

Controllo dei livelli di sicurezza di edifici storici in stato di dissesto

F.Morrone*, G. Porco**, D. Romano***

(*)*LABORATORIO PER LA DIAGNOSTICA E MONITORAGGIO STRUTTURALE, COSENZA*

(**) *DIPARTIMENTO DI STRUTTURE, UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA, RENDE (CS)*

(***) *SISMLAB s.r.l., RENDE (CS)*

Introduzione

Il patrimonio edilizio storico - artistico manifesta attualmente stati di dissesto dovuti sia, a cause naturali innescate dal degrado dei materiali, sia a cause ambientali di tipo geologico e sismico. Infatti, quando le strutture vengono sollecitate oltre certi limiti o quando le membrature presentano condizioni di insufficienza in termini di resistenza dovute sia a fattori geometrici che meccanici si determinano i dissesti statici [1]. Tale condizione si manifesta con l'apparire delle lesioni, che interessano solai, volte, archi e muri portanti.

Le informazioni contenute nel quadro fessurativo esistente e cioè il tipo di progressione presente, come pure la dislocazione e la geometria delle fessure, possono essere utilizzate con duplice finalità. In particolare mediante attento monitoraggio, è possibile garantire in piena sicurezza l'uso dell'immobile (per soli carichi verticali) prima di interessarlo da interventi di rinforzo strutturale, inoltre dalla osservazione delle progressioni si può stabilire se i movimenti in atto evolvono verso condizioni di equilibrio vicine e stabili [2], [3]. L'analisi invece, della morfologia del quadro fessurativo, consente di determinare le cause perturbatrici e di conseguenza, di mirare al meglio gli interventi di consolidamento.

Quindi, in tale contesto, la possibilità di prevenire eventuali condizioni di collasso locali o globali diventa un elemento di importanza primaria per la tutela del bene e degli addetti ai lavori [4], [5]. È in questo filone di studio che si colloca la presente nota dove, illustrate le tecniche di base per l'osservazione dei fenomeni fessurativi, verrà presentata una metodologia operativa per la verifica di un'efficienza di un edificio storico e, attraverso la raccolta dei dati sperimentali verrà mostrato come, l'osservazione temporale del dissesto, consente di prevenire condizioni di crisi a tutela della pubblica incolumità e del patrimonio artistico.

1.0. Tecniche di controllo in opera

La possibilità di osservare e controllare uno stato di dissesto, è il più delle volte legata alla disponibilità di idonei strumenti di misura, nonché allo sviluppo di una serie di fasi, che producano per il tecnico utili informazioni, atte a prevedere possibili crolli, ad identificare le cause del dissesto e ad orientare gli interventi per il recupero statico - funzionale delle strutture.

In particolare è necessario non solo, misurare campi di spostamento in opera, ma graficizzare lo stato di dissesto, individuare e distinguere le lesioni principali, da quelle secondarie, per poterle strumentare ed infine, valutare attraverso i diagrammi spostamento - tempo, il livello di rischio presente, per la struttura e per le persone che, anche in condizioni di crisi, devono necessariamente farne ancora uso.

Ovviamente è necessario, che il tecnico si muova nell'ambito di una metodologia sperimentale di approccio al problema governata da una serie di "input", quali: il rilievo dei quadri fessurativi e la graficizzazione dello stato di dissesto; l'identificazione delle

tecniche d'acquisizione dati; l'individuazione dei punti da sottoporre a monitoraggio ed infine, la programmazione e lo sviluppo di una campagna d'indagine sperimentale.

Tali passi, dovranno necessariamente produrre come fase di "output", l'identificazione del livello di rischio cui è soggetto l'immobile e di conseguenza l'intervento di recupero più idoneo.

Per quanto attiene alla identificazione delle tecniche di controllo la scelta è vincolata alla complessità del fenomeno ed anche alla apparente situazione di pericolo. Solitamente si preferisce utilizzare tecniche miste, cioè sia manuali che automatiche, tuttavia la manifesta pericolosità dovute ad evidenti ed incipienti condizioni di crisi, limita la scelta della tecnica di osservazione alle sole centraline automatiche. Infatti la presenza degli operatori, con questa tecnica viene ridotta a due soli eventi temporali e cioè l'installazione e la rimozione dei sensori. Tuttavia ancora oggi gli sperimentatori propendono per le tecniche manuali ritenute oltre che economiche anche più attendibili di quelle automatiche.

Nella campagna sperimentale proposta sono stati presi in considerazione due tipi di strumenti: i deformometri manuali e i sensori automatici con centraline di acquisizione dati.

Gli strumenti sono stati posizionati sui punti identificati durante le operazioni di rilievo, e dopo aver classificato le lesioni in principali e secondarie.

Infatti, i punti di osservazione devono preferibilmente essere ubicati sulle lesioni che sono direttamente collegate con il fenomeno di dissesto, cercando così di evitare le lesioni secondarie che registrano in ritardo gli effetti dovuti alle cause perturbatrici.

2.0. Un caso di studio

La procedura di controllo degli stati di dissesto, con l'ausilio di strumenti per il rilievo di campi di spostamento, manuali ed automatici, è stata implementata su un edificio storico in muratura ubicato nel comune di Cosenza, denominato Complesso S. Agostino (Fig.1,2).

L'immobile oggetto di studio, doveva ospitare al suo interno, a partire dal mese di Marzo 2005, una mostra inedita, dedicata ad una delle più importanti collezioni d'arte contemporanea, opere della collezione Carlo Bilotti: Picasso, Chagall, Dalì, De Chirico, Dubuffet, Ernst, Greco, Matisse, Mirò, Rotella, Severini, Tapies e Warhol. Per questo motivo, si è reso necessario procedere al monitoraggio dei quadri fessurativi per riscontrare la presenza di stati di attività ed identificare incipienti condizioni di crisi ed alla messa in sicurezza delle aree relative al chiostro mediante puntellamento delle membrature portanti.



Fig.1 – Museo S. Agostino: Prospetto principale

Fig.2 – Museo S. Agostino: Area chiostro

2.1. Rilievo dello stato dei luoghi

L'immobile oggetto di indagine è costituito da struttura portante in muratura. Esso si sviluppa su tre diversi livelli situati rispettivamente alla quote +0.00 (Piano Terra) (Fig.3), +4.40 (Piano Primo), +8.64 (Piano Secondo).

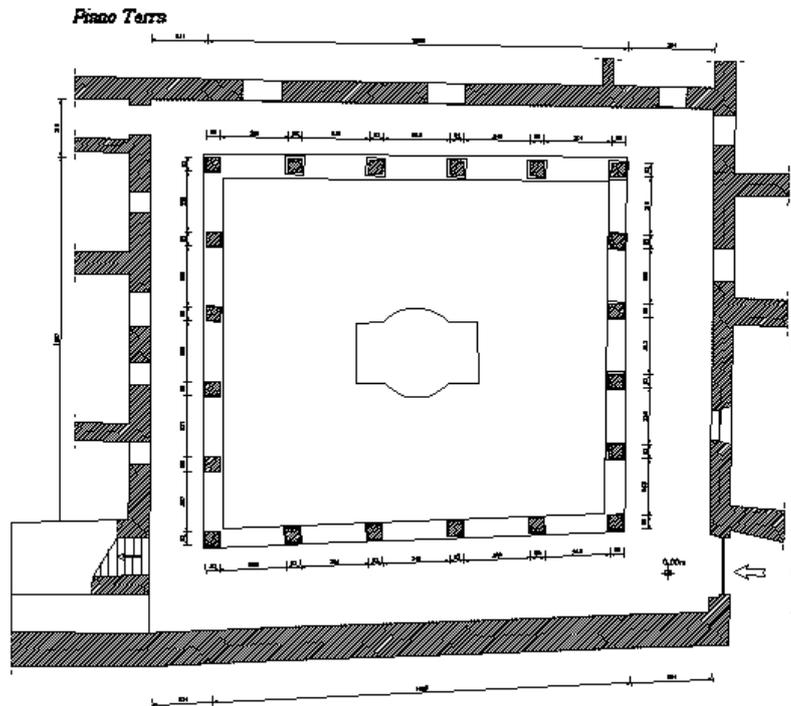
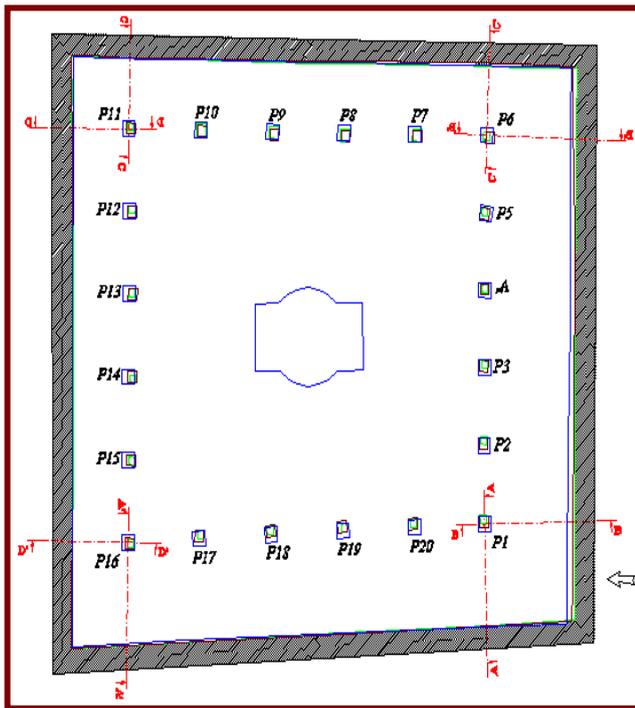


Fig.3 – Pianta piano terra

L'architettura dell'edificio è tale da proporre un area chiosstro delimitata su tutti i lati da ballatoi in corrispondenza del primo e secondo piano. Essi sono sostenuti ad un'estremità da pilastri in blocchi di pietra per un numero totale di 20 pilastri (4 per ogni lato più 2 agli incroci).

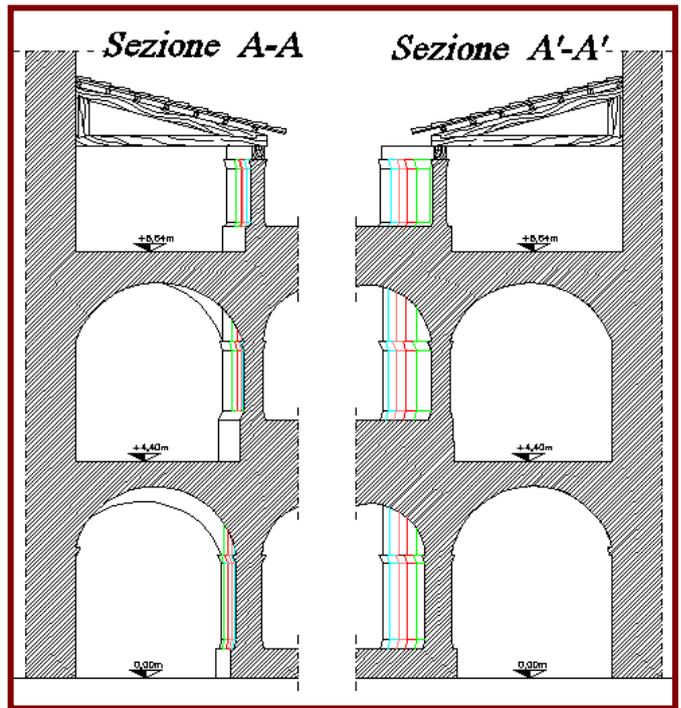
Al fine di valutare l'eventuale incipiente formazione di meccanismi di collasso, sono stati predisposti rilievi metrici di precisione per identificare e valutare la presenza di disallineamenti o spancamenti. A tal proposito, in figura 4 e 5, si nota come le sezioni dei pilastri lungo la propria verticale sono traslate quasi sempre nella direzione del centro della corte. Inoltre è evidente come il maggiore onere in termini di spostamento si consuma tra i pilastri del Piano Terra e quelli del Piano Primo, mentre gli spostamenti tra gli assi dei pilastri del Piano Primo e i pilastri del Piano Secondo sono sicuramente molto più bassi rispetto ai primi. In assoluto è stato rilevato un disallineamento massimo, in corrispondenza del pilastro P14, dell'ordine di 16 cm, misurato tra il centro della sezione del pilastro al Piano Terra e il centro della sezione del pilastro al Piano Primo. Inoltre, i pilastri appartenenti allo stesso lato del chiosstro presentano disallineamenti verticali differenti tra loro come mostrano le sezioni A – A' ed A' -A'.



LEGENDA pianta

- █ Piano Terra
- █ Piano Primo
- █ Piano Secondo

Fig.4 – Imperfezioni geometriche – Disallineamento per perdita di verticalità dei pilastri



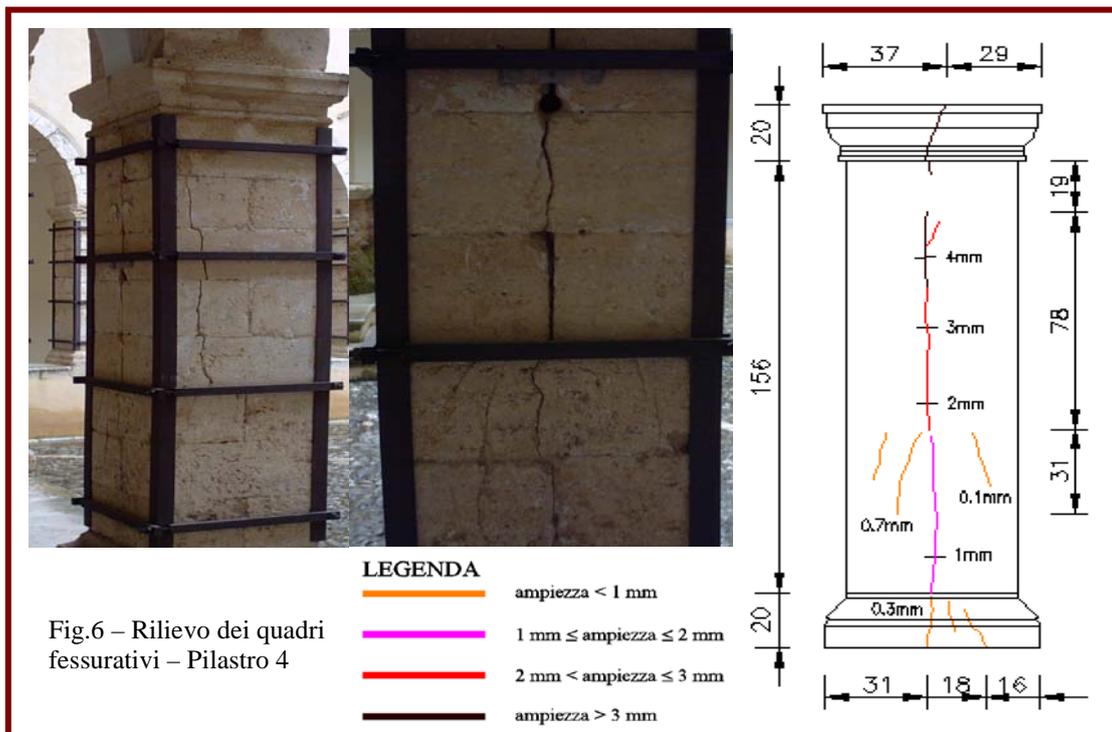
LEGENDA sezioni

- █ Pilastri P1 - P6 - P11 - P16
- █ Pilastri P2 - P7 - P12 - P17
- █ Pilastri P3 - P8 - P13 - P18
- █ Pilastri P4 - P9 - P14 - P19
- █ Pilastri P5 - P10 - P15 - P20

Fig.5 – Imperfezioni geometriche – Disallineamento verticale

2.2. Rilievo dello stato di dissesto

Le imperfezioni geometriche rilevate sono sintomo di uno stato di dissesto non trascurabile cui si trova la struttura del chiostro. A ciò bisogna aggiungere tutta una serie di altri segnali rilevabili dall'osservazione delle singole parti strutturali.



LEGENDA

- █ ampiezza < 1 mm
- █ 1 mm ≤ ampiezza ≤ 2 mm
- █ 2 mm < ampiezza ≤ 3 mm
- █ ampiezza > 3 mm

Fig.6 – Rilievo dei quadri fessurativi – Pilastro 4

Dalla figura 6, si rileva chiaramente un collasso per compressione, vista la presenza di lesioni quasi esclusivamente verticali.

A tale conclusione ha fatto riscontro sui diversi livelli in più punti il sollevamento dei pavimenti di calpestio, testimoniando sia lo spostamento verso l'esterno che il concomitante spostamento verso il basso, del perimetro esterno del chiostro.

In virtù di quanto ottenuto, si è proceduto dapprima, nell'evidenziare le aree maggiormente a rischio e successivamente nel predisporre interventi di messa in sicurezza di queste aree con adeguata puntellatura.

Il sistema di puntellatura utilizzato è di tipo tubo-giunto; in particolare sono stati utilizzati tubolari metallici collegati tra loro da giunti ortogonali e dove occorre da giunti girevoli.

Alla messa in sicurezza della struttura, è seguita l'installazione di un sistema di monitoraggio atto a controllare il campo di spostamenti successivi all'intervento di puntellatura e per verificare di conseguenza l'efficacia (Fig.7,8).



Fig.7,8 – Sistema di puntellatura

2.3. Monitoraggio dei quadri fessurativi

La presenza del diffuso stato di dissesto ha reso necessario procedere al monitoraggio dei quadri fessurativi per riscontrare la presenza di stati di attività ed identificare incipienti condizioni di crisi.

La campagna di monitoraggio è stata avviata il 01 Novembre 2004, registrando periodicamente l'evoluzione degli spostamenti della struttura fino al 01 Luglio 2005. Sono stati utilizzati due tipi di strumenti uno manuale e l'altro automatico.

Il tipo automatico, formato da tre centraline con otto canali di acquisizione, per un totale di 18 sensori (18 punti di misura), di cui 14 trasduttori rettilinei e 4 inclinometri biassiali, è stato posizionato su una o più facce dei pilastri P4,P5,P7,P14,P15,P16 posti al piano terra e dei pilastri P7,P15,P16 localizzati al piano primo. Tale sistema ha permesso di effettuare letture in modo continuo degli spostamenti delle fessure principali e le variazioni angolari

fra gli assi ortogonali della struttura indagata ad intervalli di 2 h. La scelta di abbinare diversi sensori nasce dall'esigenza di monitorare il dissesto in tutte le sue manifestazioni: spostamenti assiali e rotazioni.

Il sistema manuale, costituito da basi deformometriche, è stato utilizzato per monitorare i quadri fessurativi presenti sui pilastri P4, P5, P7, P8, P13, P14, P15, P16 e P17 del piano terra e sui pilastri P4, P7, P8, P12, P13, P14, P15 e P16 del piano primo, per un totale di 26 punti di misura.

In definitiva, l'insieme dei due sistemi di monitoraggio ha permesso di effettuare, in continuo, una mappatura il più rappresentativa possibile, tanto degli spostamenti a cavallo delle fessure principali, quanto dei movimenti rotazionali. Ciò ha consentito, quindi, di tenere sotto controllo la struttura con la possibilità di prevenire con ampio margine di sicurezza eventuali condizioni di collasso locali o globali e di verificare contestualmente l'efficacia del sistema di puntellatura realizzato.

Per brevità, sono riportate di seguito, le misure eseguite su alcune basi in termini di spostamento e rotazione, ossia sul pilastro P4 (Fig.9,10,11) e P13 posti al piano terra (Fig.12,13,14).

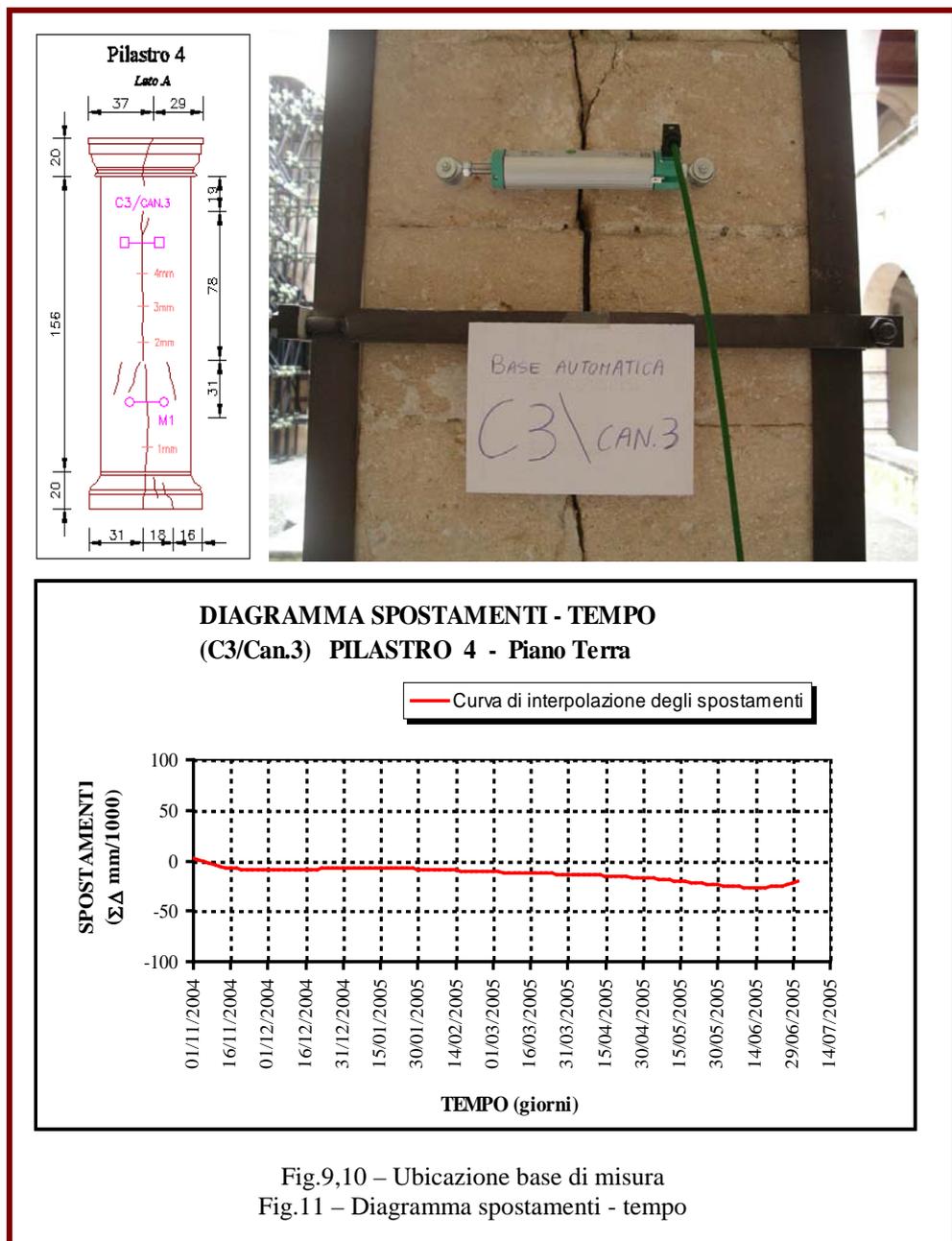


Fig.9,10 – Ubicazione base di misura
 Fig.11 – Diagramma spostamenti - tempo

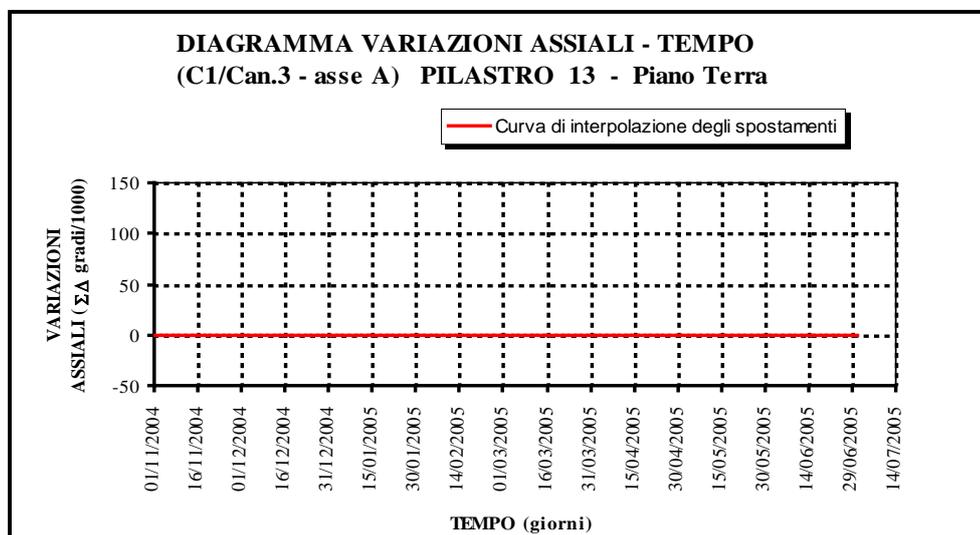
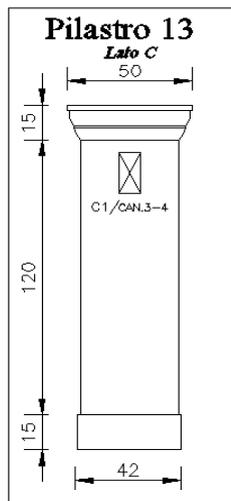


Fig.12,13 – Ubicazione base di misura

Fig.14 – Diagramma variazioni assiali - tempo

Il sistema di monitoraggio, applicato sulle strutture portanti del chiostro del Complesso S.Agostino ha, per tutto il periodo di misura, fornito campi di spostamento con gradienti quasi nulli ed associabili ad uno stato di quiescenza del fenomeno fessurativo.

Tale evidenza sperimentale, riscontrata per quasi tutti i punti di controllo, ha consentito di tutelare il bene e di renderlo fruibile in condizioni di sicurezza.

E' interessante notare inoltre che, la bassa attività rilevata è comunque una attestazione di efficacia del sistema di puntellatura predisposto, il quale ha bloccato quasi completamente il fenomeno fessurativo, attivo e con gradienti elevati, riscontrato prima della sua messa in opera.

3.0. Conclusioni

La possibilità di effettuare valutazioni oggettive sullo stato di consistenza degli edifici storici è oggi pienamente conseguibile mediante tecniche di monitoraggio manuali e

automatiche. In particolare, attraverso l'uso di sensori, centraline di acquisizione dati e di personal computer è possibile effettuare un monitoraggio continuo nel tempo dei quadri fessurativi attraverso il quale, il tecnico può valutare le reali condizioni di rischio a tutela della pubblica e privata incolumità.

Inoltre, i sistemi di acquisizione e trasmissione dati, in remoto, consentono, in situazione limite, di verificare in tempo reale la efficacia dei sistemi di puntellatura e contrasto in opera, fornendo al tecnico utili informazioni per effettuare integrazioni o modifiche in corso di esecuzione.

Bibliografia

- [1] Malerba P. G., "Monitoraggio delle strutture dell'ingegneria Civile", CISM – International centre for mechanical sciences – Collana di ingegneria strutturale N°9 (1995).
- [2] Casanova N., Inaudi D., Colombo G., "Monitoraggio mediante sensori a fibre ottiche", XX Convegno di Geotecnica, 25 Settembre 1999, Parma.
- [3] Mastrodicasa S., "Dissesti statici delle strutture edilizie", Hoepli Editore Milano.
- [4] AA.VV, "Raccolta monografica: elaborazione ed interpretazione dei dati sperimentali provenienti dal sistema di monitoraggio della cattedrale di Santa Maria del Fiore – Firenze ", Bollettino degli ingegneri, Vol.38, n°1-2, 1991.
- [5] Chiarugi A., Fanelli M., Giuseppetti G., "Diagnosis and strengthening of the Brunelleschi dome", Iabse Symposium, Roma 1993.