

## **Geomatica e Beni Culturali: tecniche integrate per la documentazione e per la gestione del rischio**

Gabriele Bitelli, Marcella Mannina

DICAM - Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2 Bologna  
(gabriele.bitelli; marcella.mannina)@unibo.it

### **Riassunto**

La gestione del rischio nel campo dei Beni Culturali, ai fini della tutela e salvaguardia, è strettamente legata alla conoscenza del patrimonio e del livello del rischio a cui esso è esposto nel contesto in cui si trova. Queste attività vedono un crescente interesse per l'impiego di tecniche e tecnologie della Geomatica, con ambiti applicativi diversi che si possono classificare in due categorie principali:

- documentazione di beni mobili ed immobili a fini di studio, conoscenza, conservazione e restauro: le tecniche geomatiche, anche grazie al fatto che i loro prodotti sono oggi digitali, consentono una descrizione metrica ed anche qualitativa che può avvalersi di strumenti di indagine e rilevamento diversi ma interfacciabili tra loro, grazie alla disponibilità di metodi ed algoritmi di trasformazione e fusione di dati;
- controllo e monitoraggio dello stato di beni mobili ed immobili, operazioni che si possono applicare all'oggetto ed all'ambito territoriale in cui esso si trova.

Nel lavoro vengono discusse queste problematiche anche nell'ottica del supporto alla redazione di sistemi informativi per la mappatura del rischio.

### **Abstract**

In the field of Cultural Heritage, and in particular for risk analysis and management, the interest has been increasing to employ the techniques and technology of Geomatics. The activities can be classified into two main categories:

- documentation, in order to obtain knowledge and to preserve and restore. Geomatic techniques and their products are nowadays digital, allowing qualitative and metric description. Different approaches can be fused together using available algorithmic methods, thanks to advanced computing technology;
- control and monitoring; these operations can be applied to the object and to the territorial context in which it is found. This application is of crucial interest in modern integrated risk management.

In the paper these problems are discussed with applications towards the establishment of information systems for risk mapping.

### **Introduzione**

La problematica della gestione del rischio per i Beni Culturali riveste un notevole interesse ed è oggetto di ricerche multidisciplinari nel contesto europeo ed internazionale, di recente legate anche a nuovi ambiti di indagine, tra i quali per esempio quello della correlazione con il cambiamento globale del clima e gli effetti che esso sta producendo. Nel nostro paese la Carta del Rischio, proposta dall'Istituto Centrale del Restauro, esplicitando i fattori di Vulnerabilità e Pericolosità, è un interessante esempio di gestione dell'informazione legata al rischio del bene nel suo contesto territoriale e delle situazioni di pericolosità a cui è esposto.

Ai fini della determinazione di criteri e indicatori per la Valutazione del Rischio per un Bene Culturale mobile o immobile, o in ogni caso per una sua conoscenza rigorosa (condizione essenziale per la gestione di eventuali fattori di rischio), è possibile individuare nelle tecniche e metodologie di rilevamento della geomática potenzialità nuove e caratteristiche di notevole interesse rispetto al passato. Ciò vale per le diverse fasi in cui convenzionalmente si articola la gestione del rischio: da quella della mitigazione, alla preparazione, all'emergenza, al recupero e ripristino.

Le moderne tecniche e tecnologie presentano infatti elementi di grande interesse tra i quali la possibilità di:

- effettuare in caso di emergenza operazioni di rilevamento in tempi molto ridotti, anche su aree vaste, con precisioni molto elevate sia in termini assoluti che relativi;
- integrare fra loro dati digitali acquisiti con tecniche diverse ed anche in tempi diversi, archiviando quando necessario i dati su database geografici che ne consentano una consultazione efficiente e flessibile;
- automatizzare operazioni di rilevamento ripetute, effettuate anche con scansione temporale molto elevata per fenomeni dinamici (monitoraggio in real-time), archiviando i dati su supporto digitale e con possibilità di trigger al presentarsi di situazioni critiche;
- mettere a disposizione nuovi strumenti non invasivi di indagine;
- offrire tecniche di visualizzazione e rappresentazione innovative, atte a gestire il dato "fedele al vero" ma anche contenuti di realtà virtuale.

In ultima analisi la geomática può oggi supportare efficacemente un'ampia varietà di attività a carattere multidisciplinare di conoscenza e diagnostica legate al rischio sul bene culturale, attività che coinvolgano competenze tecnico-scientifiche diverse, dall'esperto in conservazione e restauro al chimico, dall'ingegnere all'architetto ed al fisico.

Nel seguito verranno brevemente passati in rassegna questi aspetti con alcuni esempi applicativi.

### **Tecniche e metodologie della geomática per la documentazione e la gestione del rischio**

La fase di rilevamento geometrico e/o monitoraggio del Bene Culturale prevede di frequente l'inquadramento primario di questo in un sistema di riferimento, globale o locale; lo scopo non è solo quello di inserire il bene nel suo contesto, ma può essere quello di georiferirlo (ed allora il sistema sarà globale o cartografico) o di instaurare un *framework* utile per realizzazioni da ripetersi nel corso del tempo, operando con i metodi della topografia tradizionale mediante total station o meglio con sistemi GNSS. Le tecniche di posizionamento spaziale possono essere adottate anche in modalità cinematica per la georeferenziazione di elementi puntuali, lineari o areali, per esempio per rilevare beni di tipo archeologico, percorsi, itinerari museali a cielo aperto, e la disponibilità di sistemi GPS-GIS consente di mappare e schedare in modo efficiente patrimoni di grande consistenza.

Un'area estesa oggetto di un disastro naturale (centro urbano, mure di cinta, fortificazioni o alti edifici) può essere rilevata con il Lidar aereo; l'acquisizione può comportare tempi maggiori rispetto alla fotogrammetria aerea ma il processo di produzione di modelli tridimensionali risulta più automatizzabile, pur richiedendo sempre elevate competenze nella elaborazione e filtraggio dei dati.

Lo stesso telerilevamento satellitare, con la disponibilità di sensori ad altissima risoluzione geometrica, può essere utile nella caratterizzazione di un sito e della sua vulnerabilità (cartografia a media o anche grande scala) o del danneggiamento che esso ha subito a seguito di un disastro. Molti beni di interesse culturale ed artistico sono purtroppo posti in aree a rischio per eventi naturali (terremoti, inondazioni, frane, subsidenza, ecc.), e il potere disporre di informazioni a larga estensione è importante anche nella fase di mitigazione.

Considerando un singolo oggetto in sé, per esempio un edificio di interesse architettonico o artistico che sia da rilevarsi in un caso di emergenza, esso può essere documentato da un punto di vista geometrico con un rilievo topografico, fotogrammetrico o laser a scansione: va osservato che queste

tecniche si possono integrare molto bene fra loro e possono fornire tutte un dato tridimensionale, pur con i differenti livelli di precisione ed accuratezza che le caratterizzano.

Se si tratta di un sito ampio (ad es. un sito archeologico, o un edificio posto all'interno di un ambiente soggetto a rischio naturale, ecc.) il rilevamento può oggi avvalersi di sistemi innovativi, per esempio riprese da bassa quota tramite UAV (Unmanned Aerial Vehicles) che abbiano a bordo un sistema integrato di navigazione/posizionamento e di acquisizione di immagini digitali; queste ultime potrebbero essere realizzate da sensori operanti nel campo del visibile o in altre bande (per es. infrarosso vicino o termico) a seconda delle esigenze.

Esiste poi un ampio spettro di applicazioni legate al controllo di strutture, o di parti di esse, soggette a movimenti e deformazioni, o che comunque si trovano in situazioni di degrado da un punto di vista fisico e strutturale.

Il monitoraggio può applicarsi con metodi propri della topografia (per es. con moderne stazioni totali di altissima precisione e largamente automatizzabili, o livelli digitali), fotogrammetria digitale (con soluzioni anche in tempo reale), laser a scansione di diversa tipologia ed accuratezza, interferometria radar, geodesia spaziale per applicazioni anche in modalità cinematica; il monitoraggio può essere in continuo o con diversa periodicità. Elementi sotto controllo possono essere punti notevoli, *features* speciali o infine superfici espresse per esempio mediante modelli poligonalari (*mesh*).

Si rende necessaria in questi casi la misura di variazioni geometriche legate a verticalità, spaccamenti, lesioni, degrado superficiale, distacchi di parti in aggetto o in casi più gravi collassi di più notevoli dimensioni; i risultati dei rilievi possono essere efficacemente utilizzati per modelli legati all'ingegneria strutturale o per valutazioni preliminari al restauro. Le tecniche adottate possono variare di caso in caso, richiedendo anche soluzioni tecnologiche ad hoc, specifiche per l'oggetto e la sua situazione logistica; certamente per monitoraggi puntuali si privilegeranno i metodi topografici, mentre il laser a scansione terrestre e la fotogrammetria digitale *close range* potranno trovare applicazione più frequentemente per monitoraggi di tipo areale, dove occorra realizzare modelli numerici della superficie (DSM).

In merito al laser a scansione terrestre ed alla fotogrammetria occorre fare alcune considerazioni.

Nel primo caso il prodotto acquisito durante la scansione consiste in una o più nuvole di punti, che descrivono la forma dell'oggetto scansionato; i sistemi più recenti, a tempo di volo o con analisi della forma d'onda, hanno una produttività molto elevata e precisioni molto spinte. In genere è associata ai punti laser l'informazione radiometrica colore: ciò è possibile utilizzando una fotocamera digitale rigidamente connessa al laser scanner, precedentemente calibrata mediante operazioni di *mounting*, oppure utilizzando un sensore interno al sistema di emissione laser. L'aspetto legato all'immagine è comunque in generale ancora secondario nel *processing* dei dati laser e di frequente, soprattutto per interpretare condizioni di degrado su beni culturali, si associano immagini acquisite con altre camere di migliore qualità o non legate al solo campo radiometrico del visibile: un esempio interessante è quello dell'integrazione tra rilievo laser e rilievo termografico con termocamera. Sul dato 3D prodotto dalla scansione laser grava ancora ad oggi l'incognita di un suo effettivo utilizzo da parte dell'utenza, spesso non preparata o attrezzata per gestire una informazione così pesante e complessa, e dunque propensa a richiedere sottoprodotti di minore valenza come prospetti renderizzati o sezioni ottenute con l'uso di differenti piani di taglio (prodotto peraltro di notevole interesse nell'analisi delle condizioni statiche di una struttura).

Per quanto riguarda la fotogrammetria, è certamente una tecnica da privilegiarsi per la documentazione dei Beni Culturali, sia per la semplicità e rapidità di acquisizione che per la portabilità e relativa economicità della strumentazione. E' una tecnica ampiamente collaudata che ha visto svilupparsi negli ultimi anni molte interessanti soluzioni software ed hardware, e che può essere applicata per applicazioni nel rilievo dell'architettura a fini di documentazione o restauro, di analisi dei cambiamenti (*change detection*), per la tematizzazione di superfici soggette a degrado anche per fattori ambientali (annerimento, erosione, contaminazioni biologiche), nel controllo delle

lesioni, per la mappatura dei danni a seguito di disastri, per la ricostruzione di oggetti da immagini storiche, nell'interazione con altre indagini diagnostiche (distruttive e non distruttive).

Laser a scansione e fotogrammetria possono fornire prodotti simili, anche in termini di precisione, e possono ben complementarsi tra loro; possono essere usati anche in applicazioni speciali come il rilievo di oggetti di piccolissime dimensioni (es. con strumenti laser a triangolazione) o la creazione di elaborati 3D d'ausilio a nuove modalità di rappresentazione, tra le quali percorsi di esplorazione e navigazione virtuale in ambiti museali e di biblioteche o in ambienti ricostruiti in modo virtuale.

### **Dai dati georeferenziati alle carte del Rischio**

Le tecniche geomatiche possono contribuire in maniere efficace alla implementazione di database specifici per la mappatura del rischio legato ai Beni Culturali; l'integrazione di queste tecniche produce dati georeferenziati sui beni distribuiti su un territorio, dati che in ambiente GIS possono essere correlati con un opportuno apparato descrittivo. Si possono così realizzare su una base cartografica numerica veri e propri database dedicati al rischio del patrimonio culturale (Brumana e Monti, 2004), essenziali per attivare iniziative di prevenzione e controllo.

La costruzione di un Sistema Informativo territoriale a cui tutti gli organismi operanti possano accedere al fine di programmare un'azione di tutela e di salvaguardia è l'obiettivo di iniziative che sono state realizzate in diversi ambiti nazionali ed internazionali. Un progetto di ricerca europeo in corso in ambito FP7, EU-Chic (*Cultural Heritage Identity Card*), a cui l'Università di Bologna partecipa, prevede tra i suoi fini il censimento delle differenti metodologie che gli stati europei stanno adottando in questo settore.

In Italia, come noto, esiste una realtà molto interessante che è la Carta del Rischio Nazionale Italiana promossa dall'Istituto Centrale del Restauro (ICR), ora ISCR. La "Carta del Rischio" del patrimonio culturale è un progetto iniziato nel 1992, poi declinato anche in diverse realizzazioni regionali, che prevede "un sistema informativo realizzato al fine di fornire agli Istituti e agli Enti statali e locali preposti alla tutela, salvaguardia e conservazione del patrimonio culturale, uno strumento di supporto per l'attività scientifica ed amministrativa". La Carta del Rischio permette l'elaborazione e la manipolazione dei dati georeferenziati, il calcolo della pericolosità e analisi di altro tipo (urbanistiche, a fini turistici e di accessibilità). Essa contempla le carte tematiche della Pericolosità Ambientale insieme con gli indici relativi alla Vulnerabilità ricavati con operazioni di schedatura sul campo. I dati sono raccolti in un GIS, che costituisce il supporto informatico, e descrivono le condizioni di rischio a cui è sottoposto un monumento in funzione della propria vulnerabilità e dell'aggressività del contesto ambientale in cui si trova; il sistema è realizzato secondo un'architettura modulare di tipo client-server, organizzato in un livello centrale (Polo Centrale) ed un livello locale (Poli Periferici).

Il modello logico prevede due tipi di parametri: la Vulnerabilità Individuale (V), ossia una funzione che indica il livello di esposizione di un dato bene all'aggressione dei fattori territoriali ambientali, e la Pericolosità Territoriale (P), ossia una funzione che indica il livello di potenziale aggressività relativa ad una data area territoriale, indipendentemente dalla presenza o meno dei beni. I due fattori sono articolati ciascuno in tre domini: Ambientale-Aria (V1, P1), Statico-Strutturale (V2, P2), Antropico (V3, P3), connessi con una media ponderata in un modello che esprime l'indicatore di Rischio  $R = R(V1, V2, \dots, Vn, P1, P2, \dots, Pn)$ . Le tecnologie geomatiche possono intervenire in modo significativo nella realizzazione di questi archivi per la determinazione di entrambe le tipologie di parametri, anche se in modo diverso: servono per misurare direttamente alcune situazioni correlate al rischio e al contempo possono essere utilizzate per dedurre carte tematiche di pericolosità adottando per esempio tecniche geostatistiche per interpolare dati di diversa origine e tipo su un vasto territorio (per es. nel caso di rischio sismico, da eventi alluvionali, ecc).

### **Conclusioni**

La salvaguardia dei Beni Culturali è strettamente legata alla loro conoscenza; la gestione del rischio legato al patrimonio culturale, nelle varie fasi in cui essa si articola, può ampiamente beneficiare

delle nuove tecniche e tecnologie della Geomatica, tutte su base digitale e con la predisposizione alla loro integrazione ad alla produzione diretta di informazioni che possano essere gestite da sistemi informativi dedicati. Un esempio di questi, proposto da tempo nel nostro paese, è la Carta del Rischio, che può archiviare ed elaborare, avvalendosi della piattaforma di un Sistema Informativo Territoriale, le condizioni legate ai fattori di Vulnerabilità e Pericolosità coinvolgendo organismi preposti e coordinati per la conservazione, sicurezza e salvaguardia.

Da un lato è importante che siano formate tra gli operatori del settore competenze adeguate per il migliore sfruttamento delle tecniche geomatiche in questo campo, sia per massimizzarne il rendimento a fronte di elevati costi che alcune ancora comportano, sia perché il prodotto dei rilievi sia realmente condivisibile e condiviso dall'utente finale (un esempio è ancora oggi fornito dal laser a scansione, il cui prodotto di norma non viene sfruttato nella sua interezza, ma solo con prodotti secondari derivati). Al contempo è importante sfruttare le tecniche geomatiche non solo per le loro potenzialità di "fotografare" in modo rigoroso ed articolato lo stato di un bene ma anche per le possibilità che oggi offrono di realizzare un vero e proprio monitoraggio, essenziale per programmare in modo consapevole e nel momento più opportuno eventuali interventi su beni soggetti a rischio.

### **Bibliografia**

- Baltsavias, M., Gruen, A., Van Gool, L., Pateraki, M. (2006), *Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage*, Taylor & Francis, London.
- Bartolotta M., Di Naro S., Lo Brutto M., Misuraca P., Villa B. (2000), "Information Systems for preservation of Cultural Heritage", *Int. Arch. Phot. and Rem. Sens.*, XXXIII, Part B5. 864-871, Amsterdam.
- Bitelli G. (2008), "Multiscale integrated application of geomatic techniques for documentation of Cultural Heritage". In: Marchetti N. and Thuesen I. (eds.), "Archaia. Guidelines on Research Planning, Characterisation, Conservation and Management in Archaeological Sites", British Archaeological Reports International Series, BAR S1877, 53-58, Archaeopress, Oxford, 2008.
- Brumana R., Monti C. (2004), *La Carta del Rischio del patrimonio culturale in Lombardia. Guida per la georeferenziazione dei beni storico-architettonici*. Guerini e Associati, Milano.
- Ikeuchi K. & Miyazaki D. (2008), *Digitally Archiving Cultural Objects*, Springer.
- Istituto Centrale per il Restauro (1994), *Carta del rischio del patrimonio culturale*, Arcad Editore.
- ISCR. "Carta del Rischio": <http://www.cartadelrischio.it/>
- Nex F, Rinaudo F. (2009), "New integration approach of photogrammetric and LIDAR techniques for architectural surveys", *Int. Arch. Phot. and Rem. Sens.*, XXXVIII-3/W8, 12-17.
- Palumbo G. & Ogleby C.L. (2008), "Heritage at risk and CIPA today: a report on the status of heritage documentation", Proc. XXth ISPRS Congress, Comm.5, 839-841, Istanbul.
- Patias P. (2006), "Cultural Heritage Documentation", Commission VI Special Interest Group "Technology Transfer Caravan", Thessaloniki.
- Sabbioni C., Brimblecombe P., Bonazza A., Grossi C. M., Harris I., Messina P. (2007), "Mapping climate change and cultural heritage". 7th EC Prague Conference on Safeguarded Cultural Heritage - Understanding & Viability for the Enlarged Europe, Prague, Czech Republic (M. Drdacky ed.), 119-124.
- Sitts M.K. (2000), *Handbook for Digital Projects: A Management Tool for Preservation and Access*, NEDCC Northeast Document Conservation Center, Andover.
- Stovel H. (1998), *Risk preparedness: a management manual for World cultural heritage*, ICCROM, Ograro, Roma.