

Valutazione dei livelli di efficienza statica sugli edifici in c.a.: ***Protocolli procedurali e tecniche di controllo.***

G. Porco*, D. Romano*

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

Il contenuto della presente nota è stato oggetto di seminario nel Corso di “Formazione per la pianificazione e la gestione tecnica dell'emergenza sismica rilievo del danno e valutazione dell'agibilità”, tenuto presso l'Università della Calabria, Rende (CS)

1. Introduzione

Negli ultimi decenni la continua richiesta di interventi di recupero e di consolidamento di edifici in calcestruzzo armato ed in muratura, unita alla ricerca dell'identificazione dei livelli di sicurezza sul patrimonio edilizio esistente, ha progressivamente rimosso la convinzione secondo la quale le strutture dell'ingegneria civile sono manufatti intrinsecamente solidi e destinati a durare per un tempo indefinito.

La richiesta di mercato, ha di fatto prodotto, la nascita di nuove competenze in campo ingegneristico e cioè, competenze atte ad effettuare la diagnosi degli stati di dissesto sugli edifici ed inoltre, a provvedere, al monitoraggio nel tempo delle situazioni di sofferenza strutturale, in modo da prevenire crolli improvvisi, o situazioni di incipiente collasso. L'aspetto principale dell'analisi consiste quindi nella valutazione oggettiva dei livelli prestazionali degli immobili, sul breve e sul lungo periodo, in modo da garantirne l'uso anche durante le fasi di indagine, e di controllo in piena sicurezza.

Appare quindi evidente che, le competenze richieste, siano inerenti a diversi campi dell'ingegneria civile, quali, quello strutturale, quello geotecnico, il campo delle sperimentazioni in situ e non ultimi quelli della sperimentazione sui materiali e sul monitoraggio delle situazioni di dissesto [1]. Notevole è stato l'impegno profuso dai ricercatori su tale argomento, sono state infatti messe appunto diverse tecniche d'indagine, specializzandole principalmente per l'analisi dei materiali in situ. [2], [3],[4],[5]. Accanto ai metodi tradizionali di indagine, sono stati introdotti i metodi non distruttivi che risultano poco invasivi e che, con opportune operazioni di taratura presentano sufficienti livelli di affidabilità. Ovviamente lo sviluppo delle tecniche d'indagine è stato condizionato negli anni principalmente dalla immissione sul mercato di nuove strumentazioni e della ottimizzazione di quelle esistenti o addirittura, della possibilità di utilizzare strumenti originariamente nati con finalità diverse, nel campo delle indagini sperimentali sulle opere in c.a. [6], [7]. Inoltre diverse sono state le proposte metodologiche di analisi, con l'obiettivo di integrare e rendere sinergiche le informazioni provenienti dai vari campi di studio, per giungere in fine, ad una valutazione oggettiva dei livelli di consistenza degli edifici in c.a. e determinare i livelli di sicurezza nei riguardi delle diverse condizioni di carico cui l'immobile potrà essere soggetto sul breve e lungo periodo. E' in questa ottica che si colloca la presente nota con la quale si vuole fornire un contributo alla definizione di protocolli procedurali per la valutazione dello stato di consistenza degli edifici in c.a. e per il controllo degli stati di dissesto, richiamando le modalità d'intervento per l'estrinsecazione della fase conoscitiva dell'immobile sotto il profilo strutturale e dei materiali. Verrà quindi illustrata una metodologia di indagine mediante la quale si potrà giungere ad una caratterizzazione meccanica delle strutture e valutare quindi, i margini di sicurezza nei riguardi delle possibili condizioni di carico. Definiti i caratteri generali delle procedure di intervento, si provvederà ad analizzare le tecniche non invasive per la valutazione dei valori caratteristici di resistenza dei calcestruzzi in opera [8], [9]. Tale aspetto riveste una notevole importanza nella valutazione dello stato di consistenza degli edifici in c.a., infatti in quasi tutti gli immobili che manifestano situazioni di sofferenza non esiste alcuna informazione sulle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi in opera.

La seconda parte della nota è invece dedicata alle tecniche di monitoraggio delle situazioni di dissesto. Anche tale argomento è estremamente importante nello studio della valutazione della consistenza strutturale. Sono diverse, infatti, le situazioni in cui, la valutazione dei livelli

prestazionali in opera avviene quando l'immobile è già sede di consistenti e profondi fenomeni fessurativi. L'accertamento quindi, della possibile attività del fenomeno fessurativo e del tipo di progressione in atto diventa un forte vincolo da rimuovere, per poter usufruire in piena sicurezza della struttura già in fase d'indagine.

2. Valutazione dello stato di consistenza degli edifici in C.A.

La possibilità di riuscire a fornire una diagnosi su un immobile in uno stato di crisi, oppure identificare i livelli di sicurezza presenti su una struttura apparentemente integra, non può prescindere da una profonda analisi conoscitiva. Tale analisi può essere avviata valutando prioritariamente le proprietà macroscopiche dell'intero complesso edificio-terreno per poi estendersi alla valutazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali presenti che costituiscono le sezioni resistenti delle membrature portanti del complesso strutturale.

Una possibile metodologia di studio, deve quindi contenere tutti i passi che conducano non solo alla identificazione delle proprietà geometriche e meccaniche del complesso strutturale, ma che garantiscano principalmente uno svolgimento delle fasi conoscitive in piena sicurezza. Un possibile protocollo procedurale che può condurre alla valutazione dello stato di consistenza dell'immobile può essere suddiviso nei seguenti punti:

- 1) Ricerca ed analisi della documentazione esistente.
- 2) Valutazione dello stato di consistenza del sito.
 - Indagine geologica.
 - Esecuzione di prove geotecniche in situ.
 - Indagine sperimentale in laboratorio.
 - Valutazione dei parametri meccanici dei terreni di fondazione.
 - Valutazione delle condizioni di stabilità globali del sito.
- 3) Rilievo Architettonico-Strutturale.
 - Esecuzione di saggi sulle strutture.
 - Identificazione delle geometrie delle strutture portanti.
 - Definizione della tipologia delle strutture in fondazione.
 - Valutazione dello stato di consistenza dei solai.
- 4) Rilievo e valutazione dell'eventuale stato di dissesto presente.
 - Rilievo puntuale dei quadri fessurativi.
 - Monitoraggio per la identificazione del tipo di progressione in atto.
 - Redazione di grafici esplicativi dello stato di dissesto.
 - Identificazione delle cause di dissesto.
- 5) Indagini sui materiali.
 - Valutazione delle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi in opera.
 - Valutazione delle caratteristiche meccaniche sugli acciai.
 - Valutazione dello stato di degrado dei calcestruzzi.
- 6) Valutazione dei parametri globali di sicurezza utilizzando i valori geometrici e meccanici ottenuti dalla indagine conoscitiva.
- 7) Identificazione delle tecniche d'intervento per l'esecuzione delle opere di consolidamento.

La valutazione di tutti gli elementi indispensabili per esplicitare l'analisi conoscitiva interessa diverse competenze, sicuramente quelle predominanti sono relative al campo sperimentale di indagini in situ.

Da una mirata indagine sperimentale possiamo ricavare i parametri meccanici dei calcestruzzi in opera, verificare la omogeneità delle classi presenti, controllarne lo stato di conservazione e valutare il livello di protezione offerto allo stato attuale alle barre d'armatura. Sempre attraverso l'indagine sperimentale, in questo caso finalizzata a misure di spostamento, sarà possibile monitorare l'evoluzione delle eventuali condizioni di crisi e stabilire se l'immobile può essere utilizzato anche nel periodo in cui vengono effettuati misure e rilievi. Nelle successive sezioni ci occuperemo delle tecniche di indagine per la valutazione dei livelli prestazionali dei calcestruzzi in opera, mediante tecniche non invasive, analizzando le metodiche d'indagine e

sottolineando i limiti di affidabilità delle stesse tecniche. Nella seconda parte, volgeremo invece l'attenzione ai sistemi di monitoraggio, valutando l'importanza della conoscenza dell'evoluzione dei quadri fessurativi, sulla stima delle potenziali condizioni di crisi che possono manifestarsi su una struttura in c.a.

3. Valutazione dei livelli prestazionali dei calcestruzzi in opera mediante tecniche non invasive

Il calcestruzzo rappresenta il materiale più diffuso nel campo delle costruzioni civili. Il suo largo impiego ha portato diversi vantaggi, legati alle caratteristiche intrinseche del materiale, sia in fase di realizzazione che di esercizio. Fino ed oltre quaranta anni fa il calcestruzzo veniva presentato come materiale a bassa manutenzione con durata pressoché illimitata. Ben diversa è la situazione che si presenta oggi agli operatori del settore, infatti notevole è la presenza sul territorio nazionale di edifici in calcestruzzo armato soggetti a situazioni di dissesto sui quali è necessario produrre dei controlli per la valutazione della consistenza.

Come già accennato in premessa, la determinazione dei coefficienti di sicurezza sulle strutture in calcestruzzo armato, non può prescindere dalla caratterizzazione meccanica dei materiali in opera. Le possibilità, di analizzare i requisiti meccanici dei calcestruzzi, sono offerte dalle indagini distruttive e non distruttive. Ovviamente tali metodi, alcuni dei quali ancora in fase di sperimentazione, consentono, senza creare grave disturbo alla struttura esistente, di determinare le resistenze ultime dei calcestruzzi[10].

Nella gran parte dei casi le strutture sono prive di certificati di attestazione della qualità dei materiali ed in particolare dei calcestruzzi, quindi al tecnico si presenta l'esigenza di valutare in opera la qualità del calcestruzzo ed in particolare di identificarne la resistenza meccanica. Le metodologie di prova non invasive, messe a punto in questi ultimi anni da numerosi ricercatori che operano nel settore, sono basate principalmente sui metodi ultrasonori, sclerometrici e sul metodo combinato.

Tuttavia è noto, da diversi risultati sperimentali reperibili nella letteratura specializzata che, è necessario tarare sempre i valori ottenuti dalle indagini, con valori caratteristici di riferimento e cioè propri del materiale in esame, ottenuti quest'ultimi su campioni prelevati in opera. Inoltre i risultati ottenuti attraverso l'uso isolato dei metodi ultrasonori e sclerometrici sono del tutto inattendibili. In particolare i metodi di indagine più diffusi, per effettuare la caratterizzazione in opera dei calcestruzzi sono raggruppabili in base al livello di danno prodotto sulle strutture, nelle due seguenti categorie:

- 1) Metodi Semi-Distruttivi:
 - Carotaggio;
 - Prove di Penetrazione.
- 2) Metodi Non-Distruttivi:
 - Prove Sclerometriche;
 - Prove Ultrasonore;
 - Prove Combinate.

3.1 Metodi Semi-Distruttivi

I metodi semi-distruttivi sono rappresentati principalmente dal carotaggio e dal metodo di penetrazione. Sono delle metodologie, che producono un danno seppure minimo alle strutture soggette ad indagine e necessitano sempre dell'uso del pacometro per identificare la presenza di barre nelle membrature e poter quindi operare solo sul calcestruzzo, evitando ostacoli per il prelievo e la penetrazione.

Sicuramente il carotaggio è la metodologia di prova più valida per la determinazione delle resistenze in opera, infatti i valori caratteristici sono valutati su provini cilindrici che provengono dall'immobile soggetto ad analisi, ed inoltre, sono rappresentativi dell'intera storia sotto il profilo della maturazione e della stagionatura del calcestruzzo in opera. Il grosso limite che è intrinseco

all'uso del carotaggio è relativo all'impossibilità, a meno di produrre grossi danni all'immobile, di disporre di un numero sufficiente di campioni rappresentativi delle classi del calcestruzzo in opera.

Per quanto attiene invece al metodo di penetrazione, esso è un metodo di indagine abbastanza diffuso ma al pari del metodo sclerometrico, ha lo svantaggio di produrre valori caratteristici, utilizzando informazioni relative alle proprietà superficiali del materiale e quindi non fornisce alcuna informazione relativamente alla consistenza interna del calcestruzzo.



Fig. 1 – PACOMETRO

3.1.1 Carotaggio

La metodologia di prova, basata sul prelievo di campioni in opera sotto forma di provini cilindrici rappresenta uno dei metodi semi-distruttivi più comuni. Il metodo consiste appunto, nell'estrazione di una carota con diametro variabile tra i 30 (microcarotaggi) e i 200 mm utilizzando una carotatrice (fig.2).

Le carote vengono estratte procedendo dalla superficie all'interno del corpo per una lunghezza proporzionale al diametro, è buona norma estrarre carote con rapporto lunghezza diametro almeno pari a 2. Le estrazioni vengono generalmente eseguite con seghe circolari a corona diamantata, raffreddate con continui getti di acqua che evitano il blocco della carotatrice per surriscaldamento.

Il cilindro estratto viene sottoposto successivamente, previa rettifica delle basi, a prove di compressione. Nelle operazioni di estrazione si dovrebbe evitare di tagliare ferri di eventuali armature, oppure di effettuare carotaggi ravvicinati in zone soggette a considerevoli stati tensionali.

L'impiego delle carote è un metodo diretto, in quanto fornisce una misura della resistenza a compressione, senza l'impiego di correlazioni con altri parametri.



FIG. 2 – CAROTATRICE

3.1.2 Metodo di Penetrazione

Altro metodo semi-distruttivo è il metodo di penetrazione, con esso la resistenza a compressione del calcestruzzo è correlata con la profondità di infissione di un chiodo su una parte in calcestruzzo.

La strumentazione con la quale si effettua questo tipo di prova è la Windsor Probe System. Essa è costituita da un propulsore (pistola di sicurezza) che utilizza cariche accuratamente dosate per infiggere astine di acciaio con velocità inizialmente uniforme.

Uno dei limiti del metodo è relativo alle analisi dello stato di consistenza basato sulle caratteristiche superficiali del calcestruzzo, mentre non si hanno valutazioni sull'intero spessore del getto in esame. Inoltre risente di eventuali difetti superficiali quali nidi di ghiaia ed anomalie non riscontrabili visivamente che possono alterare i risultati delle indagini.

3.2 Metodi Non-Distruttivi

I metodi distruttivi o semi distruttivi riescono a fornire utili e oggettive indicazioni sullo stato di consistenza del calcestruzzo, tuttavia la possibilità di poter analizzare tramite carotaggio, l'insieme delle classi rappresentative dei calcestruzzi presenti in opera, anche su strutture di modesta entità è assai remota. Notevole è infatti il disturbo prodotto sulle membrature portanti al fine di poter disporre di un campione sufficientemente rappresentativo delle miscele presenti. La soluzione del problema, consiste quindi nell'utilizzare i metodi non distruttivi e di tarare opportunamente, i valori di resistenza ottenuti attraverso i risultati ricavati dalle prove a compressione sui campioni del carotaggio effettuato in numero ridotto ed in punti ben definiti.

Originariamente alcuni metodi non distruttivi e più precisamente quelli ad ultrasuoni, trovarono e trovano ampia utilizzazione in campo meccanico, principalmente per la localizzazione di difetti, microfessurazioni e cricche. Da alcuni anni, il metodo ad ultrasuoni ha trovato un suo spazio applicativo anche nel campo dell'ingegneria civile, soprattutto per la stima delle proprietà dei materiali ed in particolare per la valutazione delle resistenze a compressione dei calcestruzzi e della loro omogeneità.

Accanto al metodo ultrasonoro è possibile anche applicare il metodo sclerometrico o della valutazione dell'indice di rimbalzo, il quale combinato opportunamente con le velocità rilevate e con i valori di resistenza ottenuti da pochi e mirati carotaggi, permette di stimare parametri di resistenza sufficientemente affidabili. In generale quindi i metodi non distruttivi consentono di ottenere informazioni su:

- Omogeneità del calcestruzzo.
- Analisi delle variazioni delle proprietà meccaniche.
- Individuazione di fessure o difetti.
- Variazione delle proprietà meccaniche per calcestruzzi soggetti a carico d'incendio.

Tra i principali metodi non distruttivi in uso in campo civile ricordiamo:

- Metodo Sclerometrico;
- Metodo Ultrasonoro;
- Metodo Combinato.

Illustreremo brevemente le tre diverse tecniche d'indagine discutendo gli aspetti più importanti circa la loro attendibilità.

3.2.1 Metodo Sclerometrico

Il campo di applicazione del metodo sclerometrico o della valutazione dell'indice di rimbalzo è rivolto soprattutto alla valutazione delle seguenti proprietà:

- Controllo della uniformità del calcestruzzo nelle diverse parti della struttura;
- Valutazione attraverso curve di taratura della qualità del calcestruzzo in opera;
- Valutazione delle variazioni delle proprietà del calcestruzzo nel tempo.

Il metodo si basa sul principio che, il rimbalzo di una massa elastica, dipende dalla durezza della superficie contro la quale la massa stessa viene proiettata. Il parametro non distruttivo del metodo è rappresentato dall'indice di rimbalzo (fig. 3).

Le modalità da seguire per la determinazione dell'indice di rimbalzo e il campo di applicazione di tale metodo è regolato dalla norma UNI EN 12504-2. Gli elementi di calcestruzzo che si sottopongono a prova, devono avere uno spessore minimo di almeno 150 mm [11].



FIG. 3 – SCLEROMETRO

La prova si deve effettuare su una superficie avente una circonferenza con diametro compreso tra 150 e 300 mm. Le impronte dell'urto non devono essere sovrapposte e devono distare almeno 30 mm dai bordi. Per ottenere l'indice medio di rimbalzo I_m si calcola la media aritmetica di tutte le misure effettuate con tre cifre significative, escludendo le misure I_i per le quali non si verifica la seguente relazione:

$$0.8 I_m < I_i < 1.2 I_m$$

3.2.2 Metodo ad Ultrasuoni

Gli ultrasuoni sono delle onde che si propagano nel materiale con frequenze inferiori a quelle nel campo dell'udibile. Attraverso questi rilievi ultrasonici si deduce la velocità virtuale di propagazione degli impulsi dallo spessore del materiale attraversato e dal tempo impiegato. Da essa si possono trarre informazioni su:

- Omogeneità del calcestruzzo;
- Difetti di getto;
- Rilievo di spessori;
- Variazione delle proprietà causate dal degrado sul manufatto;
- Modulo elastico;
- Stima della resistenza del calcestruzzo attraverso opportune tarature con valori di resistenza ottenuti dai carotaggi.

Il sistema strumentale necessario per eseguire la prova ad ultrasuoni è composto dalle seguenti unità:

- Sonda emettitrice;
- Sonda ricevente;
- Dispositivo di amplificazione e trattamento del segnale;
- Un dispositivo che misura il tempo tra emissione e ricezione del segnale.



FIG. 4 – STRUMENTAZIONE AD ULTRASUONI

La sonda emettitrice o emettitore è costituita da un dispositivo che genera brevi impulsi elettrici e da un trasduttore che trasforma questi impulsi in vibrazioni meccaniche. L'applicazione del metodo ad ultrasuoni è regolato dalla norma UNI 9524. Per effettuare la misura dei tempi di propagazione degli impulsi di vibrazione i trasduttori possono essere disposti in tre diverse posizioni e le metodologie di lettura sono definite [12]:

- Metodo di trasmissione diretta;
- Metodo di trasmissione semidiretta;
- Metodo di trasmissione indiretta.

Una volta effettuata la misura delle velocità è possibile risalire ad alcune indicazioni sulla qualità generale del calcestruzzo.

3.2.3 Metodo Combinato

Le due metodologie di prova illustrate precedentemente e cioè il metodo ultrasonoro ed il metodo sclerometrico, utilizzati in modo isolato non consentono una stima sufficientemente attendibile dei valori di resistenza del calcestruzzo in opera.

In particolare il metodo sclerometrico fornisce dei valori dell'indice di rimbalzo relativi esclusivamente alle proprietà superficiali dei getti, inoltre la disponibilità di indici di rimbalzo senza curve di correlazione che siano proprie dei calcestruzzi in opera, non consente una valutazione attendibile dei valori di resistenza.

Per quanto attiene invece al metodo ultrasonoro, è stato dimostrato che le velocità di trasmissione possono essere influenzate da diversi fattori, quali, il livello di umidità, la presenza di armatura, l'assortimento granulometrico e quindi il livello di compattezza. Anche in questo caso avere a disposizione valori di velocità o tempi di percorrenza dell'impulso, senza una curva rappresentativa dei calcestruzzi oggetti d'indagine, non consente una stima appropriata dei valori di resistenza.

Un modo per superare le difficoltà presentate dai due metodi è quello di utilizzarli in modo combinato.

L'uso combinato è stato dimostrato, attenua i limiti, in quanto questi vengono compensati tra di loro. Sono state proposte diverse formulazioni in letteratura per la valutazione della resistenza cubica a compressione. Le relazioni proposte consentono di effettuare una taratura dei risultati utilizzando alcuni valori di resistenza a rottura ricavati su carote estratte in opera. E' buona norma effettuare, al fine di verificare anche lo stato di integrità delle carote, misure ultrasonore sulle carote estratte. Inoltre nei punti di carotaggio prima dell'estrazione verranno valutate le velocità di trasmissione e gli indici di rimbalzo.

Una delle relazioni più diffuse per l'applicazione del metodo combinato è la seguente [13]:

$$R_s = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot I_r^{1.058} \cdot V_p^{2.446} \quad (\text{MPa})$$

dove:

R_s = Resistenza cubica a compressione;

I_r = Indice di rimbalzo (in situ e sulle carote);

V_p = Velocità (in situ e sulle carote).

Con l'ausilio delle resistenze cilindriche ricavate sulle carote sarà possibile ricavare i coefficienti d'influenza globali, per ottenere i valori di resistenza attuali. Se inoltre i dati disponibili sono sufficientemente rappresentativi, può essere effettuata una elaborazione statistica e valutare i valori medi di resistenza, i valori caratteristici e i coefficienti di variazione al fine di verificare il livello di omogeneità dei getti.

4. Protocollo procedurale per il controllo dei quadri fessurativi

Per quanto attiene invece alla valutazione di eventuali situazioni di dissesto, accanto alle procedure di indagini conoscitive sullo stato attuale dell'immobile, è necessario attivare uno studio storico sulle eventuali modifiche apportate alla struttura nel passato e non ultimo, quando lo stato di dissesto è estremamente marcato sulle membrature portanti predisporre un idoneo sistema di monitoraggio.

Solo attraverso un continuo controllo dei quadri fessurativi sarà possibile identificare condizioni di attività e stabilire se il complesso strutturale si sposta verso nuove e vicine condizioni di equilibrio, oppure se le progressioni sono accelerate e quindi il complesso strutturale si sposta verso condizioni di potenziale collasso.

Mediante l'osservazione delle lesioni si può arrivare alla determinazione delle cause perturbatrici e di conseguenza, allo studio ed all'applicazione dei necessari rimedi di primo intervento o di natura definitiva. Esiste, infatti una corrispondenza biunivoca fra dissesti (cause) e lesioni (effetti) ossia, assegnato uno di questi fattori, l'altro resta determinato.

Il protocollo procedurale, riportato di seguito, è basato su questi concetti generali ed ha, come obiettivo fondamentale, quello di fornire ai tecnici del settore tutti i dati necessari per valutare reali situazioni di pericolo e di fornire utili indicazioni sulle cause del dissesto. L'architettura del protocollo è costituita dalle seguenti fasi:

1. Rilievo dei quadri fessurativi e graficizzazione dello stato di dissesto;
2. Identificazione delle tecniche d'acquisizione dati;
3. Individuazione dei punti da sottoporre a monitoraggio;
4. Campagna d'indagine sperimentale.

Il rilievo dei quadri fessurativi rappresenta il primo passo verso l'identificazione di quella che sarà la loro evoluzione futura. I quadri fessurativi sono degli utili elementi per valutare il livello di sicurezza della struttura e attraverso la loro analisi ed interpretazione, è infatti possibile evitare che si possano innescare crolli o meccanismi di collasso.

Per l'individuazione dei meccanismi di collasso è necessario che le lesioni siano accuratamente rilevate, documentate e classificate singolarmente e, successivamente riassunte in schemi complessivi che consentano una valutazione globale del fenomeno.

Per ogni lesione è necessario rilevare:

- la posizione e la forma;
- le diverse ampiezze nelle zone d'apice e di ventre;
- se sono di recente o pregressa formazione;
- l'evoluzione degli spostamenti.

In riferimento a quest'ultimo punto, sulle lesioni principali è necessario predisporre, un sistema di controllo della evoluzione delle ampiezze, registrando gli incrementi di spostamento (spostamento tra l'istante t e l'istante $t-1$).

La successiva graficizzazione degli spostamenti totali in funzione del tempo porta ad identificare le progressioni fessurative.

Sulle strutture è possibile riscontrare tre diversi tipi di progressione:

- Progressione ritardata: la progressione ritardata è caratterizzata da spostamenti sempre più attenuati nel tempo, che tendono ad estinguersi per lo stabilirsi di una situazione di equilibrio definitivo;

- Progressione accelerata: la progressione accelerata è caratterizzata dalla evoluzione repentina nel tempo dei quadri fessurativi che inducono la struttura verso stati di equilibrio lontani dalla condizione attuale o addirittura a condizioni di collasso locali o globali del complesso;

- Progressione costante: il fenomeno di crescita è caratterizzato da uno sviluppo costante che in un tempo non quantificabile oggettivamente, evolverà in moti di progressione ritardata o accelerata.

Il livello di rischio associato alle diverse tipologie di progressione è alto per quella accelerata, basso per quella ritardata e infine medio per la progressione costante.

Naturalmente la suddivisione riportata è puramente indicativa in quanto, in opera, i diagrammi di spostamento presentano nel complesso evolutivo a volte tutte e tre le tipologie canoniche.

La possibilità di disporre dei diagrammi di spostamento è legata alla tecnica di controllo ed alla strumentazione scelta per il monitoraggio.

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.

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

Infatti, 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.

4.1 Tecniche di monitoraggio dei quadri fessurativi

Le tecniche di monitoraggio dei quadri fessurativi oggi a disposizione sono molteplici, alcune obsolete come ad esempio i fessurimetri, altre tecnologicamente avanzate come i sensori a fibre ottiche. Nella metodologia proposta sono stati presi in considerazione due tipi di strumenti: i deformometri e i sensori automatici con centraline di acquisizione dati. Di seguito verranno descritte brevemente le caratteristiche tecniche delle due strumentazioni.

4.1.1 Misure dirette mediante deformometro

Quando il livello di approssimazione deve essere più accurato, ed in particolare quando la situazione di dissesto sotto osservazione è molto impegnativa, per cui è necessario rilevare anche gli spostamenti più piccoli, si ricorre all'uso del deformometro (Fig.5). Questo è uno strumento di misura, che consente letture degli spostamenti relativi a cavallo delle fessure utilizzando basi a partire da 50 mm. Il deformometro è costituito da una barra invar alle cui estremità sono montate due testine munite di punte coniche. Una delle testine è fissa, mentre l'altra è libera di effettuare una certa rotazione attorno ad un speciale coltello.

I punti di misura vengono posizionati a cavallo delle fessure più rappresentative e sono costituiti da capisaldi in acciaio con guida per la testina conica saldati a dei perni filettati inseriti all'interno della muratura. Le letture indicate sul micrometro, si riferiscono al movimento della testina ruotante conseguente all'eventuale spostamento dei capisaldi o punti di misura (Fig.6). I valori letti devono essere trasformati attraverso il fattore di Gauge proprio dello strumento.

La rilevazione periodica delle distanze, effettuata ad intervalli temporali, definiti in base al tipo di dissesto ed al tipo di struttura in esame, consente di tracciare dei diagrammi di spostamento utili a riconoscere il tipo di progressione in atto.



FIG. 5 – DEFORMOMETRO IN OPERA



FIG.6–PUNTI DI MISURA

4.1.2 Monitoraggio dei quadri fessurativi con acquisizione automatica degli spostamenti

L'uso del deformometro, risolve il problema dell'accuratezza della misura, spingendo gli spostamenti letti a valori dell'ordine di $1/100$ di millimetro o più, consente inoltre, di effettuare letture negli intervalli predefiniti giungendo comunque alla identificazione del tipo di progressione in atto sull'immobile. Ha tuttavia un difetto di fondo, e cioè, è necessaria la presenza di un operatore, per tutte le letture.

Tale condizione è estremamente vincolante e rappresenta un serio limite nel caso in cui l'immobile presenti incipienti condizioni di collasso. In tali circostanze è opportuno ridurre al minimo la presenza del personale tecnico, utilizzando un sistema di acquisizione dati collegato ad un gruppo di sensori.

Il sistema di rilevamento automatico si compone dei seguenti elementi:

- Acquisitore dati LPA dotato di batterie al litio con possibilità di registrazione modulabile (per un tempo massimo di sei mesi) e di scheda GSM per la trasmissione dei dati in altro sito;
- Sensori di spostamento, trasduttori lineari e tridimensionali: vengono installati sulla struttura e servono per rilevare il fenomeno fisico in atto;
- Cavi di collegamento;
- Computer portatile per la elaborazione dei dati provenienti dalle centraline di acquisizione, visualizzazione in tempo reale.

Il sistema di monitoraggio è riportato nelle figure 7,8 dove sono raffigurati il sensore di spostamento in opera e la centralina di acquisizione dati.



FIG.7,8 – SENSORI DI SPOSTAMENTO E CENTRALINA DI ACQUISIZIONE

5. Conclusioni

La possibilità di effettuare valutazioni oggettive sullo stato di consistenza degli edifici i c.a. è oggi pienamente conseguibile. Naturalmente la presenza di diversi aspetti concorrenti alla manifestazione di una situazione di dissesto, richiede la presenza di competenze tecniche diversificate, le quali sinergicamente, produrranno una valutazione dei reali coefficienti di sicurezza nei riguardi di possibili condizioni di carico.

Gli aspetti più delicati, da sviluppare in un iter procedurale di controllo, riguardano, nella maggior parte dei casi, la valutazione delle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi in opera e l'identificazione dello stato di attività e di progressione del fenomeno fessurativo qualora sia presente sull'immobile. Attraverso le tecniche non distruttive è possibile giungere a valori sufficientemente affidabili delle caratteristiche ultime del calcestruzzo, inoltre, la ridotta invasività dei metodi, permette di disporre di un numero di valori di riferimento sufficienti per effettuare anche un trattamento di tipo statistico. Per quanto attiene invece al monitoraggio delle situazioni di dissesto, oggi 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.

BIBLIOGRAFIA

- [1] MALERBA P.G. – Monitoraggio delle strutture dell'ingegneria civile. CISM – International Centre For Mechanical Sciences – Collana di ingegneria Strutturale N°9 (1195)
- [2] CIANFRONE F., FACAORU I –Study on the introduction into Italy on the combined non-destructive method, for determination of in situ concrete strength. Materials and structures, Vol.12 N° 71, September 1979.
- [3] AIPND – ASSOCIAZIONE ITALIANA PROVE NON DISTRUTTIVE Atti della Conferenza Nazionale sulle Prove non Distruttive Monitoraggio e Diagnostica. 9° Congresso Nazionale – Padova 25-26-27 Settembre 1997.
- [4] AIPND – ASSOCIAZIONE ITALIANA PROVE NON DISTRUTTIVE Prove non distruttive nel calcestruzzo armato. Bologna 9-10-11 Novembre 1998.
- [5] AIPND – ASSOCIAZIONE ITALIANA PROVE NON DISTRUTTIVE Atti del Corso – “Prove non distruttive nel calcestruzzo armato”. Laboratorio Dipartimento di Strutture Università degli studi della Calabria Arcavacata di Rende (CS) 2-3-4 Giugno 1999.
- [6] Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni - Promosso dal CIAS – Rovinj/Istria 28 Aprile - Maggio 1993.
- [7] GIOLJ F.GUIDI – Interventi di restauro, analisi e costi delle indagini diagnostiche. DEI Tipografia del Genio Civile (1999)
- [8] ADAM M. NEVILLE – Le proprietà del Calcestruzzo. Sansoni Editore, Firenze 1980.
- [9] KUMAR MEHTA P. –Concrete structure, properties and Materials. Prentice – Hall, Ing. Englewood Cliffs, New Jersey 1986.
- [10] A. DI LEO, G. PASCALE –La stima della resistenza in situ mediante metodi non distruttivi. INARCOS, Gennaio-Febbraio 1981.
- [11] UNI EN 12504-2 –Calcestruzzo indurito, Determinazione dell'indice sclerometrico.
- [12] UNI 9524 - Calcestruzzo indurito, Rilievi microsismici mediante impulsi d'onde vibrazionali ad alta frequenza, in campioni o strutture di calcestruzzo semplice, armato o precompresso.
- [13] A. DI LEO, G. PASCALE – Prove non distruttive sulle costruzioni in cemento armato. Giornale delle prove non distruttive monitoraggio e diagnostica. Aprile – 1994.