato di conservazione del singolo bene utilizza lo stesso metro di misura, garantendo la confrontabilità dei dati sia nella dimensione spaziale che in quella temporale (fig. 07).

Fig. 07



Pertanto, il responsabile della schedatura avrà a disposizione non solo i dati sullo stato di conservazione, ma anche uno strumento per l'organizzazione delle attività di tutela, dal controllo degli interventi eseguiti nel tempo, alla pianificazione e alla programmazione dell'operato futuro, comprese le informazioni sui decreti di vincolo.

La schedatura conservativa integra l'attività di restauro con quella sistematica della prevenzione e permette di costruire le rappresentazioni cartografiche in funzione delle esigenze di analisi territoriale, di controllo e di manutenzione ciclica.

E' utile ricordare che, per la parte anagrafico-identificativa dei beni, l'ICR ha assunto lo standard dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD). Ciò consente l'integrazione e la compatibilità dei dati raccolti nell'ambito delle attività della "Carta del Rischio" con quelli del catalogo, sì da semplificare l'attività degli schedatori. Infatti per i beni già qualificati nei dati anagrafico-identificativi è sufficiente operare 'l'import' di queste informazioni e proseguire nella schedatura conservativa; per i beni privi di definizione anagrafico-identificativa, dopo la schedatura, si potranno trasferire al Catalogo i dati di pertinenza con una semplice operazione di 'export'.

PERICOLOSITA'

Gli indicatori di pericolosità sono stati elaborati utilizzando informazioni provenienti da altre amministrazioni o da enti che, operando sul territorio, già dispongono di una rete attiva di raccolta dati per lo svolgimento dei propri compiti istituzionali. Per il calcolo degli indici si sono adottati algoritmi di classificazione noti e sviluppati in quello specifico settore di pericolosità. Fanno eccezione gli indicatori di erosione e di annerimento, introdotti nell'ambito della pericolosità ambientale aria, per rendere conto della perdita di materiale e delle trasformazioni di superficie imputabili all'azione dei fattori ambientali e inquinanti. Per gli indicatori di pericolosità, come del resto è stato per quelli di vulnerabilità, l'apporto di esperti nello specifico campo della conservazione dei beni culturali ha permesso di raggiungere risultati originali e rilevanti, grazie all'utilizzo delle funzioni di danno. In particolare, nella tab.3

$$PM_{materiale} = PA_{pioggia} + PB_{zolfo} + PC_{acido\ nitrico} + PD_{idrogeno} + PE_{costa}$$

dove

PM = perdita di materiale (micron/anno);

PA = 18,8R (contributo pioggia per effetto carsico m/anno);

PB = 0,18 V_d *SO₂ (contributo per deposizione zolfo micron/anno));

V_d = velocità di deposizione dello zolfo (cm/s)

SO₂ = concentrazione (microgrammi /cm³);

PC = 0,18 V_d *HNO₂ contributo depos. acido nitrico micron/anno));

V_d = velocità di deposizione acido nitrico (cm/s)

HNO₃ = concentrazione (microgrammi /cm³);

PD = 0.016 H⁺R (contributo ione idrogeno micron/anno);

PE = 0.1*18.8*R*Costiero (contributo per effetto costa).

Tab.3

riportiamo l'esempio della funzione di Lipfert e dell'algoritmo introdotto per il calcolo dell'indice di erosione perché questo, insieme all'indicatore di annerimento, è stato definito ad hoc per quantificare il tipo di degrado (Fig. 08).

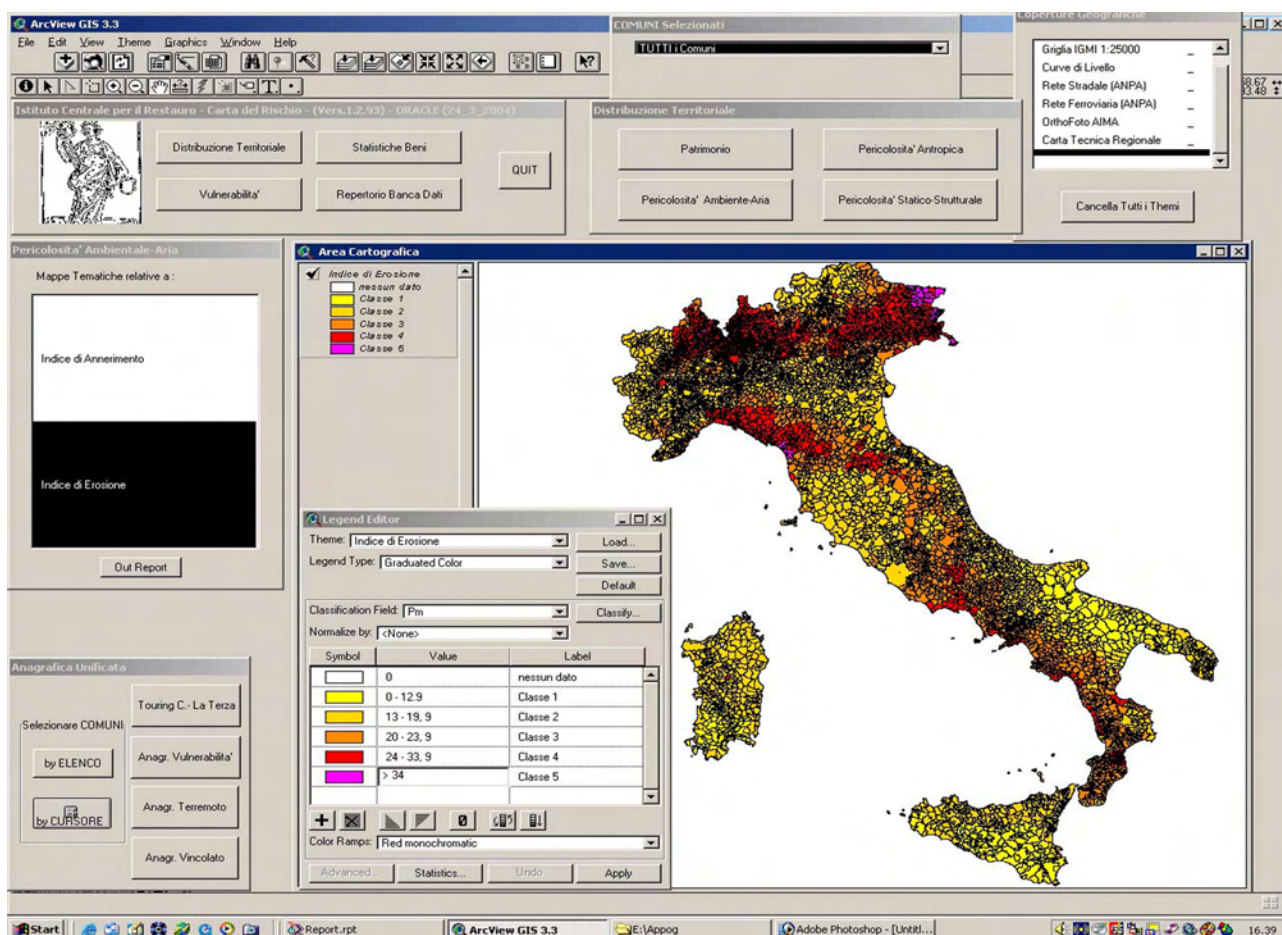


fig 8

Il Calcolo del Rischio

La metodologia messa a punto prevede il calcolo del rischio attraverso la combinazione delle due componenti principali, la Vulnerabilità e la Pericolosità, in cui il bene si trova. In pratica, la funzione di rischio viene costruita attraverso la combinazione dei fattori che, da una parte, caratterizzano lo stato di conservazione dei singoli beni e, dall'altra, sono responsabili dei meccanismi di deterioramento. I primi fattori definiscono il livello degli effetti subiti dal bene a causa della sua esposizione all'aggressione degli agenti di degrado e i secondi il grado di potenziale aggressione caratteristica di una data area territoriale. A tal fine si ricorda che i dati utilizzati dal processo di calcolo sono organizzati all'interno del Data Base secondo 3 domini:

- 'Statico Strutturale' (sisma, frane, inondazione etc per la pericolosità; elementi tipologici costruttivi del bene per la vulnerabilità);
- 'Ambientale Aria' (clima, inquinamento etc per la pericolosità; elementi decorativi e caratteristici della superficie del bene per la vulnerabilità);
- 'Antropico' (turismo, concentrazione della popolazione, spopolamento etc per la pericolosità; presenza di impianti di sicurezza, antifurti per la vulnerabilità).

In base ai dati disponibili, al loro aggiornamento e alle caratteristiche qualitative di precisione, risoluzione, distribuzione spaziale, campionamento temporale, estensione della copertura territoriale è allora possibile conoscere, attraverso le procedure di calcolo, il livello di Pericolosità territoriale, l'indice di Vulnerabilità del singolo bene e l'intensità di Rischio e rappresentarne le corrispondenti distribuzioni spaziali, in modo coerente e omogeneo per tutto il territorio italiano o per l'area territoriale considerata. Utilizzando il modello sviluppato, la conoscenza del rischio può essere sempre aggiornata e allo stato attuale di evoluzione del sistema, sono possibili 3 differenti livelli di definizione del rischio, corrispondenti al diverso grado di approfondimento e di spazializzazione dei dati disponibili.

Primo livello: Rischio Territoriale

Si assume, in prima approssimazione, che tutti i beni del patrimonio si trovino nello stesso stato di vulnerabilità. In questo caso l'intensità di Rischio e la sua distribuzione coincidono in pratica con quelle della Pericolosità comunale; essa è pesata in base alla consistenza e alla distribuzione dei beni presenti in ogni comune. Le carte tematiche già disponibili costituiscono un primo prodotto di sintesi a copertura nazionale omogenea e coerente, esse visualizzano, infatti, sotto forma di rappresentazione cartografica, la distribuzione e l'intensità di un primo livello di rischio riferito ai beni già schedati da fonte bibliografica in rapporto alle 8100 aree dei comuni italiani e in funzione delle tre componenti di pericolosità. Il primo livello permette di analizzare, in relazione alle principali differenti tipologie di beni, i diversi i fattori di rischio (frane, valanghe, dissesti, esondazioni, terremoti, vulcanismo, inquinanti, aerosol, concentrazione demografica, spopolamento, pressione turistica, furti), che definiscono i domini delle rispettive componenti di pericolosità, sia a livello di massima aggregazione che in forma disaggregata (**fig. 09**).

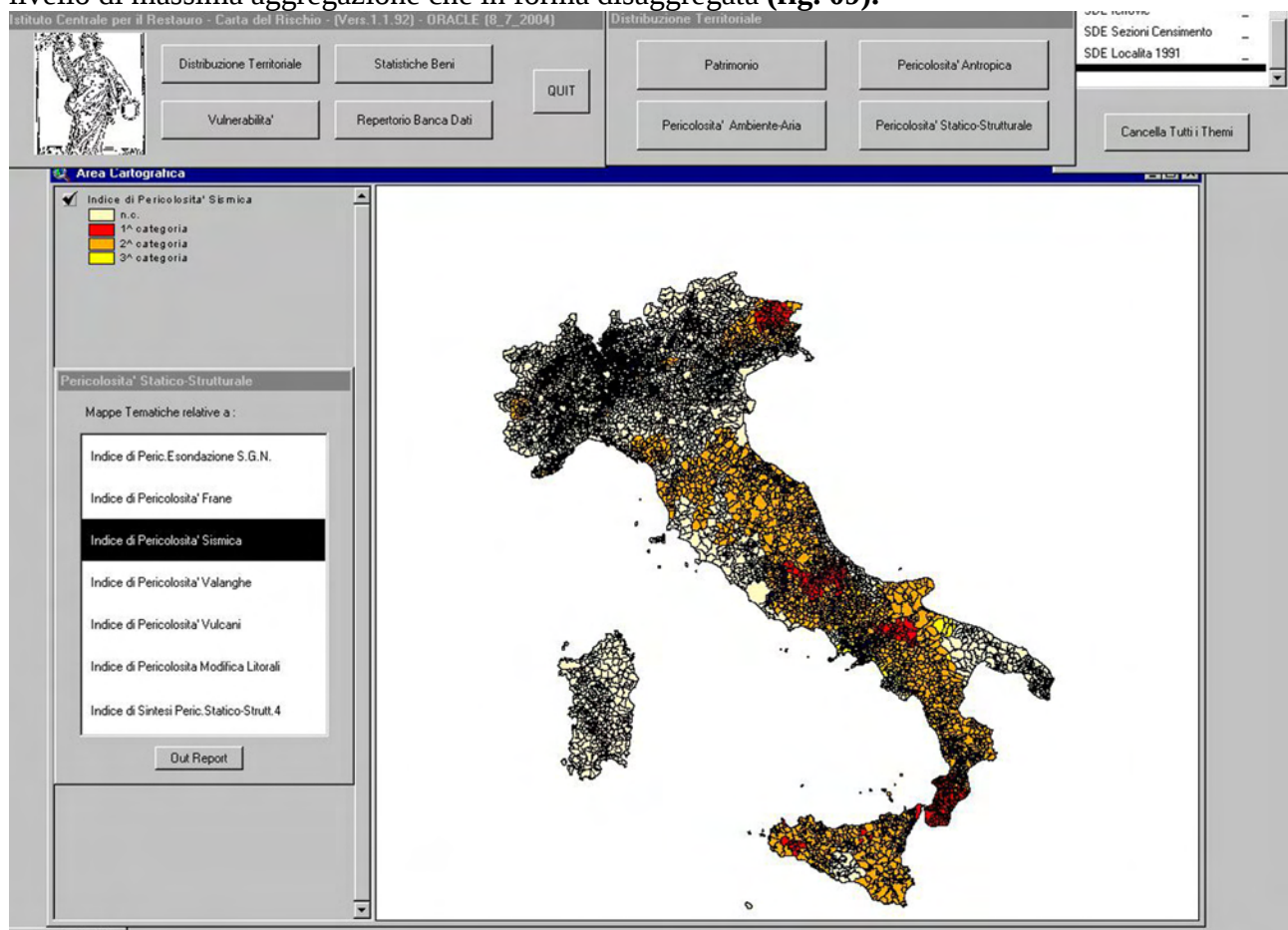


fig.9

Secondo livello: Rischio Individuale

Si ottiene incrociando la vulnerabilità del singolo bene, determinata nelle tre dimensioni Statico/Strutturale, Superficiale e Antropica con la Pericolosità. In questo caso, l'algoritmo di calcolo del Rischio attribuisce alla Vulnerabilità un peso 4 volte maggiore della Pericolosità territoriale comunale. Questo è giustificato dalla migliore definizione della componente Vulnerabilità che viene determinata attraverso la valutazione diretta dello stato di conservazione del singolo bene.

Terzo livello: Rischio Locale

Si ottiene combinando la vulnerabilità del singolo bene con una pericolosità territoriale definita ad una risoluzione spaziale maggiore di quella comunale. E' questo il livello più difficile e oneroso da ottenere, perché per molti fattori di pericolosità non esistono dati disponibili in una sufficiente scala di dettaglio e al tempo stesso omogenei e uniformi a tutto il territorio nazionale. Al fine di pervenire

a questo grado di risoluzione l'indirizzo metodologico proposto dal progetto "Carta del Rischio" individua nella dimensione della sezione di censimento (e/o delle celle elementari regolari definite dal reticolo EMEP) l'unità minima di spazializzazione per i dati che devono essere utilizzati nella costruzione del Rischio Locale. E' questo il grado di risoluzione spaziale che gli esperti di GIS considerano adeguato per la definizione locale degli indicatori di Pericolosità **(14)**. L'utilizzo integrato dei reticoli ISTAT e EMEP permette di determinare il rischio locale secondo modalità univoche valide in tutto il territorio nazionale e compatibili anche con i protocolli concordati fra i diversi Paesi aderenti alla Convenzione di Ginevra, ad esempio, per ridurre le emissioni nazionali d'inquinanti atmosferici **(15)**. In questo modo, l'indicatore di pericolosità ricavato in un dato ambito geografico può essere confrontato con i risultati del calcolo ottenibili in qualsiasi altra area territoriale nazionale o estera. Diversamente, quando le condizioni di coerenza della disaggregazione spaziale non si verificano omogeneamente per tutto il territorio e il criterio di costruzione degli indicatori è regolato dalla capacità di valutazione del soggetto che di volta in volta opera, come nella sperimentazione condotta dalla regione Lombardia in Val Camonica e Caselle Landi **(16, 17)**, il calcolo del rischio locale perde la possibilità di confronto e non può essere utilizzato per generare carte tematiche anche se la risoluzione spaziale fosse migliore di quella proposta dal progetto Carta Rischio dell'ICR.

Dall'analisi dei dati presenti nel Data Base è facile vedere come, grazie alla scelta di spazializzazione su indicata e al criterio univoco e normalizzato seguito per costruire gli indicatori, l'elaborazione del rischio locale è possibile da subito, ad esempio, per gli indicatori della Pericolosità Antropica relativi alla concentrazione della popolazione e alla densità abitativa. Utilizzando i dati dell'ISTAT si può infatti passare immediatamente dalle rappresentazioni cartografiche relative alle 8100 aree comunali a quelle ottenibili attraverso le **323.647** sezioni di censimento. Per altri tipi di indicatori, invece, bisognerà attendere che siano disponibili adeguati modelli e dati con analogo livello di definizione. **(18)** (fig. 10).

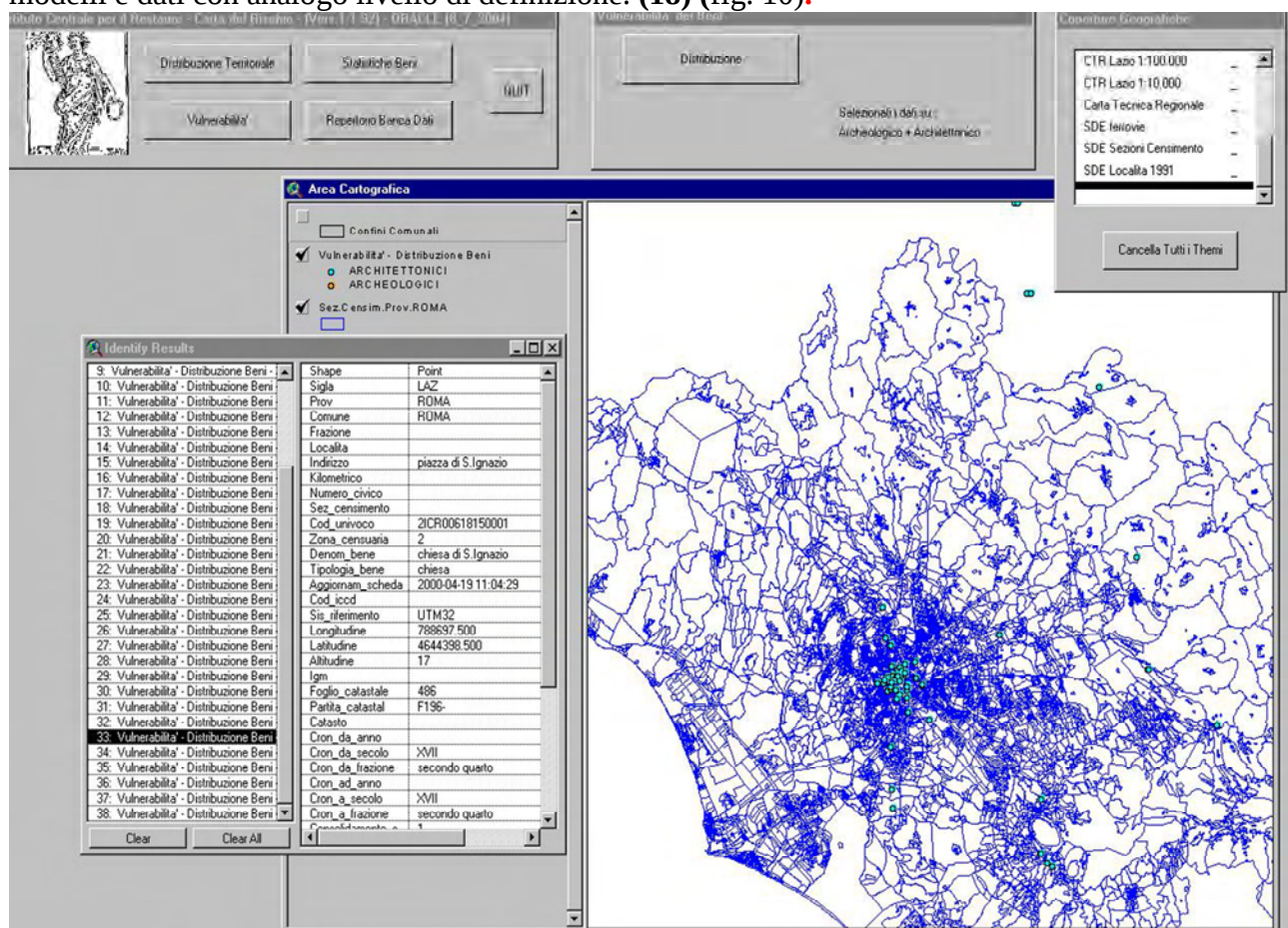


fig. 10

Il SIT CdR ovviamente, mette a disposizione dell'utente tutte le possibilità di studio e di analisi spaziale topologica come, ad esempio, le tecniche della **buffer zone** (fig.11),

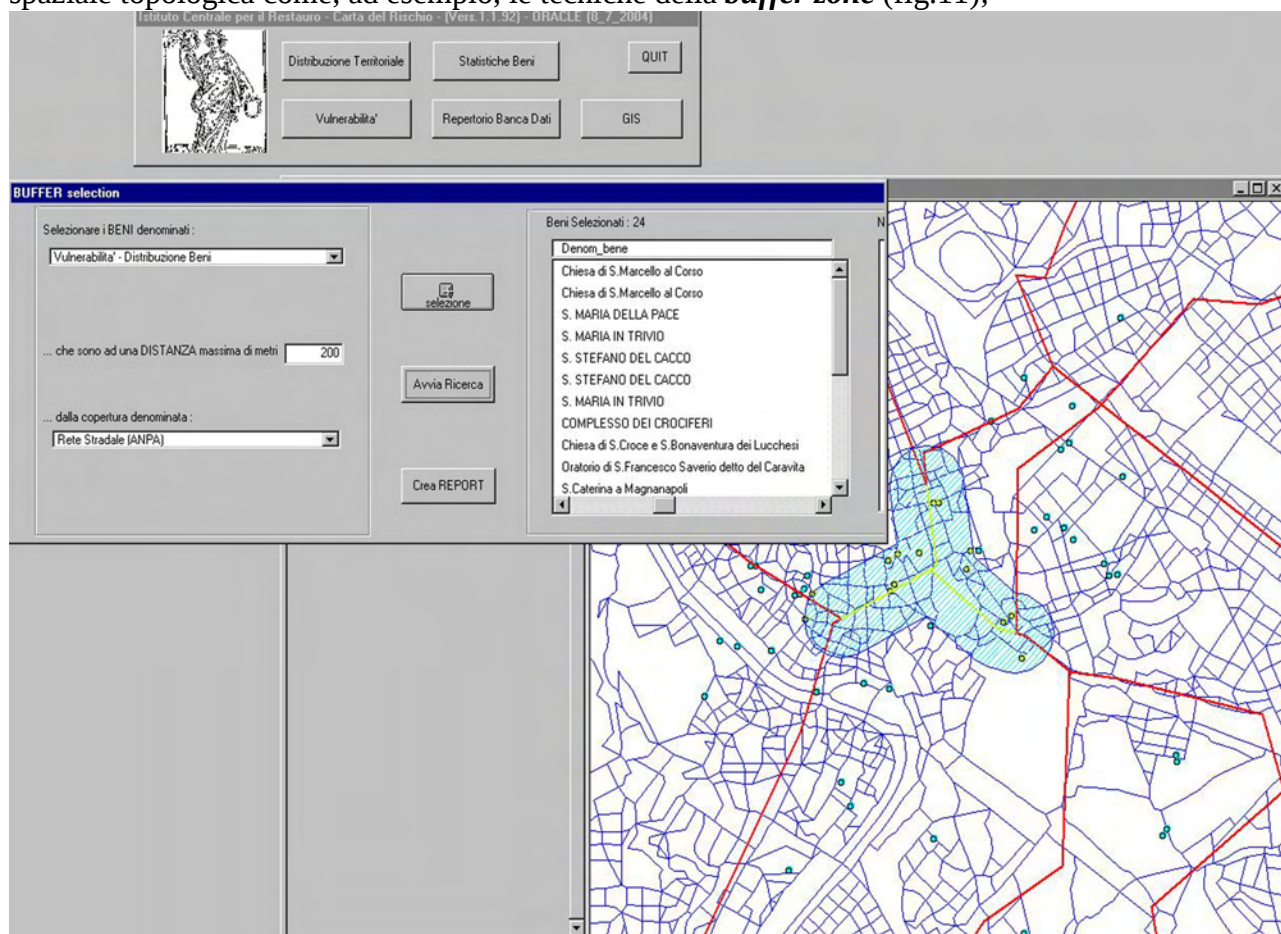


fig.11

normalmente offerte dalla tecnologia dei GIS. Queste potenzialità possono essere utilizzate per studiare e simulare di volta in volta differenti fenomeni di pericolosità e di rischio, senza ricorrere necessariamente all'uso di dati correlati con i reticoli spaziali sopra indicati. Esse non devono, però, essere confuse con i criteri generali che regolano la costruzione sistematica e automatica degli indicatori e delle carte tematiche con coperture estese a tutto il territorio nazionale.

Il programma di sviluppo della "Carta del Rischio" prevedeva fin dall'inizio un'evoluzione del Sistema Informativo Territoriale (SIT) a livello territoriale locale. Uno degli elementi innovativi e irrinunciabili del progetto è infatti quello di considerare i beni del patrimonio culturale nel loro specifico contesto territoriale di appartenenza e nella dinamica temporale dei processi di degrado. La conoscenza del rischio locale può e deve essere perseguita anche attraverso un approccio basato sulla misura diretta degli effetti prodotti sulle opere dal processo di degrado. Ciò è utile e necessario per riscontrare il valore degli indici calcolati e per una puntuale verifica della metodologia. La misura diretta del materiale effettivamente perso (o sovrammesso) da una superficie esposta agli agenti atmosferici e all'azione degli inquinanti è significativa per validare il grado di erosione annua previsto da questo indicatore. Solo il confronto diretto fra la previsione del calcolo e la misura del danno effettivamente subito quantifica la reale attendibilità dell'indicatore, migliorando in concreto le capacità informative del sistema e la conoscenza necessaria all'attività di conservazione e prevenzione. La misura può essere fatta in modo sistematico per una serie limitata ma significativa di siti campione, scelti in modo da rappresentare adeguatamente tutte le classi di pericolosità individuate dal calcolo. Alla base della misura dello stato di conservazione è la possibilità di

definire numericamente la “struttura formale” del manufatto, ad un certo istante della sua vita. Ripetendo l’operazione, in momenti successivi, diventa allora possibile determinare, per differenza, le variazioni subite dalla “struttura formale” del manufatto nell’intervallo di tempo considerato. In questo modo, più propriamente, si misura la velocità di degrado perché la differenza riscontrata fra i due stati è quantificata dal volume di materiale perso (o aggiunto) o da altri parametri fisici misurabili, come la micromorfologia della superficie e/o la rugosità. Parametri utilizzati per caratterizzare la finitura di superficie da cui dipende l’aspetto. **(19 - 28).**

Le sperimentazioni e le ricerche intraprese per approfondire la conoscenza dei fattori locali di degrado costituiscono occasioni fondamentali di studio per poter adeguatamente definire procedure normalizzate utili alla costruzione di componenti locali della Pericolosità Ambientale/Aria e della Pericolosità Statico/Strutturale.

Interfaccia di consultazione

MARIS 2001 è lo strumento software ideato e realizzato dal Laboratorio di Fisica e Controlli Ambientali dell’ICR allo scopo di facilitare l’uso delle informazioni presenti nella banca dati del Sistema Informativo Territoriale “Carta del Rischio”. Il software sviluppato, con la collaborazione di Mario Bloise, è la cosiddetta “interfaccia utente *friendly*” che permette anche a persone non esperte di informatica di raccogliere e organizzare i dati sullo stato di conservazione del patrimonio storico-artistico, architettonico e archeologico italiano, insieme ai parametri fisici che ne governano i processi di degrado **(29)**. Utilizzando MARIS 2001 tutti gli studiosi, i tecnici e i responsabili dei Beni Culturali che sono interessati, con finalità differenti ai problemi della conservazione, del restauro e della tutela dei Beni Culturali possono accedere facilmente alle informazioni del Sistema. I risultati delle interrogazioni sono presentati attraverso tabelle alfanumeriche, in forma grafica (disegno vettoriale, tematismi, cartografia etc.) e in forma di immagini vere e proprie (raster). Il risultato della ricerca, oltre ad essere visualizzato, può essere stampato e/o salvato in file report, utilizzabili così da qualunque programma di editor per essere ulteriormente elaborato e importato in propri documenti, come dimostrano anche tutte le figure portate a corredo di questo articolo. L’interfaccia utente, così come è stata sviluppata, si configura come una guida immediata e utile per individuare la tipologia di dati presenti e per comprendere, anche in via preliminare, la tipologia di informazioni che si possono ottenere dal *DATA BASE*, la sua organizzazione riflette, infatti, l’architettura del Sistema e fornisce una prima idea del funzionamento e delle finalità che caratterizzano il progetto “Carta del Rischio” (per una conoscenza più approfondita si rinvia comunque al sito internet dell’ICR www.icr.arti.beniculturali.it).

Pubblicato in

Giorgio Accardo, Carlo Cacace, Roberto Rinaldi, “Il Sistema Informativo Territoriale della carta del Rischio” in ARKOS – Scienza e Restauro dell’Architettura Nardini Editore Anno VI – Nuova Serie- Aprile/giugno 2005