

STRUCTURAL HEALTH MONITORING DEL PATRIMONIO STORICO-ARTISTICO

LA SALA DEI BATTUTI DEL DUOMO DI CONEGLIANO

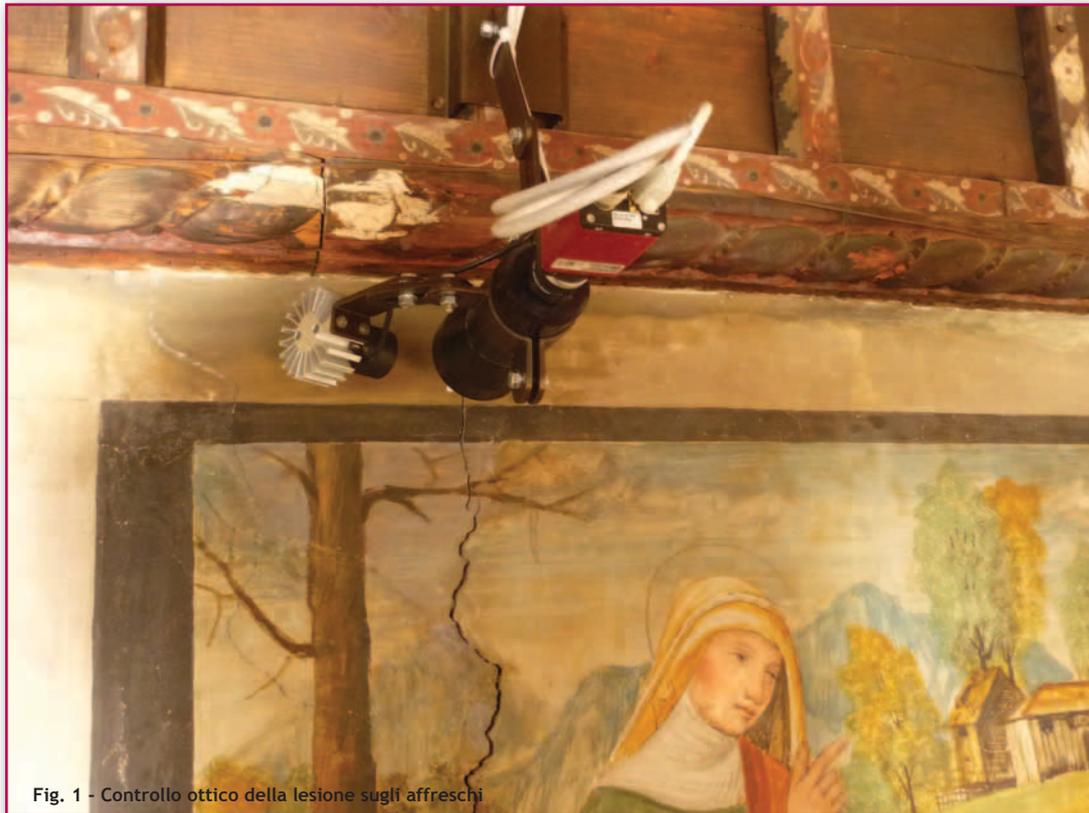


Fig. 1 - Controllo ottico della lesione sugli affreschi

di Filippo Casarin, Emma Beccaro, Matteo Fattoretto, Paolo Girardello

Il monitoraggio strutturale è' una pratica sempre più applicata nell'ottica della conservazione e dello studio dei beni culturali. In questo lavoro viene presentato l'utilizzo di una nuova metodologia contactless di controllo delle lesioni strutturali adatta all'applicazione in contesti di superfici di particolare pregio: nel caso specifico il ciclo di affreschi della splendida Sala dei Battuti del Duomo di Conegliano.

Il monitoraggio strutturale (*SHM, Structural Health Monitoring*) è sempre più considerato, anche nell'ambito della conservazione dei beni culturali, come un'attività di primaria importanza nella definizione del reale funzionamento di una struttura, consentendo quindi di esprimere giudizi su di essa (ad esempio stato di salute, aggravamento o stazionarietà del quadro di danno, necessità o meno di intervento di consolidamento...) continuamente confortati dalle evidenze sperimentali.

Nel caso degli edifici soggetti a tutela risulta infatti estremamente importante conoscere le caratteristiche originarie della fabbrica, le modifiche intercorse nel tempo dovute ai fenomeni di danneggiamento derivanti dalle trasformazioni antropiche, all'invecchiamento dei materiali e agli eventi calamitosi. Spesso tuttavia si riscontrano delle difficoltà connesse con la conoscenza, anche in relazione alle risorse disponibili e all'invasività delle indagini da eseguire e risulta, quindi, necessario un confronto con modelli interpretativi a posteriori, basati sull'osservazione e sull'accertamento del funzionamento manifestato dalla costruzione.

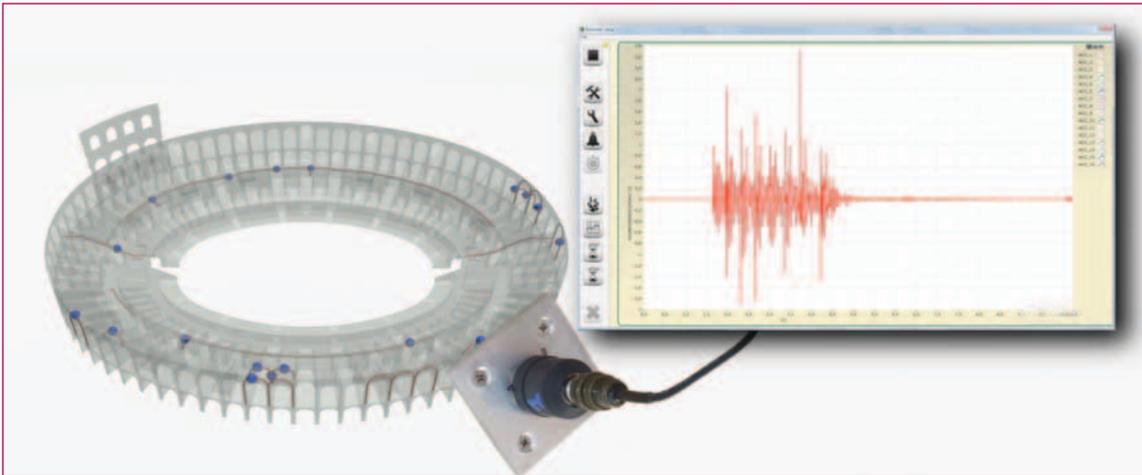


Fig. 2 - Schematizzazione del funzionamento di un sistema di monitoraggio strutturale.

Le *Linee Guida per la Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico del Patrimonio Culturale* (2007), documento tecnico di riferimento nello studio del comportamento delle strutture storiche in Italia, consigliano quindi di elaborare un programma di monitoraggio dello stato di conservazione di tali edifici e monumenti, sulla base delle informazioni acquisite nelle diverse fasi di conoscenza. Il monitoraggio strutturale risulta dunque attività fondamentale per la comprensione del comportamento dei manufatti storici in quanto è l'unica metodologia di controllo continuamente in grado di fornire dati conoscitivi effettivamente emergenti dal reale funzionamento degli stessi.

La finalità della conoscenza è la conservazione che viene garantita, in questo caso, attraverso un controllo periodico della costruzione che consente di programmare la manutenzione ed attuare in tempo, quando realmente necessari, gli interventi di riparazione in caso di danno strutturale, e di consolidamento finalizzato alla prevenzione.

Al monitoraggio visivo, inteso come controllo periodico dell'insorgenza di stati fessurativi, segue il monitoraggio strumentale di alcuni parametri ritenuti significativi come il movimento delle lesioni, gli spostamenti assoluti o relativi di punti della costruzione, la rotazione di pareti o altri elementi. Un altro parametro importante in relazione al funzionamento locale o globale della struttura è costituito dalle vibrazioni, dalla cui analisi si ottengono le caratteristiche dinamiche della struttura.

Il monitoraggio strutturale può quindi, in alcuni casi e subordinatamente alla comprensione dei fenomeni di dissesto presenti nell'edificio, porsi come valida alternativa all'intervento di consolidamento. Inoltre, in seguito all'applicazione di eventuali interventi di consolidamento strutturale ritenuti necessari, il monitoraggio offre la possibilità di procedere seguendo il metodo osservazionale, ovvero consentendo di controllare in tempo reale l'efficacia delle tecniche di consolidamento poste in essere, dando così la possibilità di confermare le scelte eseguite, oppure di indicare la necessità di modificare la strategia di intervento.

In seguito ad un evento sismico di rilevante entità con danneggiamento grave e diffuso in un ampio numero di edifici il monitoraggio strutturale può dimostrare ulteriormente la propria utilità nel determinare quantitativamente la stazionarietà del danno accertato o l'eventuale peggioramento, in maniera tale da poter intervenire con cognizione di causa qualora si manifestasse un definito aggravio delle condizioni strutturali dei manufatti controllati, ad esempio predisponendo o integrando gli eventuali interventi di messa in sicurezza, oppure non intervenendo qualora i parametri monitorati presentassero caratteristiche di stazionarietà.

Un sistema di monitoraggio strutturale tipo è composto dai sensori e da un sistema di acquisizione e trasmissione dei dati ove è installato un software specifico per l'effettiva raccolta degli stessi ed eventualmente la diagnosi strutturale onboard (Figura 2).

Nei paragrafi seguenti viene illustrato un esempio di applicazione di sistema di monitoraggio installato presso la Sala dei Battuti del Duomo di Conegliano (TV), con particolare riferimento all'utilizzo di una videocamera ad alta definizione per il controllo delle lesioni senza interferire con la superficie affrescata.

IL DUOMO DI CONEGLIANO E LA SALA DEI BATTUTI

Il Duomo di Conegliano, un mirabile esempio di edificio rinascimentale, domina il centro storico della città estendendosi dietro una serie di nove arcate che caratterizzano l'elegante facciata della Scuola dei Battuti, ornata dalle preziose trifore romaniche che sono intervallate dalle raffigurazioni bibliche realizzate da Ludovico Toeput Pozzoserato (Figura 3).

Sotto il gran porticato, si trova il portale dell'antica chiesa di Santa Maria dei Battuti, oggi Duomo della città. Le sovrapposizioni architettoniche che si sono succedute nel corso dei secoli hanno prodotto uno stile architettonico eterogeneo.

Appoggiata alla facciata del Duomo e sospesa sul porticato sorge la Sala dei Battuti, sede delle antiche adunanze della Confraternita.

Arrivati a Conegliano dopo la metà del Duecento, i Battuti iniziarono la costruzione della loro chiesa nel 1345 incor-



Fig. 3 - Duomo di Conegliano con la splendida Sala dei Battuti.



Fig. 4 - Monitoraggio mediante trasduttori di spostamento e sezione di dettaglio del posizionamento.

porandovi, qualche decennio dopo, la Sala delle adunanze. Inizialmente piccola e semplice, la chiesa fu ingrandita e abbellita verso la fine del XV secolo con la costruzione del presbiterio e l'ampliamento delle due cappelle laterali dell'Addolorata e di San Giovanni. I lavori si completarono nel 1497, con la torre campanaria. Le continue pestilenze che si susseguirono a Conegliano tra il XVI e il XVII secolo portarono la Repubblica a coprire le decorazioni a fresco e a manomettere le strutture architettoniche della chiesa come sistema di disinfezione. Il Duomo fu riportato all'originaria bellezza dall'arciprete Francesco Sartor che, nel 1953, per far sì che esso potesse accogliere un maggior numero di fedeli, decise di avviare un restauro generale ed un ampliamento dell'abside.

La Sala dei Battuti, dalle considerevoli dimensioni di circa quarantuno per sette metri, presenta tutte le pareti suddivise in riquadri con affrescate scene a carattere religioso, dovute al genio di diversi artisti appartenenti alla scuola veneta e lombarda del Cinquecento e un soffitto in legno cassettonato.

La sala presenta attualmente numerose lesioni, anche di notevoli dimensioni, presumibilmente ascrivibili a più cause tra cui la forma irregolare del complesso, dovuta alle modificazioni occorse nei secoli, con il campanile intercluso nell'edificato.

IL MONITORAGGIO STRUTTURALE DELLA SALA DEI BATTUTI

Al fine di valutare le condizioni di sicurezza strutturale, si è proceduto con il rilievo completo del quadro fessurativo delle murature e per il controllo delle lesioni maggiormente significative è stato predisposto un sistema di monitoraggio statico, realizzato da parte della società Expin S.r.l., *Advanced Structural Control* di Padova su incarico del Ministero per i Beni e la Attività Culturali, Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici del Veneto.

Il monitoraggio statico, volto alla misurazione di parametri che variano gradualmente e lentamente in un periodo di tempo sufficientemente lungo (ad esempio apertura di fessure, insorgenza di deformazioni negli elementi strutturali), si differenzia dal monitoraggio dinamico, il cui scopo è l'identificazione di fenomeni in rapida evoluzione durante un breve intervallo temporale (ad esempio vibrazioni della struttura indotte dal traffico, da fenomeni atmosferici, da eventi sismici anche di ridotta entità).

Il monitoraggio statico richiede la misurazione ad intervalli di tempo regolari di ridotte variazioni in un lungo periodo di osservazione (es. alcuni anni). Per tale tipo di monitoraggio non vi è la necessità di acquisire dati con una elevata frequenza di campionamento, essendo sufficiente la registrazione di dati ad intervalli di tempo che possono variare dall'ora alla settimana o al mese, per registrare possibi-

li variazioni causate da cambiamenti termo-igrometrici o dall'evoluzione dei fenomeni di danno.

Il sistema di monitoraggio selezionato per la Sala dei Battuti è composto da una rete di trasduttori di spostamento, integrati da un sensore di temperatura ed umidità relativa, volti a monitorare eventuali movimenti delle pareti fessurate in modo evidente e da tempo in alcuni punti. Tali sensori sono stati installati a livello del sottotetto per non interferire con la superficie dipinta (Figura 4).

In aggiunta a tali sensori, a controllo del comportamento della lesione maggiormente visibile nell'affresco e che prosegue con una profonda fessurazione anche nella pavimentazione, è stata installata una videocamera ottica ad alta definizione. Lo strumento rileva lo spostamento relativo di quattro piccoli target ottici posti ai due lati della fessura, applicati mediante collante completamente removibile. Si tratta di una metodologia innovativa, che non interferisce con la superficie e che permette di ottenere una precisione paragonabile e con risultati perfettamente in linea rispetto a quelli ottenuti con i "classici" trasduttori potenziometrici di spostamento (Figura 5).

Sia i trasduttori di spostamento che la videocamera sono collegati via cavo ad un box provvisto di schede di acquisizione a sua volta collegato ad un computer dove avviene la registrazione locale dei dati. Mediante trasmissione in remoto, questi vengono automaticamente inoltrati, con cadenza giornaliera alla sede operativa di Expin S.r.l., *Advanced Structural Control*, permettendo così di eseguire le relative analisi ed elaborazioni in un breve lasso di tempo. Il sistema, installato nel febbraio 2012, continua a garantire un controllo efficace del quadro fessurativo e ha permes-

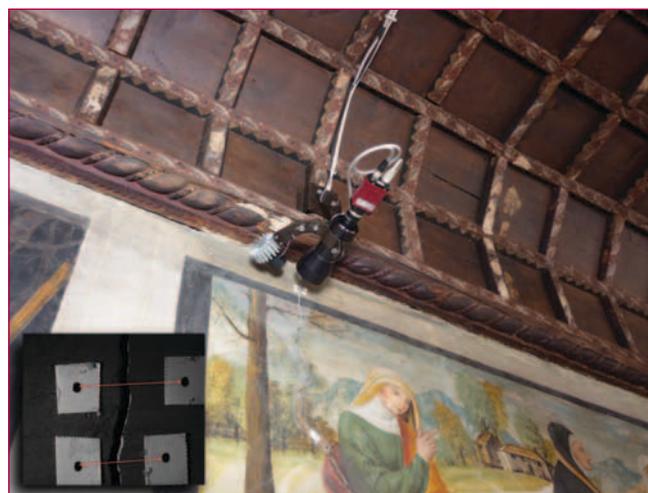


Fig. 5 - Dettaglio della videocamera all'interno della Sala dei Battuti.

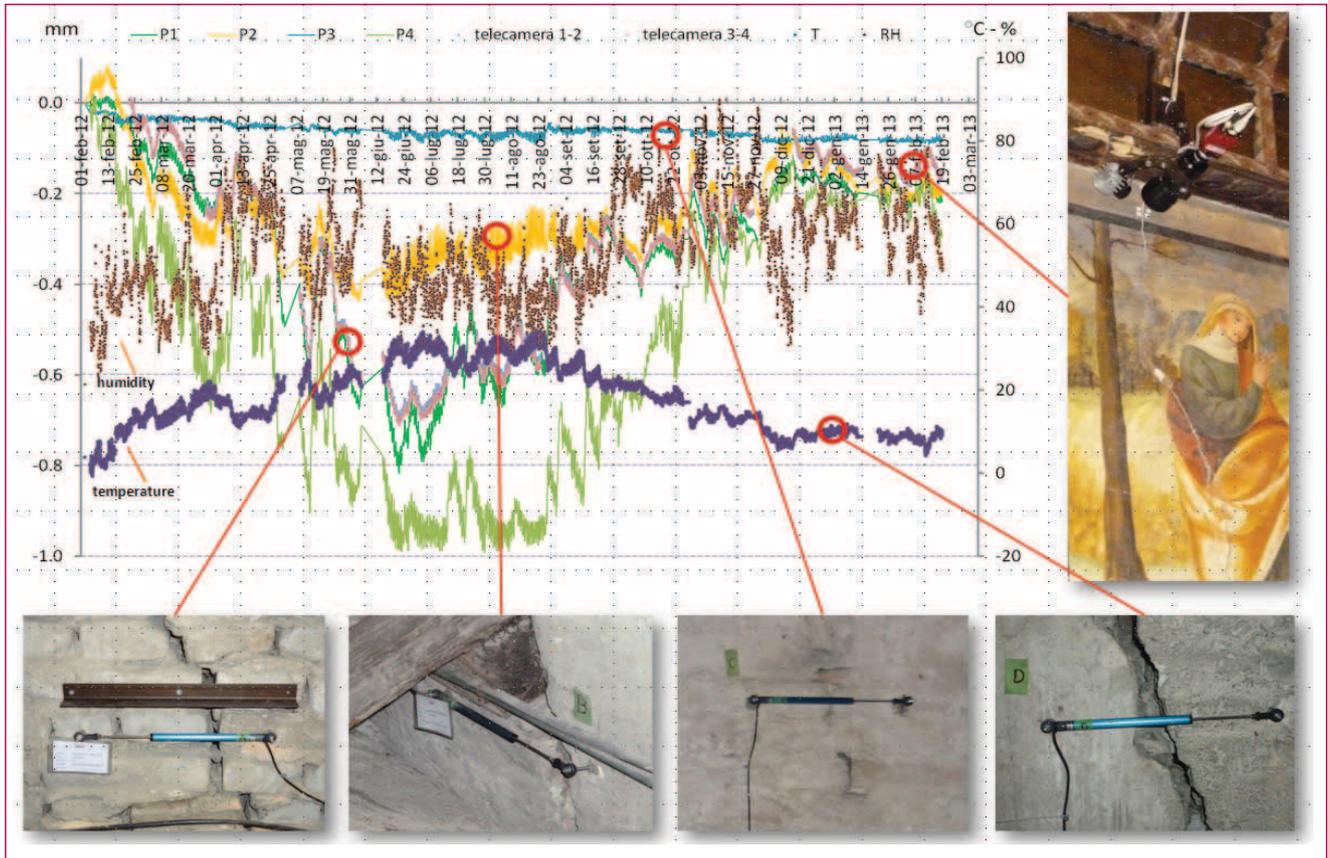


Fig. 6 - Analisi dei dati del monitoraggio strutturale.

so di verificare il comportamento delle lesioni in occasione delle scosse telluriche emiliane dei mesi di maggio e giugno 2012, che l'edificio ha percepito debolmente. I dati reperiti fino a quasi tutto febbraio 2013, corrispondenti ad oltre un anno di registrazione, vengono riportati in Figura 6. Le letture eseguite indicano la periodica apertura/contrazione delle fessure, dovuta alle variazioni quotidiane e stagionali della temperatura. I risultati raccolti nel primo anno di monitoraggio non evidenziano preoccupanti tendenze deformative del quadro lesivo monitorato, potendo quindi escludere un rapido peggioramento delle condizioni accertate.

In Figura 7 si può apprezzare come le letture di spostamento provenienti dalla videocamera (in blu e rosa, nel grafico), rilevate nella lesione presente negli affreschi della Sala dei Battuti, sono perfettamente in linea con la corrispondente lettura potenziometrica (P1, in verde), eseguita in corrispondenza della medesima lesione presente nel sottotetto, ad una quota di circa un metro superiore. Nei mesi estivi e invernali, si riscontra una leggera variazione tra le letture, dovuta presumibilmente alle differenti condizioni termigrometriche tra i due ambienti, essendo il sottotetto più rapidamente esposto alle variazioni dei parametri ambientali.

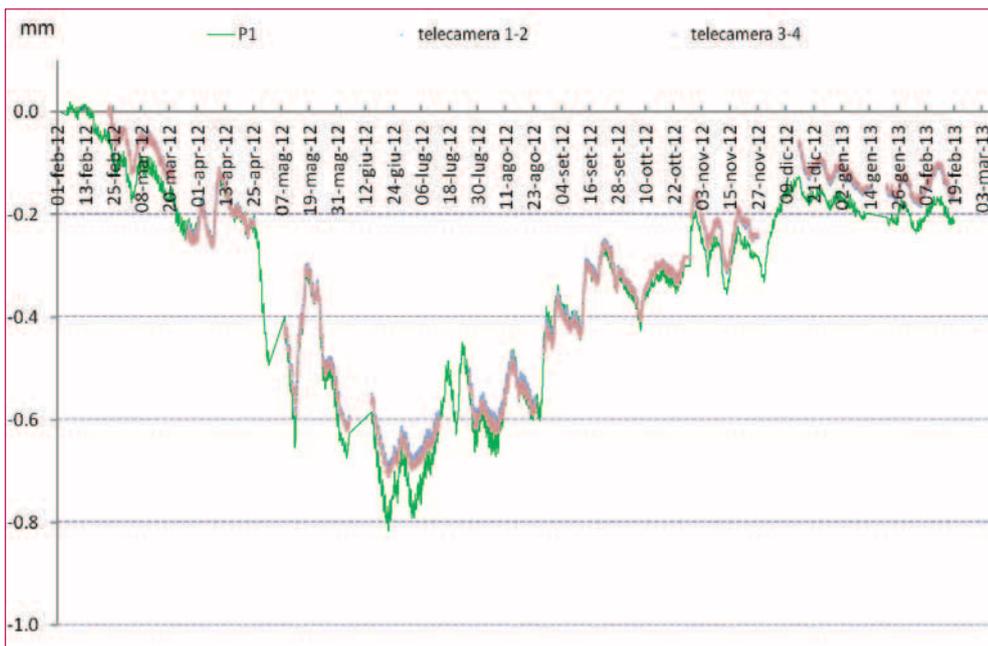


Fig. 7 - Confronto dati telecamera e rispettivo potenziometro.

Al fine di completare il quadro conoscitivo, a breve è previsto inoltre un monitoraggio delle vibrazioni indotte dal moto delle campane sul supporto murario degli affreschi, con lo scopo di valutare l'influenza degli effetti dinamici delle campane sul quadro fessurativo presente.

CONCLUSIONI

Il monitoraggio strutturale sta assumendo un ruolo sempre più rilevante nell'ambito delle strutture storiche e più in generale dei Beni Culturali, nell'ottica di ottenere importanti informazioni circa il reale funzionamento di tali tipologie strutturali. Per esse infatti ottenere

adeguati modelli comportamentali di riferimento risulta decisamente oneroso se non impossibile in assenza del confronto di dati sperimentali che validino le ipotesi assunte.

Il principale documento tecnico di riferimento in Italia possono essere considerate le "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale", nelle quali viene esplicitamente richiamata l'importanza del monitoraggio all'interno del processo conoscitivo delle strutture storiche. Il monitoraggio strutturale può infatti dimostrare la propria utilità nel determinare quantitativamente la stabilità del danno accertato o l'eventuale peggioramento, in maniera tale da consentire un consapevole approccio progettuale, la cui necessità viene o meno richiesta appunto dall'osservazione in tempo reale del comportamento dei parametri dell'edificio monitorato.

In tale contesto, nel caso di una struttura emblematica e di particolare pregio, la Sala dei Battuti del Duomo di Conegliano Veneto (TV), si è applicata e validata una metodologia innovativa di monitoraggio completamente non invasivo, ovvero il monitoraggio delle lesioni a distanza con l'utilizzo di una videocamera ottica ad alta definizione.

Con tale metodologia è stato possibile controllare con alta precisione - in analogia a quanto risulta possibile fare con trasduttori di spostamento potenziometrici "tradizionali" - gli spostamenti relativi dei lembi di una lesione particolarmente ampia presente all'interno del ciclo di affreschi. In particolare, l'analisi comparativa dei dati provenienti dalla videocamera e da un trasduttore posto nelle vicinanze a monitorare la stessa lesione, indicavano la sostanziale equivalenza dei due metodi, validando così la metodologia ottica innovativa.

Tale sistema di controllo si pone così come di notevole interesse nei casi in cui vi sia la necessità di monitorare delle lesioni in contesti "contactless" ovvero con superfici di particolare pregio quali affreschi, mosaici ecc.

ABSTRACT

Structural health monitoring (SHM) is increasingly being considered in the field of conservation of cultural heritage buildings, as an activity of primary importance in the definition of the actual structural response of historical buildings or monuments, allowing to express judgments about their health conditions, e.g. worsening or stability of the observed damage pattern...).

The paper shows the results obtained by the Structural Health Monitoring system installed in the Hall of Flagellants in the Conegliano Cathedral (TV), which presents a serious crack pattern.

The system, which develops an innovative contactless technology relying on an optical video camera, designed in order to avoid any damage to the frescoed surface, has ensured and continues to ensure an effective control of the structure, validating the proposed technology.

BIBLIOGRAFIA

- F. Casarin, C. Modena (2009), Il monitoraggio strutturale di alcuni monumenti a l'aquila in seguito ai danni provocati dal sisma dell'aprile 2009, i Beni Culturali (Anno XVII - 2009 - Numero 6), BetaGamma ed. Viterbo
- F. Casarin, Valluzzi M.R., da Porto F. & Modena C. (2008) Structural monitoring for the evaluation of the dynamic response of historical monuments. RILEM Symposium on On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures SACoMaTIS 2008, 787-796.
- Gaudini G., Modena C., Casarin F., Bettio C. & Lucchin F. (2008), Monitoring and strengthening interventions on the stone tomb of Cansignorio della Scala, Verona, Italy, 6th Int. Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, Bath, UK.
- F. Casarin, F. Lorenzoni, L. Cantini, S. Munda, L. Binda, C. Modena, R. Ciabattoni, C. Cacace (2010). The Spanish Fortress in l'Aquila: emergency actions, investigations and monitoring. Structural Engineers 4th Structural Engineering World Congress, 4-6 April 2011, Villa Erba, Como, Italy
- F. Casarin, F. da Porto, F. Lorenzoni, C. Modena (2011). SHM for historical buildings: preventive and post-earthquake controls. 4th International Conference on experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures, 3-5 October 2011, Varenna, Italy
- F. Casarin, F. Lorenzoni, K. Islami, C. Modena (2011). Dynamic Identification & Monitoring of the churches of St. Biagio and St. Giuseppe in l'Aquila. 4th International Conference on experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures, 3-5 October 2011, Varenna, Italy
- F. Casarin, C. Modena, T. Aoki, F. da Porto, F. Lorenzoni (2011). Structural Health Monitoring of historical buildings: preventive and post-earthquake controls. 5th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure (SHMI-5) 2011, 11-15 December 2011, Cancun, México
- Casarin F., Modena C., Bello E., Da Porto F., Girardello P., Lorenzoni F., Kleidi I., Menon S. (2012). Health monitoring of the Roman arena of Verona, Italy, proc. 8th Int. Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, 15-17 October 2012, Wroclaw, Poland
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri - 09 febbraio 2011 - Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (d.m. 14 gennaio 2008).
- Recommendations for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage (2005), ICOMOS International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage.

PAROLE CHIAVE

STRUCTURAL HEALTH MONITORING; MONITORAGGIO STRUTTURALE; EDIFICI RELIGIOSI; CONTROLLO OTTICO; QUADRO FESSURATIVO

AUTORI

FILIPPO CASARIN
EMMA BECCARO
MATTEO FATTORETTO
PAOLO GIRARDELLO

EXPIN SRL, VIA DELLA CROCE ROSSA 112, 35129, PADOVA
INFO@EXPIN.IT



The 6 Gb laser scanner 3D model of the Capsella di Samagher in AR



3D Virtual Cultural Contents
rendering - video 3D - virtual & augmented reality

www.noreal.it info@noreal.it
via Ugo Foscolo 4 - 10126 Torino - Italy