

IL PROGETTO “SIINDA” IN “PARNASO”

Lorenzo Appolonia

La necessità del monitoraggio

Il problema meno risolto di tutto il panorama conservativo, riguarda, a tutt'oggi, il monitoraggio dei monumenti.

Questa realtà oggettiva è dovuta, ovviamente, a ragioni pratiche di gestione.

Le difficoltà principali sono dovute sia alla quantità di monumenti presenti nelle regioni italiane, sia alla scarsità del personale da adibire a questo genere di occupazione, sia, infine, alle difficoltà derivanti dalla soggettività della lettura di un degrado. È, infatti, intuibile come ognuno di noi abbia la tendenza a fare una valutazione sulla base della propria esperienza e conoscenza, la qual cosa, oltretutto, è mutabile nel tempo e poco riducibile nei confini per quanto schematici e definiti di una serie di schede.

Molti sono stati i tentativi di ovviare a quest'ultimo problema con la predisposizione di schede di rilevamento che, quantomeno, applicando un metodo e un principio da seguire, permettano di ottenere dati omogenei e uniformi. È da tenere presente come anche la sola variazione della conoscenza dei fenomeni di degrado possa fornire dati discordanti, anche se la scheda fosse stata compilata in epoche diverse dallo stesso operatore.

Il Laboratorio di Analisi Scientifiche e il Servizio Beni Archeologici si sono trovati ad affrontare questo problema da quando si è intrapreso lo studio del degrado del teatro romano della città di Aosta. La complessità della situazione, l'eterogeneità dei materiali e la particolare esposizione del monumento, hanno fatto sì che la preoccupazione per la scelta dell'intervento di restauro da proporre, sia stata superata dalla necessità di poter, in seguito, monitorare in modo pratico ed efficace il monumento stesso.

È stata questa la linea che ha portato alla predisposizione, nel 1997, di un progetto di ricerca che ha trovato attuazione grazie alla sua presentazione, nel 1999 al Piano Nazionale di Ricerca (PNR) denominato PARNASO, il quale è stato finanziato dai due ministeri competenti, ovvero quello dei Beni e Attività Culturali e quello dell'Istruzione Universitaria e Ricerca.

Il progetto presentato si proponeva la messa a punto di una strumentazione capace di realizzare, a seguito di un rilevamento o di una semplice ripresa fotografica concatenata, in modo da fornire una ricostruzione tridimensionale, una base di lavoro sulla quale compiere una serie di rilevamenti capaci di evidenziare, memorizzare e confrontare, in una fase successiva, le varie tipologie di degrado.

La fase di diagnosi dovrà essere fatta da un sistema informatico di supporto, capace di dare informazioni, riguardo allo stato di conservazione della superficie del monumento. Questo dato potrà essere in seguito confrontato con quello ottenuto da un secondo rilevamento, effettuato in tempi successivi (ad esempio uno o due anni dopo). Il risultato è quello di un controllo dell'andamento conservativo mediante l'elaborazione dell'immagine da parte di un sistema informatico capace

di evidenziare la differenza tra le informazioni acquisite in momenti successivi. In questo modo sarà possibile tenere sotto controllo le variazioni che avvengono nel tempo, nel più completo e coerente concetto di monitoraggio. Le diverse differenze potranno essere quantificate e “pesate”, ovvero definite nella loro importanza specifica per il monumento in esame. La presenza di variazioni rilevanti fra le due riprese, a sua volta, può diventare un segnale d'allarme che dovrà essere interpretato e verificato dagli operatori specializzati, magari, direttamente sulla parte del monumento interessata.

Si può intuire che questo sistema rappresenta un miglioramento e uno strumento di supporto all'attività ordinaria di chi è preposto alla verifica dello stato di conservazione del patrimonio storico, culturale e monumentale.

In pratica, estremizzando l'operatività del sistema, si può immaginare il vantaggio che si può ottenere dalla possibilità di avere a disposizione una macchina fotografica, magari anche digitale, e di aver risolto il problema del controllo conservativo di un monumento eseguendo solo una serie definita di riprese fotografiche dello stesso.

I vantaggi che appaiono immediati riguardano la velocità di esecuzione, l'economicità del sistema e, soprattutto, l'oggettività del rilevamento fornito non più da una interpretazione, ma da una mera sottrazione di valori nei *pixel* del sistema informatico.

Per portare a termine quest'ambizioso progetto di ricerca, proposto da un gruppo di aziende su invito del Laboratorio Analisi Scientifiche della Regione e finanziato dal PNR per un ammontare di circa 5.800.000.000 Lire (2.900.000,00 Euro), si è costituito, nel mese di settembre 2001, ad Aosta, un Consorzio denominato “Sistemi Innovativi di Diagnostica Assistita” (SIINDA), il quale vede raggruppate al suo interno una serie di istituzioni di ricerca quali Università e centri del CNR (IAC e ITABC di Roma, IEN di Torino), nonché l'istituto Galileo Ferraris di Torino, e alcune delle aziende promotrici di iniziative in questo settore (CM Sistemi di Roma, Menci Software di Arezzo e FoArt di Parma).

Il progetto è durato tre anni e si è concluso a maggio del 2004.

Risultati

I progetti di ricerca rappresentano sempre una fase di passaggio verso lo sviluppo e la predisposizione dei sistemi innovativi per i quali è stata predisposta la ricerca. Questo progetto si propone in modo particolare di soddisfare le esigenze di una Soprintendenza alle prese con la necessità del controllo del territorio. La gestione di ampi spazi monumentali rappresenta da sempre una difficoltà per gli operatori, soprattutto se si considera la possibilità di realizzare monitoraggi non solo sulle condizioni climatiche o ambientali, ma, e soprattutto, sull'evoluzione dei fenomeni di degrado riscontrati sul monumento.

È evidente che il limite ora attribuibile ad uno strumento di questo genere riguarda la sua capacità analitica, dato che l'interpretazione delle tipologie di degrado può essere fatta solo su quelle che sono le realtà percettive dell'occhio e, in questo caso, del piano fotografico dell'immagine. Da questo discorso si può comprendere che dati gestibili dal sistema possono essere solo quelli legati alla geometria del monumento e alle sue variabili di superficie, con particolare riguardo al colore. Questo aspetto non è tuttavia così restrittivo come sembra, soprattutto se si considera che buona parte dei fenomeni di particolare interesse riguardano proprio queste tipologie di deterioramento dei materiali. Le variazioni geometriche, infatti, possono contemplare una serie di fenomeni che vanno dalla perdita di materiali, alla progressione di fessure o fratture, mentre nel colore vengono contemplati tutti i fenomeni di deposito superficiale, di alterazione cromatica, presenza di efflorescenze e di crescita vegetale, in pratica la parte più varia e eterogenea del panorama degradativo di strutture e materiali esposti all'aperto.

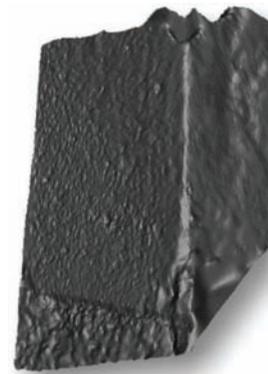
La forza del progetto è quella di aver pensato di poter ottenere queste informazioni in modo oggettivo e staccato dall'interpretazione dell'operatore, in pratica tramite il supporto di un sistema di misura sempre uguale o quantomeno ripetibile nel tempo in modo sistematico. La possibilità di poter confrontare le varie fasi di acquisizione al fine di valutare se vi sono, e di che natura essi siano, degli scostamenti rispetto alla stessa trattazione ottenuta in precedenza, è alla base del concetto di monitoraggio, ovvero di controllo protratto e reiterato nel tempo.

Le risposte ottenute rappresentano quindi uno strumento di lavoro, capace, dopo una serie efficace di risultati, di fornire indicazioni sulle zone più sensibili del monumento e, di conseguenza, utile per predisporre sistemi di programmazione nelle attività di manutenzione e di conservazione dei monumenti, riducendo l'intervento ultimo di restauro. Se a questo concetto si possono presupporre anche solo attività a pari contenuto economico, è evidente che la diluizione delle spese in una serie di anni, rispetto al costo complessivo dell'intervento di restauro, ma soprattutto il fatto di evitare azioni radicali e sempre drastiche, come è quella dell'intervento di restauro stesso, sono da considerarsi risultati di notevole interesse per l'economia di gestione del patrimonio culturale e, soprattutto, finalmente a tutela della componente materica del patrimonio stesso.

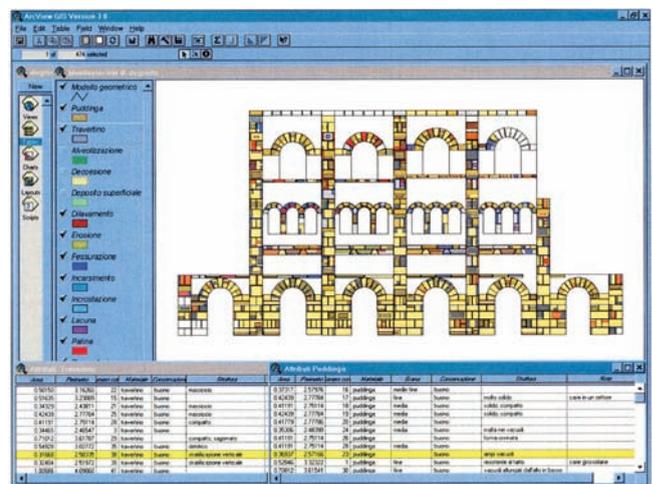
Tutto questo è ora possibile grazie ai software predisposti nella fase di realizzazione del progetto, anche se gli stessi fanno parte ancora di una fase sperimentale non ingegnerizzata e, quindi, non tecnicamente commercializzabile.

La fase iniziale del progetto prende spunto da una serie di attività già promosse con il progetto Conoscenza per immagini, che ha prodotto sistemi di ricostruzione di immagini (fig. 1) o banche dati con la schedatura delle situazioni di degrado (fig. 2), o ancora la predisposizione di mappature specifiche del monumento (fig. 3) capaci di fornire lo stato complessivo di conservazione e conoscenza.

È evidente che questi metodi non sono parsi completi e soddisfacenti a chi, come lo scrivente, ha in carico la necessità di controllo dei monumenti distribuiti su un



1. Ricostruzione virtuale di un concio di puddinga effettuata con un sistema di acquisizione tridimensionale a telecamere. (Dip. Elettronica e Informazione Politecnico di Milano)



2. Esempificazione di un dettaglio del sistema informativo da allegare al progetto: particolare di una scheda della banca dati.



Giallo: granulometria fine; Verde: granulometria media; Azzurro: granulometria grossa

3. Mappatura delle tipologie di composizione delle rocce che compongono i blocchi di puddinga del teatro romano di Aosta.

territorio articolato e complesso come quello della Regione. La parte più complicata restava il grande dispendio di energie e i costi di realizzazione che questi primi strumenti fornivano e richiedevano.

La prosecuzione di questi primi dati doveva forzatamente prevedere la possibilità di effettuare identificazioni di degrado e mappature in un modo automatico, o quantomeno sulla base di indicazioni precise da parte del committente.

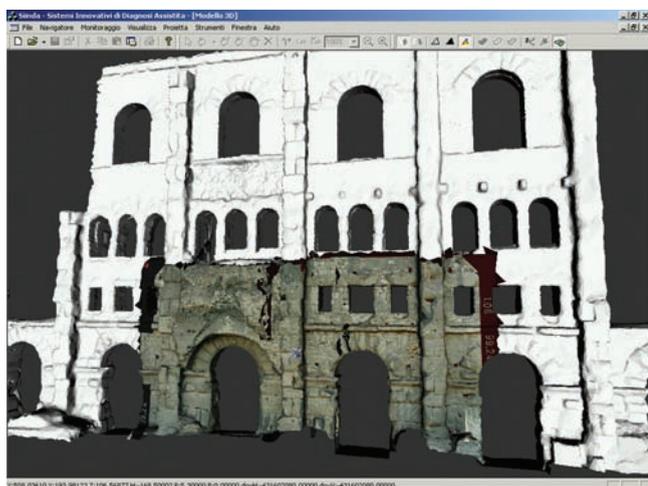
Nelle figure che seguono è possibile vedere come questo concetto si sia evoluto e abbia fornito sistemi di risulta capaci di gestire immagini 3D (fig. 4) e su di esse spalmare il risultato delle valutazioni di selezione cromatica specifiche di un certo tipo di degrado (fig. 5), per essere alla fine recuperate in una banca dati di gestione e memoria di tutte queste informazioni (fig. 7).

A seguito della necessità di mettere in relazione i valori di degrado con quelli che possono essere le cause che lo hanno generato, il progetto non si è limitato a predisporre sistemi di rilievo e di identificazione, ma, usufruendo della possibilità di una serie di dati di acquisizione ambientale, ha cercato di dare anche strumenti utili per permettere di legare le informazioni morfologiche con quelle del contorno.

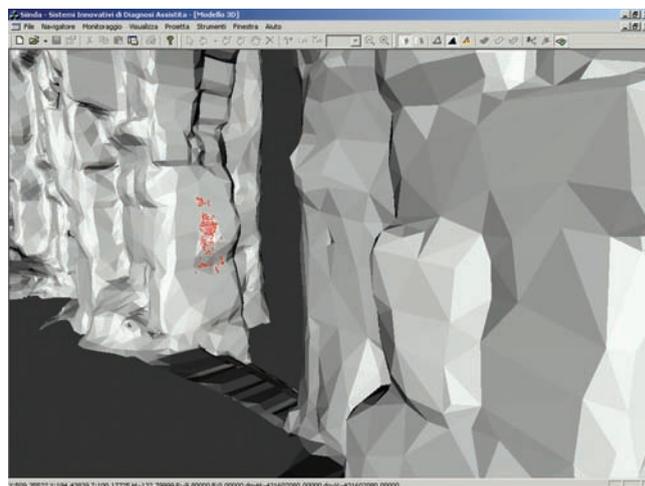
A questo scopo sono state predisposte una serie di strumentazioni atte a fornire informazioni differenti e rispondenti alle diverse necessità di conoscenza. In figura 8, per esempio, si può vedere una realizzazione capace di fornire l'andamento puntuale di vari parametri, tra cui quelli dei gas atmosferici più aggressivi e quelli delle condizioni di temperatura, umidità superficiali, ecc.

L'immagine riportata rappresenta una fase bloccata della rappresentazione, la quale, in realtà, ha una lettura dinamica, ovvero varia la dimensione e la lunghezza dei petali in funzione del valore misurato in quella specifica ora. L'andamento dinamico del variare delle condizioni al contorno del monumento, permette di comprendere quali siano i momenti più critici per i fenomeni di attacco o di interazione fra ambiente e superficie delle rocce.

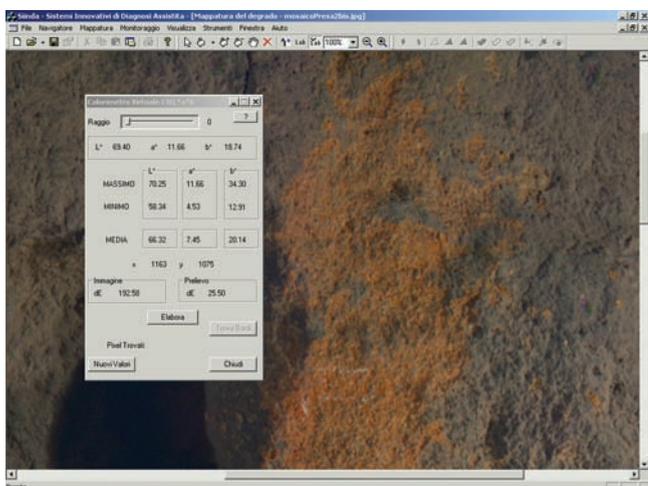
Anche questo dato non è stato ritenuto sufficiente per una valutazione del sistema monumento/ambiente e, al di là di una serie di altre rappresentazioni della diffusione delle tipologie di degrado presenti o rilevate dalle analisi di laboratorio, l'interesse è stato puntato sulla possibilità di recuperare il grande patrimonio informativo fornito dall'acquisizione giornaliera che già avviene nelle centrali di rilevamento ambientale fisse dell'Agenzia Regionale Protezione Ambientale (ARPA).



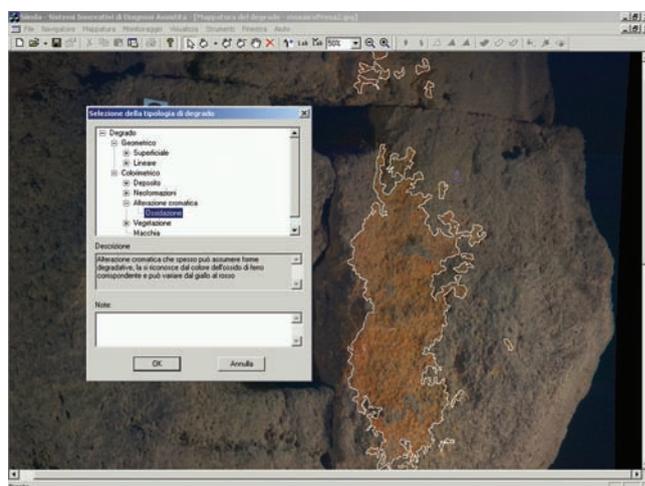
4. Ricostruzione 3D tramite rilievo spaziale delle immagini. fotografometrico e concatenamento (Consorzio SIINDA)



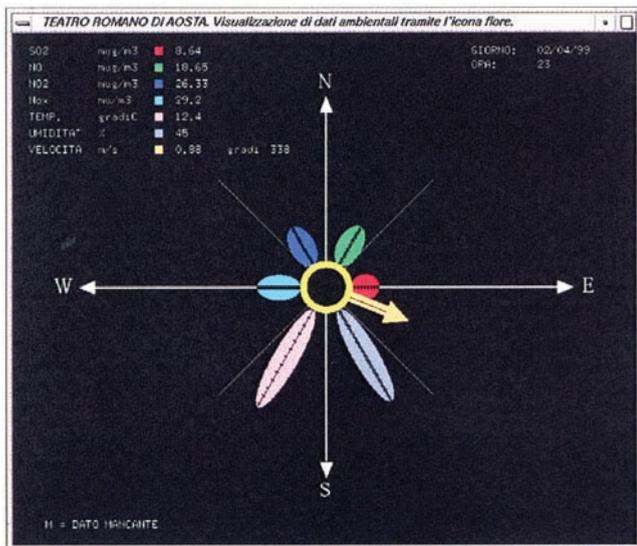
5. Collocazione sul sistema 3D del degrado relativo alla determinazione dei fenomeni di ossidazione. (Consorzio SIINDA)



6. Visione dello schermo per la predisposizione della segmentazione, i valori di $L^*a^*b^*$ rappresentano la media dei valori stimati da una valutazione effettuata sulla fotografia. (Consorzio SIINDA)



7. Risultati della segmentazione e assegnazione del significato degradativo del fenomeno di ossidazione per la scheda della banca dati. (Consorzio SIINDA)



8. Schema del rilevamento climatico ambientale attorno al teatro romano. La freccia indica la direzione e la velocità del vento e ogni petalo un dato di inquinamento o di clima.

A questo proposito il sistema ha sviluppato la possibilità di impiegare sistemi neurali capaci di legare serie di dati fra loro in conformità a specifici algoritmi matematici. Questa procedura permette di avere informazioni particolari sulla base dei dati quotidiani ottenuti, appunto, dalle centraline. Il collegamento si ottiene a seguito di una serie contemporanea di acquisizioni, ovvero della possibilità di avere misure di temperatura, temperatura a contatto, umidità, direzione e velocità del vento, acquisite direttamente sul monumento e legate dalla rete neurale ai dati misurati dalla centralina.

In considerazione del fatto che i dati sui monumenti possono essere acquisiti solo per alcuni periodi e che hanno alti costi di gestione, la presenza di una rete neurale permette di avere informazioni su ciò che accade sul monumento anche senza gli appositi sensori, ma semplicemente dall'applicazione dell'algoritmo precedentemente ricavato nella creazione della rete, ovvero quando era possibile confrontare i dati tra le centrali mobili e quella/e fissa/e.

L'insieme delle informazioni acquisite non è facile da gestire e richiede l'impiego di una banca dati capace di sintetizzare sia i valori di degrado misurati e sia le tipologie di eventi, selezionate dall'operatore, che possono aver influenzato il formarsi di detto degrado.

Questo quadro di sintesi è stato concepito sia con la volontà di recuperare l'informazione e sia con l'intento di dare una valutazione su quelle che possono essere le condizioni più rappresentative per la valutazione della variazione del degrado. La scheda riportata nella tabella 1, rappresenta un esempio di quanto detto e focalizzato per le particolari situazioni conservative del teatro romano di Aosta.

Si può notare che la scheda è divisa in due settori. Quello superiore contiene informazioni provenienti dai dati raccolti ed elaborati dal Sistema Integrato durante la funzione di mappatura. Quella inferiore raccoglie dati relativi a informazioni di tipo ambientale, che il Sistema è

predisposto a raccogliere ed elaborare in riferimento a valutazioni specifiche quali, ad esempio, quelle relative a quanti eventi, considerati pericolosi dall'esperto, si siano verificati nel tempo e in prossimità del monumento.

Si è stabilito di attribuire a ciascuna di queste specifiche misure un "peso" che dipende da alcuni parametri quali le tipologie di degrado presenti e la natura dei materiali costitutivi il manufatto in esame. Risulta evidente come sia questo valore di incidenza percentuale a dare significatività al singolo dato e a fornire il reale valore di riferimento dell'indice della cinetica del degrado. Particolare attenzione, quindi, è stata posta all'esame del ruolo che assume tale fattore "peso" relativamente ad ogni specifica misura e si è ritenuto fondamentale che il suo valore dovesse essere, di volta in volta, stabilito dal singolo utente in funzione delle caratteristiche geometrico-morfologiche e materiche del manufatto in esame, delle specifiche tipologie di degrado, nonché delle situazioni ambientali al contorno.

I parametri, i cui valori sono presenti nella tabella, si riferiscono sia a quantità misurabili (ad esempio aree espresse in cm^2) che a numero di eventi (n). Nella prima colonna sono riportate le tipologie di degrado presenti sul monumento, individuate dall'operatore esperto preliminarmente a qualsiasi operazione di acquisizione dati. Nella seconda colonna sono rappresentate le unità di misura relative a ciascun parametro. Il Sistema, proprio per le diverse funzionalità che lo caratterizzano, garantisce l'assoluta oggettività del dato misurato e riportato nella scheda: per misure oggettive, infatti, si intendono i valori ottenuti dal calcolo delle aree estratte nelle immagini considerate ed espresse in numero di *pixel* e, conseguentemente, in cm^2 , nota la corrispondenza *pixel/cm* per le singole immagini.

Nel caso in cui si intenda usare il Sistema al fine di un monitoraggio dello stato di conservazione, le valutazioni di quantità rilevate si intendono effettuabili in istanti diversi che corrispondono ai riferimenti temporali in cui sono effettuate le campagne di misura. In tal senso, al fine di affrontare la delicata problematica del rapporto causa/effetto, la sezione dei dati di contorno ha lo scopo di

| Dati oggettivi misurati | unità di misura | peso | quantità rilevate Co | quantità rilevate Cx | valore elaborato Co | valore elaborato Cx | Δ valori elaborati Co-Cx |
|--|-----------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| fratture sotto i 10 cm | n | 5% | | | | | |
| fratture sopra i 10 cm | n | 10% | | | | | |
| deposito coerente | cm^2 | 2% | | | | | |
| deposito incoerente | cm^2 | 2% | | | | | |
| ossidazione | cm^2 | 5% | | | | | |
| sali | cm^2 | 4% | | | | | |
| mancanze | cm^2 | 15% | | | | | |
| vegetazione | cm^2 | 1% | | | | | |
| licheni e alghe | cm^2 | 3% | | | | | |
| totale relativo ai dati oggettivi | | 47% | | | | | |
| Dati di interpretazione al contorno | | | | | | | |
| n. di temp. Ruggia (TR) | n | 1% | | | | | |
| conc. SO ₂ sup 10 $\mu g/m^3$ | n | 2% | | | | | |
| n. tr con SO ₂ sopra i 10 $\mu g/m^3$ | n | 10% | | | | | |
| mm pioggia valore medio | mm | 2% | | | | | |
| particellato medio mens. >100 $\mu g/m^3$ | n | 2% | | | | | |
| part. >100 $\mu g/m^3$ con UR% >65% | n | 2% | | | | | |
| eventi con T°C sotto lo zero | n | 4% | | | | | |
| eventi con T°C sotto i -7°C | n | 10% | | | | | |
| vento con UR% >65% | n | 10% | | | | | |
| pH pioggia <4 | n | 10% | | | | | |
| totale delle valutazioni dei pesi | | 100% | | | | | |

Tabella 1. Scheda di valutazione della variazione del degrado, specifica per le problematiche conservative del teatro romano di Aosta.

fornire all'operatore un quadro di sintesi delle situazioni climatico-ambientali che si sono manifestate nel periodo trascorso fra una acquisizione ed un'altra, in modo tale di permettere la verifica dell'esistenza o meno di una relazione diretta di alcuni fenomeni di degrado riscontrati con la situazione ambientale che circonda il monumento.

In merito alla tipologia di dati di contorno è necessario che un esperto del settore individui a priori quelle che possono essere le variabili più significative relative al monumento in esame e al suo contesto ambientale. Tale individuazione deve far prevedere una fase di valutazione da condurre mediante idonee campagne di misura adeguate, nelle quali stabilire anche le soglie di ripetibilità di interesse.

La terza colonna riguarda la quantificazione del "peso" che indica l'incidenza di quel particolare parametro-fenomeno nelle valutazioni del degrado e della variazione dello stesso. Nel caso di utilizzo del Sistema con funzioni di monitoraggio, si è ritenuto che il peso attribuito ai parametri a contorno fornisce uno strumento di valutazione delle situazioni ambientali nel periodo trascorso fra un'acquisizione e un'altra delle immagini, utili alla identificazione del degrado. La valutazione dei valori da attribuire ai pesi, come anticipato, deriva da una interpretazione dell'operatore, il quale dovrà tenere conto delle tipologie dei materiali del monumento, dello stato di conservazione dello stesso nonché delle funzioni e fruizioni per esso previste. Per fare un esempio, un problema di perdita di materiali avrà un peso diverso se il monumento, o la parte interessata, non è soggetto a fruizione, ma diventerà decisamente rilevante se vi è un passaggio continuo di persone o veicoli in prossimità delle strutture studiate.

La quarta colonna rappresenta il risultato finale ricavato dal prodotto fra i valori delle quantità e il loro peso e, in pratica, identifica lo stato di degrado del monumento al tempo della campagna assunta come momento iniziale al quale riferire il monitoraggio successivo (definita Co).

Per una eventuale funzione di monitoraggio del Sistema, a quest'ultima colonna andrà aggiunta una serie di colonne relative alle acquisizioni successive e alle variazioni che si potranno riscontrare fra i vari dati oggettivi, nonché all'incidenza rilevata dei dati a contorno. La possibilità di ottenere un andamento delle variabilità in acquisizioni successive, possibilmente su di un arco temporale di più anni, oltre a costituire la base stessa del monitoraggio, permetterà anche di ipotizzare una cinetica di avanzamento del degrado utile nella predisposizione dei piani di intervento.

Conclusioni

Si può comprendere come un progetto così vasto rischi, alla fine, di disperdere molto le sue energie a discapito delle finalità iniziali, tuttavia, questo non si può dire di questo particolare progetto, anzi, la presenza e lo stimolo di vari esponenti, da qualche tempo operanti nel settore della tutela del patrimonio, e in particolare del LAS della Regione, ha mantenuto alto lo spirito di esigenza e la volontà del risultato. Questo atteggiamento ha previsto il superamento di alcuni limiti che la fase progettuale aveva e che non erano evidenziabili all'epoca.

Molte delle risoluzioni raggiunte hanno, infatti, rappresentato uno sviluppo aggiunto al sistema e non previsto nel capitolato iniziale.

Ad una osservazione superficiale può sembrare che alcune operazioni non siano così immediate e l'attuale situazione, dovuta ad uno strumento risultato dalla ricerca, non mostra la reale potenzialità del sistema. È da ritenere, tuttavia, che il cammino verso un controllo dello stato di conservazione del patrimonio culturale sia la strada da qualche tempo indicata e l'unica scelta al drammatico evento del restauro. A questo tema, spesso riportato dalle numerose iniziative di arricchimento della tematica delle "Carte del Rischio", il risultato del nostro progetto non aggiunge nulla, ma ne modifica fundamentalmente il profilo trasportando un metodo di elaborata acquisizione e interpretazione ad un metodo di semplice, razionale e diretta misurazione.

Un miglioramento e un sostegno alle numerose esigenze delle strutture di controllo, a cominciare dalla razionalizzazione delle risorse umane e economiche con un risultato di qualità superiore a quello fin'ora riscontrato.

Abstract

The restoration work is to be considered the last chance for the conservation policy of a monument. Its frequent use is due to lack of knowledge and of monitoring the degrade evolution. The research project called "SIINDA" took this problem into consideration and arranged some evaluation systems of degrade and management of the information necessary for preservation of big monuments displayed outdoors. The final result is an instrument which is easily applicable and cheap to manage, in order to plan preservation and management of the cultural heritage in a better way. The control of the preservation stage on the Roman Theatre after the restoration work was the starting point for the aim of this project, that showed wider values and different possibilities of application.