

Tecniche di monitoraggio per la valutazione dei livelli di sicurezza di edifici in stato di dissesto

F. Miniaci¹, G. Porco², D. Romano²

¹ Laboratorio S.M.S., Via C. Carrà, Rende (CS), Italia

² Dipartimento di Strutture, Università della Calabria (CS)

Sommario

Lo stato di dissesto in cui versa parte del patrimonio edilizio, evidenzia la continua richiesta di competenze specialistiche e di tecniche strumentali per la definizione dei livelli di sicurezza sugli immobili [1], [2]. È usuale infatti, intervenire per il recupero di strutture dissestate da eventi naturali o degradate per l'azione esercitata dall'ambiente e dal tempo, in condizioni di incipiente collasso. La eventuale identificazione di stati di attività dei fenomeni fessurativi o di incipienti condizioni di crisi [3] diventa quindi elemento vincolante da anteporre a qualsiasi tipo di indagine strutturale o di intervento di consolidamento.

Attualmente, notevole è l'impegno profuso dai ricercatori del settore [1], per implementare tecniche di monitoraggio affidabili ed a basso costo, attraverso le quali si possa giungere ad identificare il tipo di progressione fessurativa eventualmente presente sulle membrature portanti delle strutture.

È in tale ottica che si inserisce la presente nota con la quale si vuole fornire una metodologia di osservazione dei quadri fessurativi, identificando preventivamente le tecniche strumentali adatte per le diverse situazioni di dissesto e fornendo successivamente, mediante l'osservazione dello stato di dissesto e l'interpretazione dei diagrammi spostamento – tempo, la possibilità ai tecnici del settore di valutare incipienti condizioni di crisi.

La metodologia di analisi riportata in [4] è stata, in questo contesto, implementata per l'osservazione dello stato di dissesto di un immobile ad uso pubblico con struttura resistente in calcestruzzo armato.

1. INTRODUZIONE

Il patrimonio edilizio esistente necessita di continui interventi di consolidamento che ne assicurino il mantenimento nel tempo, ossia la conservazione. Questa mira sia al recupero in senso funzionale sia al rispetto dell'identità architettonica, storica ed artistica dell'opera, specie nel caso di opere monumentali. Proprio in questo ambito si manifesta la necessità, da parte degli operatori del settore, di effettuare un attento "monitoraggio strutturale" atto a diagnosticare gli stati di dissesto e a controllare nel tempo le situazioni di sofferenza strutturale, ciò al fine di prevenire stati di incipiente collasso sulle strutture.

I dissesti strutturali sono definibili come la manifestazione esterna di una crisi che investe un immobile a causa di un cattivo o improprio funzionamento della sua struttura portante. Gli edifici dissestati, il più delle volte sono in uso ed è quindi necessario stabilire se sono in grado di continuare ad assolvere alle loro funzionalità statiche o meno.

Il dissesto si manifesta con l'apparire delle lesioni, che interessano sia le opere cosiddette di finitura, quali intonaci, tramezzature, tamponature e rivestimenti, sia le membrature portanti.

Le lesioni murarie sono inizialmente compatibili con la continuità della massa che, prima di giungere a rottura, subisce delle deformazioni. Le fessurazioni, quindi, si presentano nelle fasi deformative più progredite.

L'apparire delle fessure si sviluppa in modo diverso a seconda della natura del dissesto, talvolta infatti si manifestano immediatamente, pur trattandosi di dissesti di lieve entità, in altri casi invece, le fessurazioni appaiono negli ultimi stadi, quando ormai deve essere tempestivo l'intervento sulla struttura. I fenomeni fessurativi assumono, dunque, aspetti caratteristici e mutevoli al variare delle cause determinanti e della natura dell'ambiente e delle strutture.

Le informazioni contenute nel quadro fessurativo esistente, ossia il tipo di progressione presente, la forma, la geometria, la morfologia delle fessure e non ultima la localizzazione di queste sul paramento murario, possono essere utilizzate per:

- garantire in sicurezza, mediante attento monitoraggio, l'uso dell'immobile prima di interessarlo da interventi di rinforzo strutturale;

- stabilire se le progressioni in atto evolvono verso condizioni di equilibrio vicine e stabili;
- risalire alle cause che hanno prodotto l'insorgenza dei quadri fessurativi sulla struttura.

È opportuno, quindi, avere a disposizione una metodologia sperimentale di approccio al problema, ossia un protocollo procedurale che, mediante l'esecuzione di una serie di fasi e attraverso l'impiego di tecniche strumentali adeguate alle diverse situazioni di dissesto, consenta di giungere ad individuare il livello di rischio cui è soggetto l'immobile e ad interessarlo tempestivamente con l'intervento di recupero più idoneo.

Con la presente nota, gli autori vogliono infatti estendere la procedura sperimentale proposta in [4] per il monitoraggio degli edifici in muratura, anche al caso corrente del controllo degli immobili con struttura portante in calcestruzzo armato. Inoltre, con i risultati sperimentali riportati, verrà mostrata la perfetta attendibilità delle tecniche automatiche di acquisizione, comparando gli spostamenti rilevati con potenziometri e centraline automatiche con quelli rilevabili con tecniche più consolidate quale quella deformometrica.

2. CONTROLLO DEGLI STATI DI DISSESTO

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.

L'insieme delle fasi da produrre, è stato proposto dagli autori in una precedente nota [4], dove l'attività sperimentale è stata implementata su un immobile in muratura a valenza storico – artistica. La particolarità della sperimentazione effettuata in precedenza, risiede esclusivamente nel fatto che la struttura monitorata era costituita da materiale fragile e quindi, le evidenti sofferenze statiche erano presenti già su elementi portanti. In questo caso di studio, invece, la struttura analizzata è in calcestruzzo armato per cui si presenta costituita da due parti: la struttura portante in calcestruzzo armato e le opere di finitura, entrambe quindi con comportamento deformativo sotto sollecitazione estremamente diverso. Infatti, la struttura in c.a. può sviluppare, rispetto alle tamponature ed alle tramezzature costituite da elementi rigidi e notevolmente fragili, lavori di deformazione maggiori prima di evidenziare dei quadri fessurativi.

Nella campagna sperimentale effettuata, è stato quindi, modificato il protocollo proposto precedentemente, considerando contemporaneamente sia le lesioni presenti sulle membrature portanti, sia quelle evidenziate sulle opere di finitura. Tuttavia per come è ampiamente dimostrato dai campi di spostamento rilevati, la differenza di comportamento sulle due tipologie strutturali è poco evidente ed inoltre le forme delle progressioni sono risultate praticamente identiche. Unica differenza, è naturalmente l'entità dello spostamento, maggiore sulle opere di finitura, più contenuta sulle membrature portanti.

Le fasi della metodologia sperimentale, qui utilizzata e contenuta in [4], possono riassumersi schematicamente in:

1. Rilievo dei quadri fessurativi (membrature portanti ed opere di finitura) e graficizzazione dello stato di dissesto: rappresenta il primo passo verso l'identificazione di quella che sarà la loro evoluzione futura.

Nello specifico, rilevare una lesione vuol dire acquisirne tutti quei parametri, sia quantitativi (lunghezza e ampiezza), che qualitativi (posizione e forma), che la identificano nel contesto di una parete.

Le fasi del rilievo si riassumono in:

- misurazione dell'ampiezza;
- valutazione della presenza di impurità;
- osservazione del contorno degli spigoli.

2. Identificazione delle tecniche d'acquisizione dati per il controllo delle membrature portanti e per il rilevamento degli spostamenti sulle opere di finitura: 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 nel caso di incipienti condizioni di crisi, la scelta della tecnica di osservazione è vincolata alle sole centraline automatiche.

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

3. Classificazione delle lesioni in principali e secondarie sulle membrature portanti e sulle opere di finitura: i punti di osservazione dovranno 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.

4. Sviluppo della campagna sperimentale d'indagine: coincide con l'intero periodo di monitoraggio, all'interno del quale vengono effettuate tutte le misurazioni degli spostamenti.

Il fattore che influisce prevalentemente sulla durata di tale periodo è la gravità del dissesto (velocità d'evoluzione).

3. TECNICHE SPERIMENTALI DI CONTROLLO

Le tecniche sperimentali per il controllo degli spostamenti in opera si differenziano tra di loro, in funzione del tipo di sensore utilizzato e in funzione della tecnica di acquisizione dei dati.

I sensori oggi disponibili variano in funzione delle grandezze che essi devono rilevare e per il principio fisico che sfruttano per eseguire le misurazioni. Si passa pertanto dai deformometri meccanici ad alta precisione a fessurimetri elettronici centesimali da utilizzare manualmente in opera su basi di misura precedentemente predisposte, a potenziometri collegati direttamente con centraline di acquisizione dati in lettura continua.

Ovviamente la possibilità di poter disporre di un buon numero di sensori collegati ad una centralina con acquisizione automatica dei valori di spostamento è da preferire nel caso in cui il livello di rischio sull'opera da controllare è elevato. 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 condotta, i cui risultati sono illustrati nelle sezioni seguenti, è stata effettuata una comparazione sui valori di spostamento rilevati con tecniche manuali ed automatiche e come è possibile rilevare dai grafici riportati, vi è una buona congruenza tra i campi di spostamento, ciò dimostra, la completa affidabilità dei sistemi automatici di acquisizione.

4. RISULTATI SPERIMENTALI

La procedura di controllo degli stati di dissesto, presentata nelle precedenti sezioni, con l'ausilio di strumenti per il rilievo di campi di spostamento, manuali ed automatici, è stata implementata su un caso reale di un edificio in calcestruzzo armato.

L'immobile oggetto di studio, interessato da estesi quadri fessurativi è ubicato nel comune di Rocca Imperiale in provincia di Cosenza (Fig.1) ed era adibito, all'epoca dell'avvio della campagna sperimentale ad istituto scolastico elementare.

Il fabbricato è posto, in una zona prevalentemente pianeggiante con piana regolare della lunghezza complessiva di circa 29 m e larghezza di circa 24.20 m, è costituito da due piani fuori terra più un seminterrato, un sottotetto e una copertura (Fig.2).

Il complesso edilizio, da un punto di vista strutturale, presenta un reticolo di membrature in calcestruzzo armato in elevazione con un sistema di travi rovesce in fondazione.



Fig.1: Edificio scolastico – Rocca Imperiale (Cs)

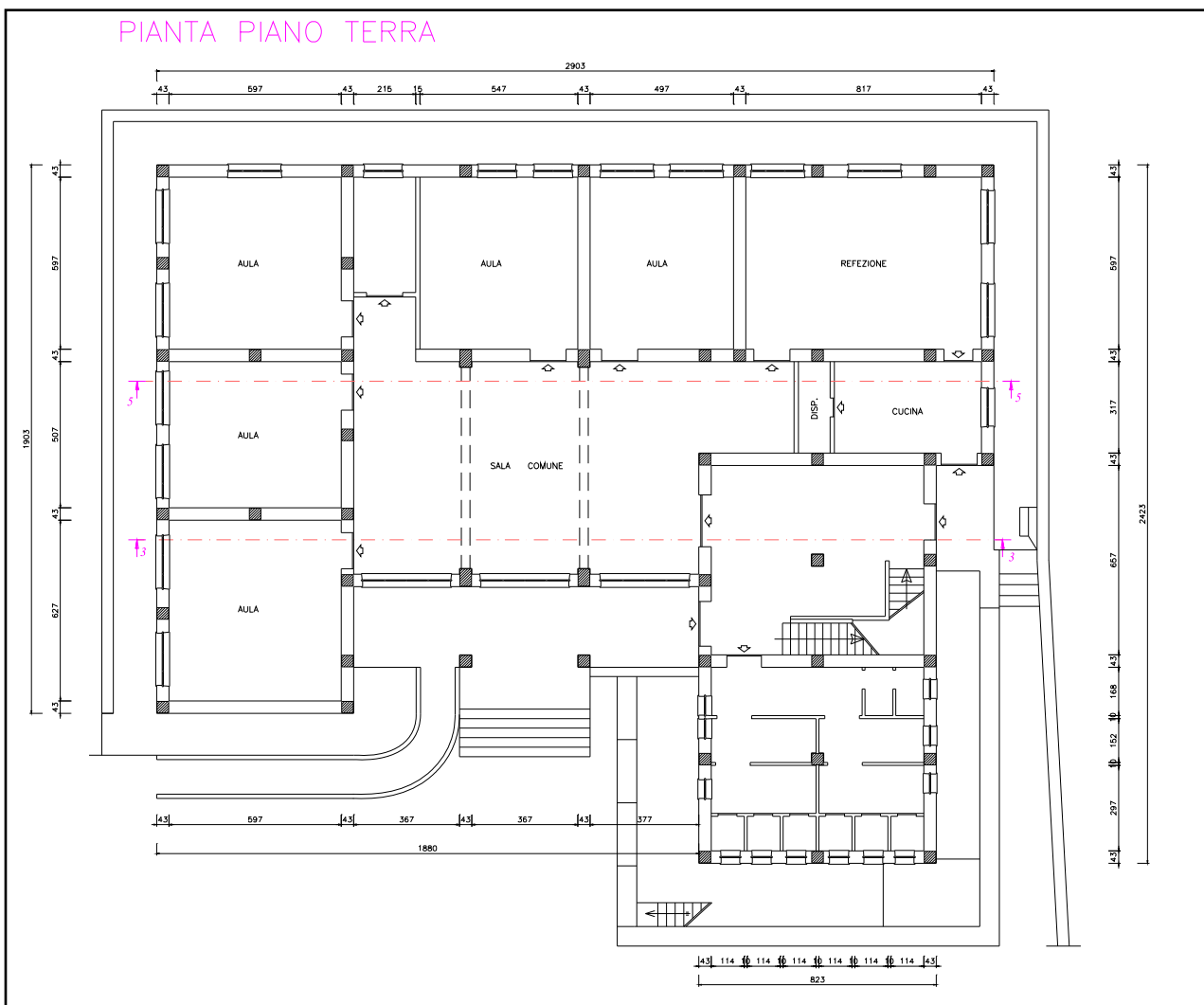


Fig.2: Pianta piano terra

Per come è possibile riscontrare sulle due sezioni trasversali dove è riportato lo stato fessurativo (Fig.3,4), la zona maggiormente dissestata è posta nella parte sinistra rispetto al prospetto principale.



Fig.3: Rilievo del quadro fessurativo – Viste d’insieme

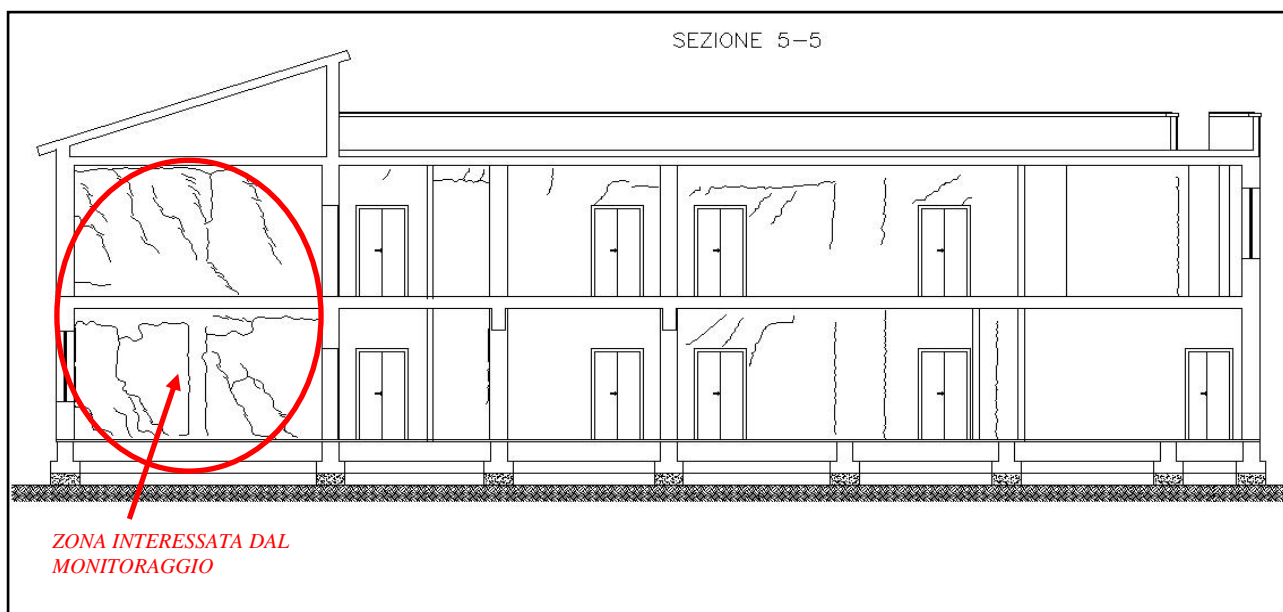


Fig.4: Rilievo del quadro fessurativo – Viste d’insieme

Dopo aver eseguito una puntuale analisi grafica e di catalogazione delle fessure, sia sulle membrature portanti che di finitura, nell’Aprile 2001 è stata avviata una campagna di monitoraggio attraverso la tecnica deformometrica disponendo sull’immobile più di 70 basi di misura. Nella sezione di Figura 5 sono riportati alcuni punti monitorati ai due livelli. Successivamente al primo periodo di osservazione, durato circa 6 mesi, sono stati ulteriormente aggiunti, come rilevatori di spostamenti, dei potenziometri con centraline automatiche di acquisizione dati, al fine

di verificare l'attendibilità di queste attrezzature, sia sotto il profilo dell'accuratezza dello spostamento rilevato, sia per garantire una continuità di misura nel periodo in cui è stata riscontrata la maggiore attività.

Inoltre, volutamente, sono stati posti dei potenziometri in corrispondenza delle basi defrmometriche per mettere a confronto le due tecniche di misura.

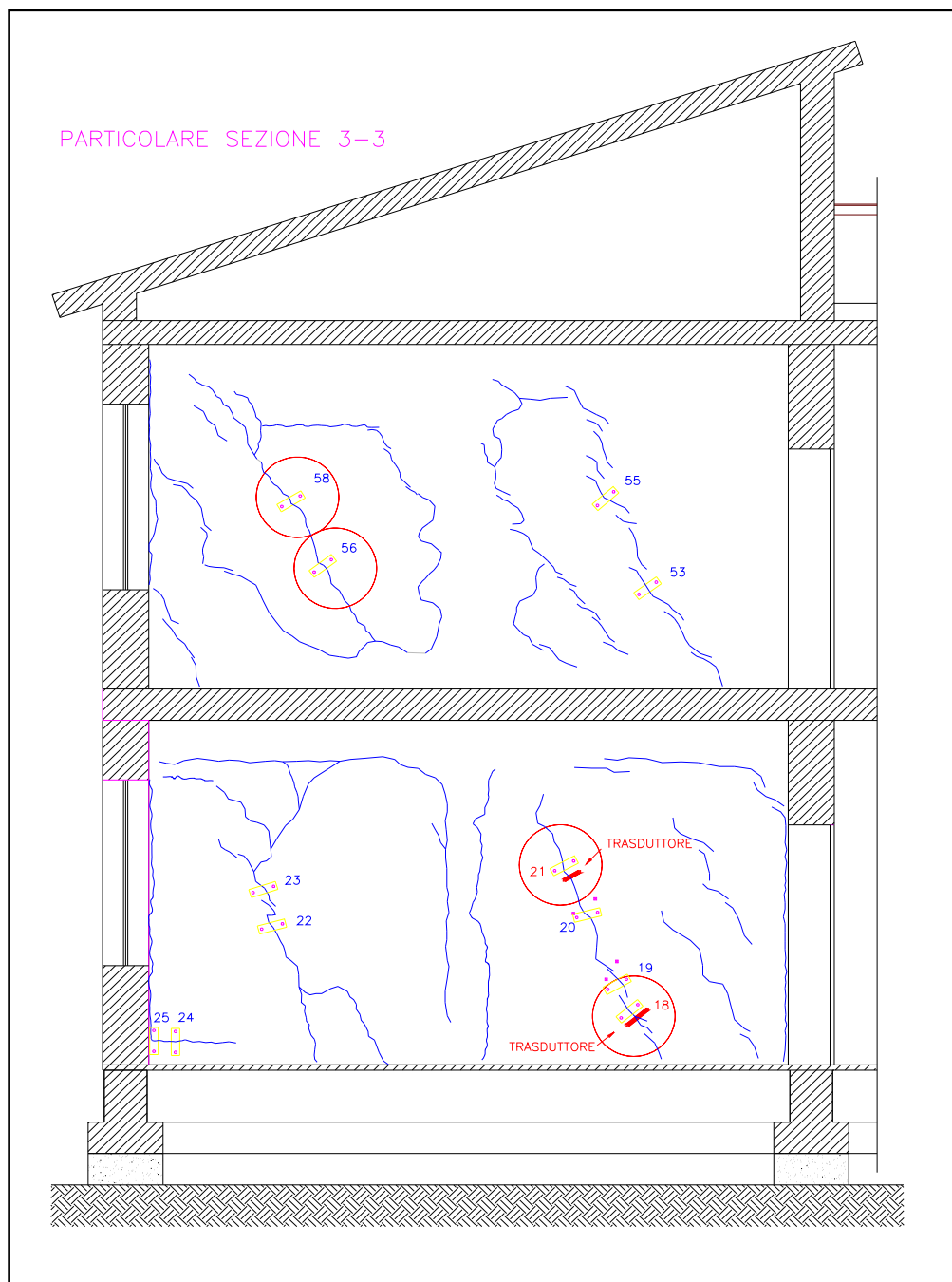


Fig.5: Basi di misura

Nelle figure 6,7,8,9, sono riportati per alcuni punti monitorati, i diagrammi di spostamento rilevati per un periodo di circa un anno di osservazione, con le basi deformatriche.

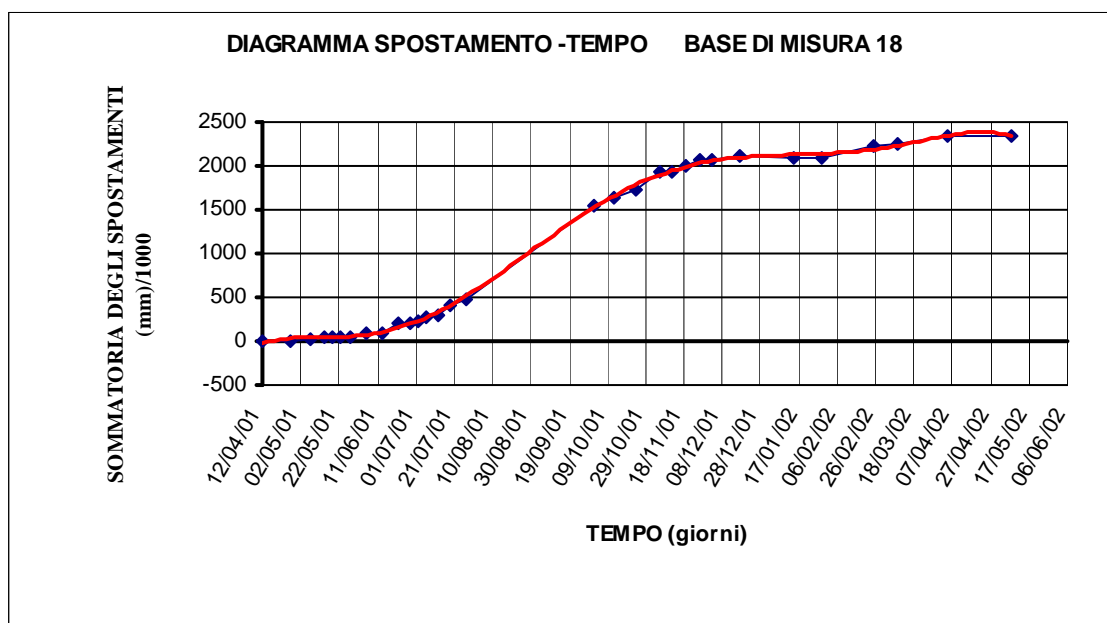


Fig.6: Spostamenti complessivi, Base di misura 18

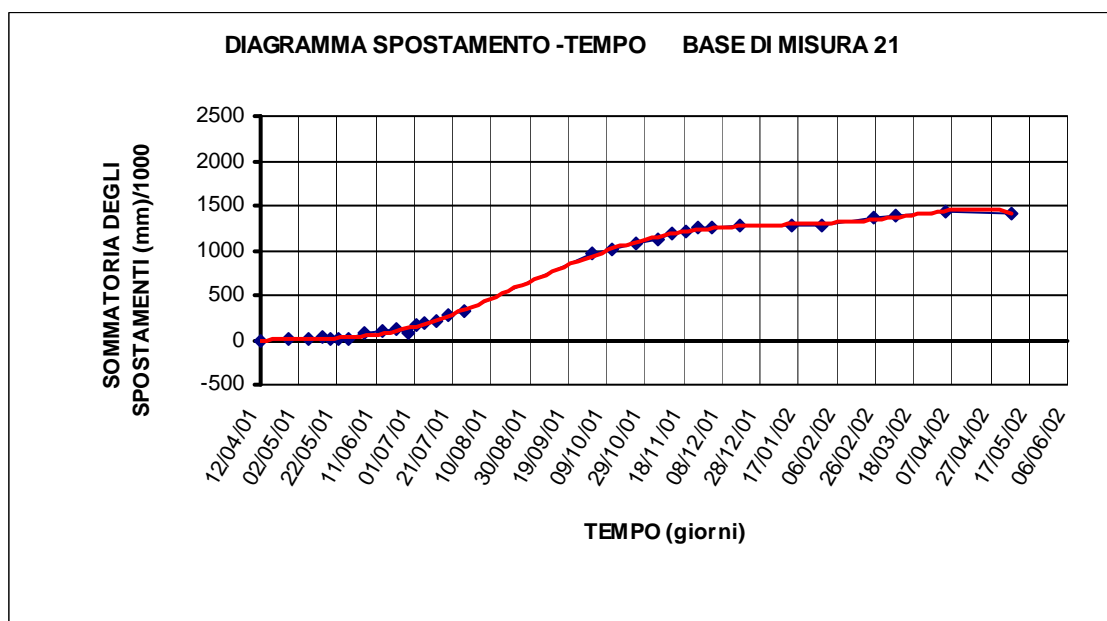


Fig.7: Spostamenti complessivi, Base di misura 21

Come chiaramente mostrano le figure, i diagrammi di spostamento delle basi 18 e 21, poste sul pannello del piano inferiore, hanno registrato spostamenti maggiori rispetto alle basi 56 e 58 ubicate sul pannello del piano superiore. Inoltre le forme degli spostamenti sono simili, ma leggermente traslate temporalmente, tra il piano inferiore e il piano superiore. Ciò a dimostrare che le cause di disturbo hanno origine in fondazione.

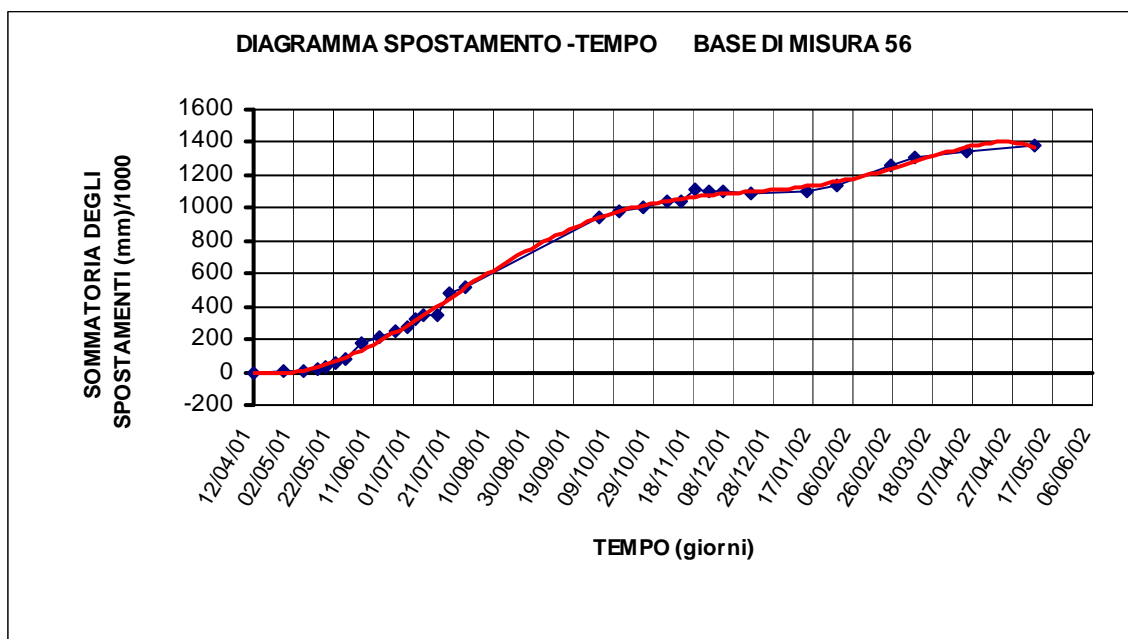


Fig.8: Spostamenti complessivi, Base di misura 56

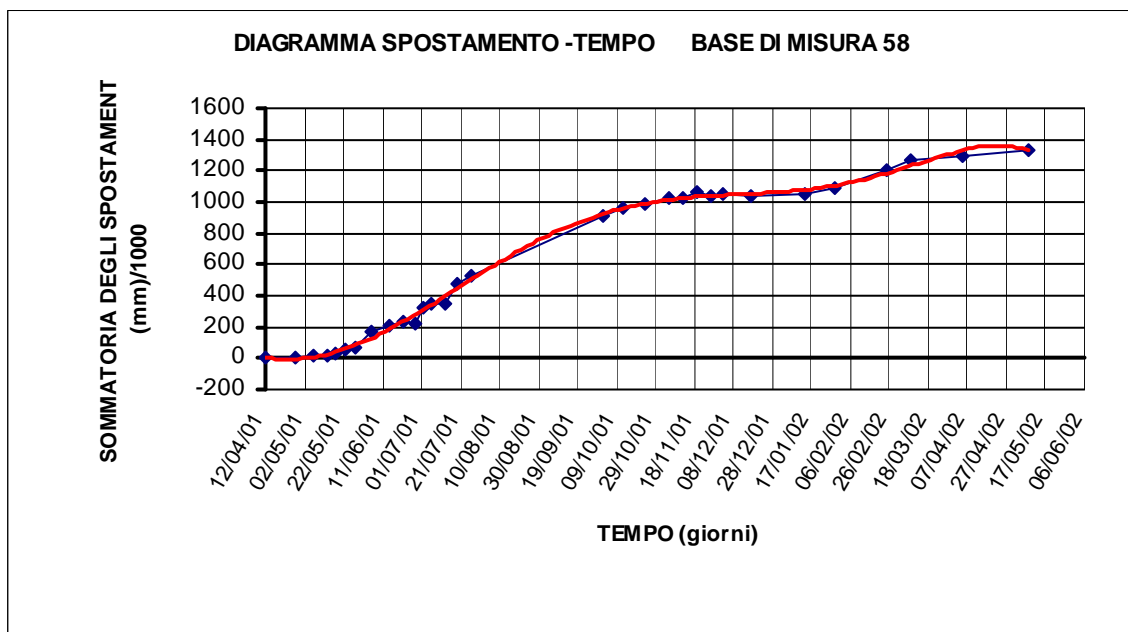


Fig.9: Spostamenti complessivi, Base di misura 58

Nelle Figure 10,11 sono invece riportate le sommatorie degli spostamenti acquisite con il sistema automatico. Come si può rilevare, nell'intervallo temporale di osservazione, sulle basi 18 e 21 sono state riscontrate le stesse ampiezze di spostamento, rilevabili nel medesimo periodo, sui diagrammi ottenuti con la tecnica deformometrica.

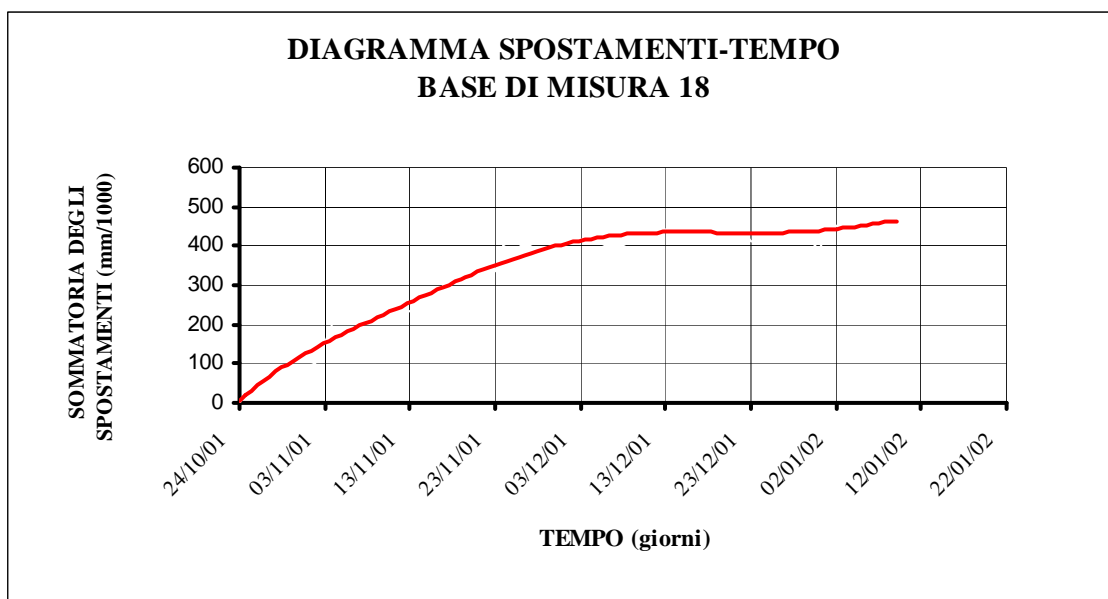


Fig.10: Spostamenti complessivi, Base di misura 18-Acquisizione automatica

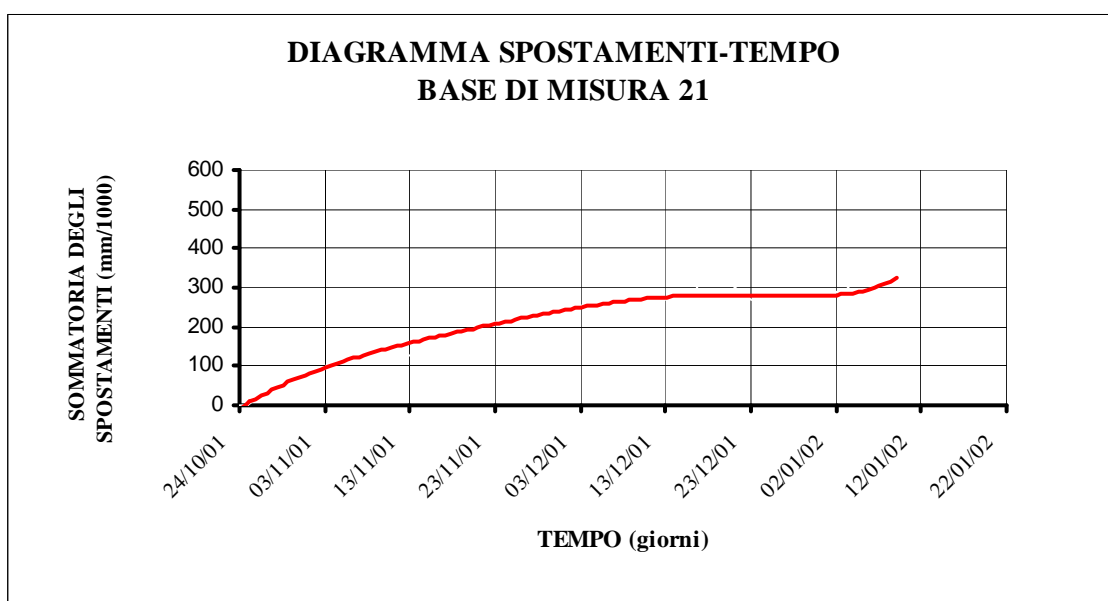


Fig.11: Spostamenti complessivi, Base di misura 21-Acquisizione automatica

Sempre per gli stessi punti di osservazione sono riportati nelle figure 12 e 13 i confronti tra le misure ottenute con le due tecniche, per un periodo di circa un mese. Anche in questo caso è evidente la coincidenza di misura offerta dai due sistemi.

Dalla campagna sperimentale effettuata, qui sinteticamente illustrata, è stato possibile giungere ad una serie di utili conclusioni. In particolare le perturbazioni che hanno prodotto il quadro fessurativo hanno origine in fondazione, inoltre l'alternanza tra fasi di quiescenza del fenomeno con fasi di attività, riscontrate su tutte le basi, ha consentito di rilevare la ciclicità del fenomeno fessurativo e di orientare e calibrare gli interventi di consolidamento preventivamente in fondazione.

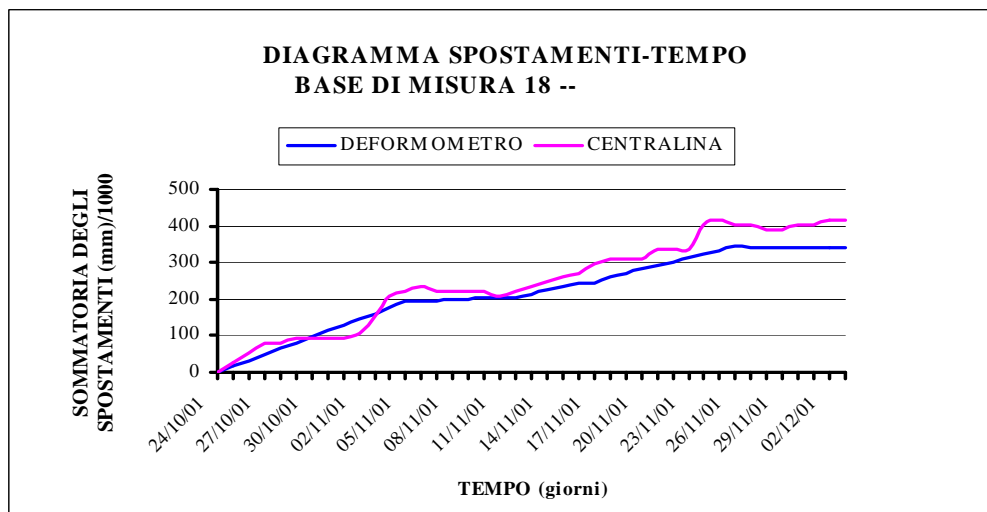


Fig.12: Misure deformometriche e misure automatiche, Base 18

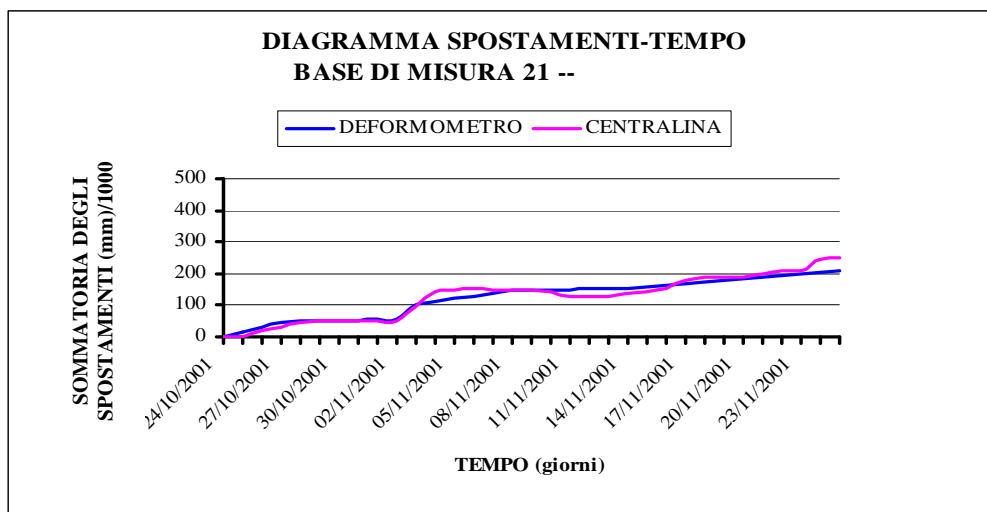


Fig.13: Misure deformometriche e misure automatiche, Base 21

5. CONCLUSIONI

Le tecniche di monitoraggio dei quadri fessurativi sono oggi sufficientemente affidabili e di facile applicazione. In particolare, la tecnica sperimentale, collocata all'interno di un protocollo procedurale di controllo, offre ai tecnici del settore utili informazioni per poter stabilire i livelli di affidabilità delle costruzioni e di prefigurare stati di incipiente collasso.

La procedura di controllo presentata in questa nota, costituisce un ulteriore contributo allo studio degli stati di dissesto, offrendo un utile guida per identificare le cause della crisi strutturale e per calibrare gli interventi di consolidamento per il recupero statico – funzionale degli immobili.

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] F.Miniaci, G.Porco, D.Romano, "Tecniche di Monitoraggio per il Controllo degli Stati di Dissesto sugli Edifici Storici", Conferenza nazionale: Archeometria del Costruito, L'edificato storico: Materiali, Strutture e Rischio sismico, 6-7 Febbraio 2003, Ravello.