



ALL

1

Guardia di Finanza
REPARTO TECNICO LOGISTICO AMMINISTRATIVO CALABRIA

Ufficio Logistico – Sezione Infrastrutture

Piazza del Rosario, 11 – 88100 Catanzaro – Tel. 0961942012 - PEC: cz0520000p@pec.gdf.it

CAPITOLATO TECNICO PER

INDAGINE CONOSCITIVA SULLE STRUTTURE

(Prove geotecniche e prove sui calcestruzzi e sulle murature)

**E PER LA VERIFICA DELLE CAPACITA' PRESTAZIONALI DELLE STRUTTURE
E PREDISPOSIZIONE DELLE SCHEDE DI SINTESI DI LIVELLO "0", "1" e "2"**

**- edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a
seguito di evento sismico (Ordinanza n° 3274/2003 - articolo 2, comma 3).**

**Guardia di Finanza di Reggio Calabria: Caserma demaniale "S. Caravelli"
edifici: palazzina centrale, sede del Comando Provinciale e palazzina Est**

Premesse

Il Decreto Ministeriale 14/01/08 recante "approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" e la relativa Circolare n. 617 del 02/02/2009, al quale occorre riferirsi per il progetto del piano delle indagini conoscitive e delle prove strutturali occorrenti per caratterizzare la qualità dei materiali e definire la capacità prestazionale di un edificio, definisce tre livelli di conoscenza (LC) a cui sono correlati altrettanti Fattori di confidenza (FC) da utilizzarsi nelle analisi sismiche e nelle relative verifiche strutturali sia con riferimento agli stati limite ultimi e sia negli stati limite di esercizio.

Sulla base delle indagini effettuate nelle fasi conoscitive si definiscono i summenzionati parametri LC1, LC2 ed LC3, a cui corrispondono "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nelle analisi e verifiche strutturali (geometria, dettagli costruttivi e materiali) via via più approfonditi. A tali livelli sono correlati "Fattori di confidenza" che assumono, rispettivamente, valori di 1,35, 1,20 ed 1,00, e che costituiscono fattori di riduzione delle resistenze meccaniche dei materiali in sito, e pertanto tengono conto delle carenze nella conoscenza di parametri del modello strutturale.

Le indagini conoscitive, oltre che nell'esecuzione di prove sui materiali in sito, consisteranno innanzitutto nel rilievo dell'organismo resistente della costruzione, *"tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi"* - punto 8.5.2.

Inoltre il citato DM. 14.01.2008, e relativa circolare esplicativa, chiarisce:

- Punto 8.5.2 *".....Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno."*

Punto 8.5.3 *"Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà su documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche; nel caso di beni culturali e nel recupero di centri storici, dovrà esserne considerato l'impatto in termini di conservazione del bene. I valori delle resistenze meccaniche dei materiali vengono valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e prescindono dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni"*.

Alla luce di tali prescrizioni ed indicazioni, accertato l'anno di realizzazione del progetto esecutivo e della costruzione dell'edificio, risulta di fondamentale importanza, oltre che acquisire la documentazione tecnica disponibile, ricostruire, attraverso opportuni rilievi ed indagini, la sequenza di esecuzione dell'edificio (sia in elevazione che in termini di corpi di fabbrica), nonché considerare le caratteristiche geometriche della struttura allo scopo di individuare elementi o parti che, per criterio di progetto o per condizioni di simmetria, siano stati similmente dimensionati (e armati nel caso di strutture in cemento armato).

Per le strutture in muratura, occorrerà eseguire una serie di saggi e/o di indagini strumentali finalizzate alla conoscenza della tipologia muraria, della sua tessitura sui

paramenti esterni ed in senso trasversale, dei dettagli di ammortamento utilizzati nei cantonali e negli incroci tra muri portanti, della qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti, dell'esistenza di architravi efficienti e di elementi atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti. Viene inoltre rilevato e rappresentato l'eventuale, - si veda il punto 8.5.2 succitato - quadro fessurativo.

In particolare, per le strutture in cemento armato, la Circolare n. 617 prevede che, indipendentemente dal livello di conoscenza che si vuole raggiungere, si possano effettuare prove sui materiali mediante verifiche limitate, estese o esaustive.

Se la progettazione del piano delle prove viene preceduto dalle analisi preliminari sopra descritte, è possibile effettuare la valutazione della sicurezza globale basandosi su verifiche limitate (1 provino di cls per 300 mq di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio). In taluni casi (ad esempio nel caso di strutture con elevato numero di piani oppure nel caso di strutture giuntate costituite da corpi di fabbrica realizzati in tempi diversi), è possibile:

- a) ridurre ulteriormente il numero di carote di calcestruzzo sfruttando quanto suggerito dalla Circolare n. 617 per cui "Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive";
- b) valutare la possibilità di ridurre il numero dei prelievi di campioni di armatura, in considerazione della delicatezza e della laboriosità dell'estrazione e del successivo ripristino; ciò è tipicamente possibile quando è nota con buona approssimazione l'epoca di costruzione e quindi la relativa classe dell'acciaio utilizzato come barre di armatura.

Per le strutture in muratura, come si evince dalla Tabella C8A.1.1 della Circolare n. 617, nel caso in cui si voglia raggiungere un livello di conoscenza LC2, è possibile limitare al minimo le prove distruttive e debolmente distruttive, una volta che si è identificata con accettabile certezza il tipo di muratura in esame, in modo da poter effettuare l'analisi e le verifiche utilizzando i valori medi di resistenza e modulo elastico relativo alla corrispondente muratura in Tabella C8A.2.1. Se, a valle di preliminari saggi visivi, la muratura presenta una tessitura molto irregolare, è necessario valutare la possibilità di realizzare idonee superfici di taglio, nel caso di esecuzione di martinetti piatti. Se il progettista ritiene che tali condizioni sussistano, l'esecuzione delle prove va comunque subordinata alla selezione del livello di conoscenza che si mira ad ottenere. Il livello di conoscenza LC3, secondo quanto previsto dalla Circolare n.617, richiede l'esecuzione di prove distruttive molto onerose (es., compressione diagonale) e quindi non viene tipicamente posto come obiettivo nella progettazione di interventi su ordinarie strutture in muratura. In generale, ai fini del raggiungimento di tale livello di conoscenza, si potrà operare utilizzando le informazioni desunte da prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa area geografica, qualora esista una chiara e comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, tenendo conto delle specificità costruttive del territorio in cui si sta operando e dell'esistenza di zone omogenee

a cui riferirsi. Ciò è particolarmente realizzabile nel caso di interventi post-sisma in cui è possibile sfruttare i dati raccolti mediante prove distruttive (quali, ad esempio, compressione semplice, compressione diagonale, taglio-compressione) su tipologie di muratura omogenee presenti nell'intera area colpita dal terremoto.

Criteri generali

L'esecuzione delle prove distruttive induce sugli elementi indagati un danneggiamento e, quindi, necessita di cautela e di personale specializzato sia per la loro realizzazione sia per il conseguente ripristino strutturale. Occorre poi una particolare attenzione e cura nella pianificazione e interpretazione dei risultati, per ottimizzare il numero di prove necessarie in relazione al livello di conoscenza da conseguire. Le prove distruttive rappresentano il modo più diretto con cui determinare la resistenza dei materiali e, pertanto, si ritiene che esse garantiscano la certezza dei risultati. Tale assunzione, però, appare fuorviante quando nella fase di prelievo non si adottano le giuste cautele.

Le prove non distruttive determinano la resistenza per via indiretta, attraverso la misura di parametri ad essa correlata, senza arrecare sostanziali disturbi ai materiali e alla struttura. Essendo un metodo indiretto, quindi, è però importante calibrare i risultati su un adeguato numero di indagini distruttive.

Si evidenzia, comunque, che sia le prove distruttive che quelle non distruttive comportano un inevitabile disturbo negli ambienti in cui si svolgono le indagini, per la necessità di rimuovere le finiture quali l'intonaco e/o i rivestimenti nelle zone oggetto di indagine.

PARTE I

Si tratta di un complesso edilizio costituito da quattro fabbricati, e relativi servizi, realizzati in epoche diverse.

Costituiscono oggetto delle indagini conoscitive sulle strutture per la definizione dei modelli strutturali sui quali dovranno essere effettuate le analisi sismiche sui seguenti due fabbricati:

- 1) Edificio con struttura portante in muratura, sede del Comando Provinciale della Guardia di Finanza di Reggio Calabria, il cui anno di costruzione risale al 1928;
- 2) Edificio Est, con struttura portante in cemento armato, il cui anno di costruzione risale al 1985.

L'immobile è stato costruito su un appezzamento di terreno di forma trapezoidale di circa 950 mq.

Requisiti prestazionali

a) CLASSE D'USO: Si richiede la classe d'uso IV - "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti" : $C_u = 2,0$

Vita nominale: $V_n \geq 50$;

Periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_r = V_n * C_u = 100$;

E.1 - Azione Sismica - dovrà essere valutata in conformità ai paragrafi 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4 e 3.2.5 delle Norme tecniche.

b) Azione sismica di progetto: dovrà essere valutata in conformità "all'allegato A alle norme tecniche per le costruzioni: pericolosità sismica".

c) Pericolosità sismica:

Le valutazioni della "Pericolosità sismica di base" debbono derivare da studi condotti a livello nazionale e compendiate in un apposita relazione.

Le coordinate geografiche sono quelle relative al sito di Reggio Calabria.

Azioni sulle costruzioni - le azioni sulla costruzione di che trattasi dovranno essere definite ai sensi del paragrafo 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3 e 2.5.4 delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al citato D.M. 15.01.2008;

Per i pesi propri dei materiali strutturali, per i carichi permanenti non strutturali e per i carichi variabili, dovrà farsi riferimento ai paragrafi 3.1.2, 3.1.3 e 3.1.4 delle stesse norme tecniche.

Trattandosi di immobili adibiti ad attività istituzionali della Guardia di Finanza, debbono prendersi in considerazione i seguenti valori dei carichi di esercizio, di tipo variabile:

Sovraccarichi accidentali

- Uffici: piano tipo3,50 kN/mq;
- Archivi di piano6,00 kN/mq;
- Solaio di copertura all'ultimo piano.....3,00 kN/mq;
- Circoli, mense, aule, palestre.....5,00 kN/mq;
- Locali tecnici sulla copertura degli edifici..... 5,00 kN/mq.

Avvertenze generali

Prove e sondaggi richiesti nella fase della campagna conoscitiva di cui di cui all'Art. 1 punto A. (indagini minimali)

a) Per le strutture in muratura: indagini endoscopiche e prove con martinetti piatti doppi. Su ogni edificio dovranno essere effettuate n. 2 prove endoscopiche e n. 1 prova con martinetti piatti doppi (minimali)

b) Per le strutture in cemento armato: su ogni edificio dovranno essere effettuate prove sclerometriche, in ragione di 5 prove per piano di edificio:(ogni prova sclerometrica è composta da 5 battute) e saggi con carotatrice, prelevando una carota su un pilastro per ogni piano dell'edificio.

1) Edificio sede del Comando Provinciale della Guardia di Finanza di Reggio Calabria

Si tratta di un edificio in muratura la cui epoca di costruzione risale al 1928, e pertanto soggetto al vincolo storico-architettonico ai sensi della legge n. 1089 del 1939.

Tenendo presenti i contenuti tecnici indicati nelle premesse, le indagini conoscitive saranno tali da limitare al minimo le prove distruttive e debolmente distruttive, una volta che si sia identificata con accettabile certezza il tipo di muratura in esame, in modo da poter effettuare l'analisi e le verifiche utilizzando i valori medi di resistenza e modulo elastico relativo alla corrispondente muratura in Tabella C8A.2.1.

Il Livello di conoscenza richiesto è del tipo "LC2", a cui corrisponde un fattore di confidenza di 1,20, e pertanto si ritiene sufficiente eseguire le seguenti indagini diagnostiche:

A) Indagini conoscitive di tipo strutturale

- n° 1 rilievo strutturale;
- n° 1 prova con martinetti piatti singoli;
- n° 3 prove con martinetti piatti doppi;
- n° 6 indagini endoscopiche sui paramenti murari e in fondazione;
- n° 2 saggi in fondazione: si eseguono scavi con mezzi meccanici e messa a nudo della fondazione e messa a nudo della stessa e della larghezza dei giunti tecnici in corrispondenza dei quali si effettuerà il saggio.

Indagini geognostiche

le indagini geognostiche comprendono:

- n° 1 sondaggio a carotaggio continuo, fino alla profondità di 15 m, comprensivo di rapporto stratigrafico;
- n° 1 indagine sismica a rifrazione con il Metodo MASW a 24 canali con distanza intergeofonica variabile tra 1 e 5 m, compresa l'elaborazione del dato per l'estrapolazione delle VS30.

Le prove sui materiali per le verifiche tecniche dovranno essere effettuate da laboratori in possesso della concessione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001.

B) Analisi numeriche sismiche per la verifica delle capacità prestazionali dell'edificio e predisposizione delle Schede di sintesi di livello "0", "1" e "2" per gli edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico (Ordinanza n° 3274/2003 - articolo 2, comma 3).

Le analisi numeriche e sismiche per la verifica delle capacità prestazionali dell'edificio hanno lo scopo di:

- stabilire se la struttura esistente è in grado o meno di resistere alle combinazioni delle azioni di progetto richieste dalla NTC, come aggiornata dal D.M. del 14 gennaio 2008, ovvero:

- di determinare l'entità massima delle azioni, considerate nelle combinazioni di progetto previste, che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti dalle norme, definiti dai coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni e sui materiali.

Per le verifiche si farà riferimento agli stati limite di cui al D.M. 14.01.2008 e Circolare LL.PP. del 02 Febbraio 2009, n° 617.

Ai fini della determinazione della classe d'uso riportata al par. 2.4.2. del citato D.M. 14.01.2008, l'edificio, così come specificato al paragrafo a) del presente capitolo rientra in classe d'uso IV, e pertanto è da assumersi un V_n pari a 100.

Le verifiche dovranno essere eseguite rispetto agli Stati limite ultimi, SLV e SLC.

Le risultanze della fase attuativa delle verifiche di vulnerabilità sismica devono essere compendiate in un'apposita relazione contenente indicazioni sui seguenti parametri:

- Le caratteristiche strutturali tipologiche dell'edificio, con indicazione delle modifiche più significative apportate nel tempo;
- La procedura di calcolo utilizzata per la modellazione dei corpi strutturali;
- l'elenco delle prove distruttive e non distruttive effettuate con i risultati e il nome del laboratorio incaricato;
- le tavole contenenti la localizzazione delle prove inserite nell'elenco;
- l'interpretazione dei risultati ottenuti con la descrizione del comportamento della struttura in presenza dell'azione sismica di riferimento ed individuazione degli elementi più vulnerabili;
- gli indicatori del rischio di collasso (α_u) e del rischio di inagibilità (α_e) così come definiti nell'allegato 2, lett. b) dell'O.P.C.M. 3362/04 e s.m.i.;
- la scheda di sintesi della verifica sismica di livello "0", "1" e "2" per gli edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico (Ordinanza n° 3274/2003 - articolo 2, comma 3).
- Indicazione qualitativa degli interventi strutturali di miglioramento/adeguamento sismico eventualmente necessari e stima dei costi.

La scheda di sintesi dovrà essere redatta in conformità a quanto disposto dalla Circolare del Dipartimento della Protezione Civile 21/04/2010, su supporto cartaceo e su supporto informatico, utilizzando a tal fine il software di caricamento import ed export dei dati che consente di archiviare più schede in un'unica base dati, all'uopo predisposto dal Dipartimento della Protezione Civile e scaricabile dal sito dello stesso Dipartimento della Protezione Civile, nella cartella livello "0".

In caso di esito negativo delle verifiche di sicurezza, il professionista incaricato dovrà comunque redigere alcune dettagliate e motivate ipotesi di intervento per migliorare la resistenza dell'edificio, anche con l'ausilio di schemi grafici contenenti indicazioni dimensionali di massima.

In caso di esito negativo delle verifiche di sicurezza, il professionista incaricato dovrà altresì indicare previsioni di massima degli interventi di consolidamento eventualmente necessari tramite un paragrafo illustrativo che motivi le soluzioni tecniche proposte (par.

8.7.4 del D.M. 14.01.2008) e la loro fattibilità tecnico-economica e relative stime preliminari dei costi.

2) Edificio Est, con struttura portante in cemento armato, il cui anno di costruzione risale al 1985.

Si tratta di un edificio con struttura intelaiata in cemento armato, la cui epoca di costruzione risale al 1985.

Tenendo presenti i contenuti tecnici indicati nelle premesse con specifico riferimento alle indagini conoscitive su una struttura in cemento armato, fermo restando l'esecuzione delle prove geotecniche e dei saggi nel terreno, da effettuarsi similmente a quanto da predisporre per l'edificio "Comando", le indagini conoscitive saranno da effettuarsi sugli elementi strutturali: reticolo di fondazione; pilastri; travi e solai d'interpiano.

Il Livello di conoscenza richiesto è del tipo "LC2", a cui corrisponde un fattore di confidenza di 1,20, e pertanto si ritiene sufficiente eseguire le seguenti indagini diagnostiche:

A) Indagini conoscitive di tipo strutturale

- n° 1 rilievo strutturale;
- Misura e ricerca della posizione delle armature mediante pacometro previsione su 100 mq;
- n° 4 saggi in fondazione: si eseguono scavi con mezzi meccanici e messa a nudo della fondazione e messa a nudo della stessa e della larghezza dei giunti tecnici in corrispondenza dei quali si effettuerà il saggio;
- valutazione della resistenza a compressione R_{ck} del calcestruzzo delle strutture in c.a. a mezzo di prove di misura della durezza superficiale del getto mediante sclerometro manuale o elettronico al fine di fornire la resistenza caratteristica come media di almeno 10 letture;
- valutazione della resistenza caratteristica a compressione mediante prove di schiacciamento di carote normalizzate del diametro di mm 100 o mm 200, prelevate direttamente in sito a mezzo di carotatrice. Sono compresi: il prelievo della carota; l'esecuzione delle prove di schiacciamento; l'elaborazione dei risultati di prova per la determinazione del R_{ck} del materiale. Nel prezzo è compreso il ripristino dei fori di carotaggio, provvedendo alla chiusura del foro con l'impiego di malte molto fluide, a ritiro compensato;
- prelievo di barre d'armatura da elementi in c.a. compreso la prova di resistenza a trazione ed il ripristino. Il ripristino consiste nel ripristino della capacità resistente originaria dell'elemento strutturale verificando la saldabilità delle barre in opera, adottando l'opportuno tipo di elettrodo ed effettuando la saldatura tra il nuovo

spezzone e la barra esistente con cordoni d'angolo di adeguata lunghezza, in ogni caso non mediante saldatura di testa;

- Prova di carbonatazione. Test colorimetrico, eseguito utilizzando una soluzione di fenolftaleina al 1% di alcool etilico, per determinare la profondità di carbonatazione in campioni di calcestruzzo direttamente prelevati in sito, eseguito spruzzando con un nebulizzatore la soluzione di fenolftaleina sul campione. La determinazione della colorazione risultante, e quindi della profondità di carbonatazione nel getto, sarà effettuata allontanandosi opportunamente da fessure o zone molto porose, ove si avrebbero valori non significativi della superficie saggiata. È compreso quanto altro occorre per dare i risultati del test completi. Escluso il prelievo dei campioni, per ogni indagine effettuata su un singolo campione;
- Misura del potenziale di corrosione delle armature nelle strutture in c.a. Controllo, non distruttivo, della presenza di corrosione in atto nelle armature delle strutture in c.a. mediante misurazione del potenziale del ferro d'armatura con strumento galvanico avente un elettrodo applicato ad un ferro dell'armatura e l'altro elettrodo attrezzato per essere spostato lungo la superficie del getto di calcestruzzo. È compreso quanto altro occorre per dare i risultati della misurazione completi. Il prezzo è riferito all'unità di superficie dell'elemento strutturale, analizzata con l'elettrodo mobile.

Indagini geognostiche

le indagini geognostiche comprendono:

- n° 1 sondaggio a carotaggio continuo, fino alla profondità di 15 m, comprensivo di rapporto stratigrafico;
- n° 4 prove geotecniche in foro, SPT (Standard Penetration Test) a profondità variabile, compreso di trasporto attrezzatura di perforazione, l'installazione del cantiere, ecc.
- n° 1 indagine sismica a rifrazione con il Metodo MASW a 24 canali con distanza intergeofonica variabile tra 1 e 5 m, compresa l'elaborazione del dato per l'estrapolazione delle VS30.

Le prove sui materiali per le verifiche tecniche dovranno essere effettuate da laboratori in possesso della concessione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001.

B) Analisi numeriche sismiche per la verifica delle capacità prestazionali dell'edificio e predisposizione delle Schede di sintesi di livello "0", "1" e "2" per gli edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico (Ordinanza n° 3274/2003 - articolo 2, comma 3).

Le analisi numeriche e sismiche per la verifica delle capacità prestazionali dell'edificio hanno lo scopo di:

- stabilire se la struttura esistente è in grado o meno di resistere alle combinazioni delle azioni di progetto richieste dalla NTC, come aggiornata dal D.M. del 14 gennaio 2008, ovvero;
- di determinare l'entità massima delle azioni, considerate nelle combinazioni di progetto previste, che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti dalle norme, definiti dai coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni e sui materiali.

Per le verifiche si farà riferimento agli stati limite di cui al D.M. 14.01.2008 e Circolare LL.PP. del 02 Febbraio 2009, n° 617.

Ai fini della determinazione della classe d'uso riportata al par. 2.4.2. del citato D.M. 14.01.2008, l'edificio, così come specificato al paragrafo a) del presente capitolo rientra in classe d'uso IV, e pertanto è da assumersi un V_n pari a 100.

Le verifiche dovranno essere eseguite rispetto agli Stati limite ultimi, SLV e SLC.

Le risultanze della fase attuativa delle verifiche di vulnerabilità sismica devono essere compendiate in un'apposita relazione contenente indicazioni sui seguenti parametri:

- Le caratteristiche strutturali tipologiche dell'edificio, con indicazione delle modifiche più significative apportate nel tempo;
- La procedura di calcolo utilizzata per la modellazione dei corpi strutturali;
- l'elenco delle prove distruttive e non distruttive effettuate con i risultati e il nome del laboratorio incaricato;
- le tavole contenenti la localizzazione delle prove inserite nell'elenco;
- l'interpretazione dei risultati ottenuti con la descrizione del comportamento della struttura in presenza dell'azione sismica di riferimento ed individuazione degli elementi più vulnerabili;
- gli indicatori del rischio di collasso (α_u) e del rischio di inagibilità (α_e) così come definiti nell'allegato 2, lett. b) dell'O.P.C.M. 3362/04 e s.m.i.;
- la scheda di sintesi della verifica sismica di livello "0", "1" e "2" per gli edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico (Ordinanza n° 3274/2003 - articolo 2, comma 3).
- Indicazione qualitativa degli interventi strutturali di miglioramento/adeguamento sismico eventualmente necessari e stima dei costi.

La scheda di sintesi dovrà essere redatta in conformità a quanto disposto dalla Circolare del Dipartimento della Protezione Civile 21/04/2010, su supporto cartaceo e su supporto informatico, utilizzando a tal fine il software di caricamento import ed export dei dati che consente di archiviare più schede in un'unica base dati, all'uopo predisposto dal Dipartimento della Protezione Civile e scaricabile dal sito dello stesso Dipartimento della Protezione Civile, nella cartella livello "0".

In caso di esito negativo delle verifiche di sicurezza, il professionista incaricato dovrà comunque redigere alcune dettagliate e motivate ipotesi di intervento per migliorare la

resistenza dell'edificio, anche con l'ausilio di schemi grafici contenenti indicazioni dimensionali di massima.

In caso di esito negativo delle verifiche di sicurezza, il professionista incaricato dovrà altresì indicare previsioni di massima degli interventi di consolidamento eventualmente necessari tramite un paragrafo illustrativo che motivi le soluzioni tecniche proposte (par. 8.7.4 del D.M. 14.01.2008) e la loro fattibilità tecnico-economica e relative stime preliminari dei costi.

PARTE II

Elenco interventi

1) Prova di carbonatazione. Test colorimetrico, eseguito utilizzando una soluzione di fenolftaleina all'1% di alcool etilico, per determinare la profondità di carbonatazione in campioni di calcestruzzo direttamente prelevati in sito, eseguito spruzzando con un nebulizzatore la soluzione di fenolftaleina sul campione. La determinazione della colorazione risultante, e quindi della profondità di carbonatazione nel getto, sarà effettuata allontanandosi opportunamente da fessure o zone molto porose, ove si avrebbero valori non significativi della superficie saggiata. È compreso quanto altro occorre per dare i risultati del test completi. Escluso il prelievo dei campioni, per ogni indagine effettuata su un singolo campione.

2) Microcarotaggi.

Valutazione della resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo mediante prove a schiacciamento di carote del diametro mm 28 prelevate direttamente in sito a mezzo microcarotatrice opportuna. Sono compresi: il prelievo della carota; la prova di schiacciamento; l'elaborazione dei risultati di prova per la determinazione del Rck del materiale. È compreso quanto altro occorre per dare i risultati delle prove completi.

3) Carotaggi.

Valutazione della resistenza caratteristica a compressione del cls mediante prove di schiacciamento di carote normalizzate del diametro di mm 100 o di mm 200, prelevate direttamente in sito a mezzo opportuna carotatrice. Sono compresi: il prelievo della carota; le prove di schiacciamento; l'elaborazione dei risultati di prova per la determinazione del Rck del materiale. È compreso quanto altro occorre per dare i risultati delle prove completi.

4) Misura e ricerca della posizione delle armature mediante pacometro.

Misurazione a mezzo pachometro transistorizzato a riluttanza magnetica per la rilevazione, nelle strutture in c.a., dei ferri d'armatura, del loro diametro e dello spessore del copriferro, per ferri d'armatura aventi diametro compreso tra mm 10 e mm 40 e per

spessori del getto di ricoprimento delle armature non superiore a mm 100. È compreso quanto altro occorre per dare i risultati della misurazione completi.

5) Misura del potenziale di corrosione delle armature nelle strutture in c.a.

Controllo, non distruttivo, della presenza di corrosione in atto nelle armature delle strutture in c.a. mediante misurazione del potenziale del ferro d'armatura con strumento galvanico avente un elettrodo applicato ad un ferro dell'armatura e l'altro elettrodo attrezzato per essere spostato lungo la superficie del getto di calcestruzzo. È compreso quanto altro occorre per dare i risultati della misurazione completi.

6) Prelievo di barre di armatura da c.a. per esecuzione di prove di laboratorio. Prelievo di barre di armatura da c.a. per esecuzione di prove di laboratorio. Il prelievo viene eseguito previa demolizione del copriferro. Sono compresi: il taglio e la preparazione della barra; la prova di trazione; la prova di piegamento. È compreso quanto altro occorre per dare i risultati delle prove completi. Sono esclusi: la sostituzione della porzione di barra prelevata; il ripristino del copriferro.

7) valutazione della resistenza a compressione R_{ck} del calcestruzzo delle strutture in c.a. a mezzo di prove di misura della durezza superficiale del getto mediante sclerometro manuale o elettronico al fine di fornire la resistenza caratteristica come media di almeno 10 letture (o battute).

8) Saggi in fondazione: si eseguono scavi con mezzi meccanici e messa a nudo della fondazione e messa a nudo della stessa e della larghezza dei giunti tecnici in corrispondenza del quale si effettuerà il saggio.

9) Indagini endoscopiche. Esecuzione di indagini endoscopiche su murature di qualsivoglia natura e su strutture in calcestruzzo attraverso fori di diametro ridotto (al massimo 20 mm) appositamente eseguiti o in lesioni e/o in cavità esistenti. Qualora non esistono lesioni o cavità la prova deve essere espletata praticando dei piccoli fori da eseguire con trapani a rotazione a basso numero di giri (per non indurre vibrazioni eccessive al paramento in esame). Nelle suddette lesioni, e/o cavità o fori si introduce un endoscopio, costituito nelle sue parti essenziali di un'asta con fibra ottica e di una guida luce per l'illuminazione della parte presa in esame. Alla parte terminale può essere applicata sia una macchina fotografica reflex, sia una telecamera, per la documentazione dell'indagine.

Devono essere rilevate le seguenti informazioni:

- individuazione di cavità e vuoti eventualmente presenti;
- morfologia e tipologia del paramento murario all'interno;
- stato visibile di conservazione dei materiali;

- presenza di eventuali anomalie localizzate nella tessitura muraria o nel getto di calcestruzzo. La prova deve essere documentata con idonea documentazione anche fotografica (ovvero con la stampa di alcuni fotogrammi se la ripresa è stata effettuata con una telecamera). È compreso quanto altro occorre per dare i risultati dell'indagine completi.

L'intervento è riferito ad una singola indagine endoscopica in unico foro, con rilascio di n. 2 foto, compresa l'esecuzione eventuale del foro di ispezione se necessario.

- 10) Martinetto piatto per murature. Esecuzione di prove da eseguire con martinetto piatto, finalizzate alla valutazione dei carichi effettivamente gravanti sul paramento murario preso in esame ed alla stima del modulo elastico del materiale, effettuando le misure nelle reali condizioni di normale esercizio del manufatto. La prova dovrà essere condotta procedendo all'asportazione di un giunto di malta con opportuna sega, effettuando un taglio perfettamente orizzontale, installando uno o più estensimetri di precisione in corrispondenza del taglio, per rilevare l'entità dei cedimenti verificatisi nella prima fase di assestamento, rispetto alla situazione rilevata con due punti fissi (basi di misura) rilevati prima dell'asportazione del giunto di malta, ed inserendo poi un martinetto sottile (piatto) nel taglio operato, onde ripristinare oleodinamicamente la situazione iniziale, annullando le deformazioni ed i cedimenti misurati. Se si realizza un secondo taglio parallelo al precedente e si inserisce un secondo martinetto piatto, la prova diviene del tipo "martinetto doppio", dalla quale è possibile effettuare la stima del modulo elastico del paramento murario. È compreso quanto altro occorre per dare i risultati delle prove completi.

Martinetto piatto doppio.

Martinetto piatto singolo.

- 11) Prove di classificazione della malta secondo D.M. 20/11/87.

Prove di classificazione della malta. Le prove devono essere eseguite secondo il D.M. 20/11/87 e succ. mod. compreso quanto occorre per dare la prova completa.

- 12) Rilievo geometrico-strutturale per carpenteria di piano.

- 13) Unità compresa da:

n° 1 sondaggio a carotaggio continuo, fino alla profondità di 15 m, comprensivo di rapporto stratigrafico;

n° 1 indagine sismica a rifrazione con il Metodo MASW a 24 canali con distanza intergeofonica variabile tra 1 e 5 m, compresa l'elaborazione del dato per l'estrapolazione delle VS30.

14) Unità compresa da:

n° 1 sondaggio a carotaggio continuo, fino alla profondità di 15 m, comprensivo di rapporto stratigrafico:

n° 4 prove geotecniche in foro, SPT (Standard Penetration Test) a profondità variabile, compreso di trasporto attrezzatura di perforazione, l'installazione del cantiere, ecc.

n° 1 indagine sismica a rifrazione con il Metodo MASW a 24 canali con distanza intergeofonica variabile tra 1 e 5 m, compresa l'elaborazione del dato per l'estrapolazione delle VS30.

PARTE III

Modalità di esecuzione delle prove

Tratte dalla ReLuis - "Linee guida per modalità d'indagine sulle strutture e sui terreni....."

1.0 Indagini non distruttive

Nell'ambito delle indagini non distruttive si annoverano le seguenti tipologie di prova più comunemente utilizzate: a) pacometriche; b) sclerometriche; c) soniche o ultrasoniche; d) scansioni mediante georadar; e) prove di carico che impegnano le strutture e i relativi materiali in campo elastico. Rientrano nella categoria delle indagini non distruttive anche le prove tomografiche, le prove di caratterizzazione dinamica e le prove termografiche; la discussione dettagliata di tali prove esula dagli scopi del presente documento.

Ciascuna delle indagini sopra elencate va utilizzata in funzione dell'informazione cercata ed è caratterizzata da limiti tecnologici di applicazione che devono essere ben noti a chi interpreta i risultati, per evitare di giungere a risultati e conclusioni errate. Una corretta modalità di indagine, spesso, prevede l'impiego di più tecniche contemporaneamente così da sopperire "reciprocamente" ai limiti che ciascuna possiede.

La finalità principale delle indagini sulle costruzioni esistenti in cemento armato è la conoscenza delle dimensioni geometriche degli elementi resistenti, il diametro e la disposizione delle armature e le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e delle armature in acciaio. Se la posizione degli elementi strutturali e le dimensioni delle loro sezioni in calcestruzzo sono facilmente misurabili, non può dirsi altrettanto per quanto attiene disposizione e diametro delle barre di armatura contenute negli elementi, per la cui determinazione si dovranno adottare le tecniche più opportune quali, ad esempio, le prove pacometriche, georadar e saggi diretti.

1.1 Prove pacometriche

Consistono nella misura del campo magnetico determinato dalla presenza di armature di acciaio in vicinanza della superficie del calcestruzzo degli elementi strutturali (travi, pilastri,

pareti). Tali prove consentono di "leggere", in proiezione sulla superficie di calcestruzzo, la posizione delle armature, così da consentire una stima della misura dell'interferro e del copriferro delle armature longitudinali, presenti nel piano parallelo al piano d'indagine, e del passo delle staffe.

Esecuzione

L'utilizzo del pacometro, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dalla norma BS 1881:204. Su ogni faccia delle superfici di calcestruzzo è individuabile la posizione delle barre di armatura. Ripetendo l'operazione su più sezioni dell'elemento, e disegnando sulla superficie dello stesso, mediante una matita o altro, una retta che passi per i punti individuati, sarà possibile tracciare il reticolo delle armature presenti in vicinanza della superficie indagata.

Avvertenze/Raccomandazioni

La prova pacometrica consente anche di individuare le zone dell'elemento prive di armatura nelle quali eseguire le indagini finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche del calcestruzzo, quali, ad esempio, il prelievo di carote, le prove sclerometriche e quelle ultrasoniche. Ne consegue che l'indagine pacometrica deve essere preliminare a qualsiasi altro tipo di indagine, distruttiva e non condotta su elementi in cemento armato.

In funzione del tipo di strumento, noto il copriferro, è anche determinabile il diametro delle barre di armatura. Si sottolinea che gli abachi standardizzati a corredo di alcuni pacometri, indicanti il diametro delle armature in funzione del copriferro (trasversale al piano su cui si sta lavorando), devono esser utilizzati con molta cautela, a causa dell'elevata incertezza sulla conoscenza del reale spessore del copriferro presente in corrispondenza di ciascuna barra posta in opera. È auspicabile che tale operazione venga eseguita abbinando dei saggi sul calcestruzzo atti ad accertare il reale valore del copriferro. Si ricorda che tali indagini dovranno essere eseguite previa rimozione dell'intonaco, salvo quando l'indagine pacometrica abbia solo la finalità di individuare la posizione delle armature.

1.2 Prove sclerometriche

Sono finalizzate alla determinazione della resistenza del calcestruzzo tramite misura della durezza superficiale, mediante valutazione del rimbalzo di una sfera metallica contenuta in apposito cilindro cavo. Sono le prove più comunemente utilizzate, sebbene i valori che restituiscono, se non abbinati alle prove ultrasoniche (metodo SonReb), risultano, spesso, essere poco significativi. Come indicato dalle norme UNI, l'indice di rimbalzo deve essere valutato come la media sul numero di battute eseguite nella stessa area di misura (è sbagliato ripeterle sullo stesso identico punto fisico) la cui superficie sia stata opportunamente preparata (non abbia asperità). Le aree su cui si eseguono le battute sclerometriche devono risultare interne alle zone di solo calcestruzzo circoscritte dal reticolo delle armature individuate mediante misure pacometriche. Si dovrà evitare di

eeguire misurazioni in corrispondenza di calcestruzzo distaccato o palesemente deteriorato. La valutazione della resistenza di porzioni di calcestruzzo deteriorato è ottenibile, quando possibile, solo mediante prelievo e successiva prova di compressione dei campioni.

Esecuzione

L'utilizzo dello sclerometro, come strumento di prova non distruttivo, è regolato dalla norma UNI EN 12504 -2 [UNI 2001]. Su ogni faccia delle superfici di calcestruzzo indagate vanno eseguite almeno n°9 misurazioni (o battute) non sovrapposte (generalmente se ne eseguono 10) e distanti non meno di 25 mm tra loro o dal bordo di eventuali difetti superficiali presenti e da ferri d'armatura, preventivamente localizzati. Il risultato della prova è fornito in termini di indice di rimbalzo medio I_r ed è riportato per ogni punto di indagine. Se, per ciascun punto, oltre il 20% di tutte le misure si discosta dalla media per più di 6 unità, deve essere scartata l'intera serie di misure.

Avvertenze/Raccomandazioni

L'indice di rimbalzo dovrà essere valutato eseguendo la misura con lo sclerometro in posizione orizzontale. Qualora ciò non sia possibile, al fine di determinare l'equivalente indice di rimbalzo misurato in orizzontale, si deve far ricorso alle curve di ragguaglio indicate dalla casa costruttrice dello strumento. Va peraltro sottolineato come tale operazione riduca ulteriormente l'attendibilità dei risultati dell'indagine. Si evidenzia, inoltre, che in presenza di calcestruzzi molto carbonatati la durezza superficiale può risultare più alta di quella comunemente misurata e, pertanto, è opportuno ridurre il valore di riferimento medio dell'indice di rimbalzo I_r , tramite un opportuno coefficiente. Un'indicazione dei valori entro cui è compreso il coefficiente può essere: 0.95 (per profondità di carbonatazione comprese tra i 50 e 60mm) - 0.90 (per profondità maggiori o uguali ai 60 mm), salvo casi particolari in cui l'indice di rimbalzo perde addirittura di significatività.

Si ricorda, infine, che la funzionalità dello sclerometro va periodicamente verificata e calibrata (quando lo strumento non consente la calibrazione e risulta starato va sostituito) eseguendo le misure su un'apposita massa detta incudine di taratura o massa di riscontro. Preliminarmente a qualsiasi lettura, è opportuno azionare almeno tre volte lo strumento per accertarne il corretto funzionamento.

2. 0 Indagini distruttive

2.1 Prove di compressione su carote di calcestruzzo

Nella prova di compressione dei campioni cilindrici, affinché il valore misurato non sia influenzato dall'effetto di confinamento delle piastre di carico della pressa, si preferisce realizzare provini con un rapporto tra altezza e diametro della base pari a due. I valori di

resistenza a compressione così ottenuti (f_c) possono poi essere ricondotti ai valori di resistenza dei campioni cubici (R_c) dividendo per un coefficiente pari a 0,83. Laddove tali prove di compressione vengono eseguite su carote prelevate da elementi in calcestruzzo di strutture esistenti, si tende invece a sottoporre a prova campioni cilindrici con rapporto unitario tra altezza e diametro in modo da ottenere direttamente la resistenza cubica (R_c). In tal senso, dopo aver prelevato una carota con rapporto tra altezza e diametro della base almeno pari a due, è possibile effettuare su di essa un taglio in modo da ottenerne due carote con rapporto tra altezza e diametro pari ad uno. Sottoponendo poi a prova due campioni per ciascun prelievo si può così ottenere un valore medio per ogni punto indagato che consente di ridurre le incertezze inerenti le fasi di prova e di preparazione dei campioni.

Esecuzione

L'esecuzione dei carotaggi è regolata dalla norma UNI 12504-1 [UNI 2009]. La prova di compressione, invece, è regolata dalla norma UNI EN 12390 nelle parti da 1 a 4. Individuato il reticolo delle armature mediante il pacometro, il prelievo dovrà avvenire nei campi privi di armatura. Nel caso in cui le prove distruttive sono integrate con prove non distruttive tipo SONREB, queste ultime in numero superiore al fine di ottenere un quadro più ampio dello stato del calcestruzzo della struttura, sarà opportuno eseguire i carotaggi in corrispondenza dei punti in cui sono state eseguite alcune delle prove sclerometriche ed ultrasoniche, al fine di ricavare le corrette correlazioni con i risultati delle indagini non distruttive. Le operazioni di prelievo devono scongiurare l'inclusione di armature metalliche nelle carote per evitare:

- la significativa riduzione della capacità resistente dell'elemento strutturale su cui si effettua il prelievo;
- l'aggravio del disturbo al campione nelle fasi di prelievo determinato dall'incremento delle vibrazioni;
- l'alterazione dei valori della prova di compressione per la presenza della barra d'armatura.

Quando la maglia delle armature è tale da non consentire il prelievo di carote prive di inclusioni è preferibile prelevare carote con diametro minore. In ogni caso, qualora una o più barre d'armatura vengano tranciate, è necessario procedere al ripristino. Nel corso delle operazioni di prelievo delle carote è opportuno misurare anche la profondità di carbonatazione del calcestruzzo, così da valutare il potenziale grado di protezione alla corrosione delle barre di armatura. La misura della profondità di carbonatazione è regolata dalla norma UNI 9944. Essa avviene osservando il viraggio della fenoftaleina, che, in ambiente basico, ovvero in assenza di carbonatazione, si colora di rosso – violetto. Pertanto, spruzzando sulla superficie cilindrica del campione, immediatamente dopo l'estrazione, una soluzione di fenoftaleina all'1% in alcol etilico, è osservabile il

calcestruzzo carbonatato come quella parte che non mostra una colorazione rosso-violetto. La profondità di carbonatazione andrà misurata con la precisione del millimetro.

Avvertenze/Raccomandazioni

È di fondamentale importanza verificare, nel corso dei prelievi, che la macchina carotatrice non abbia significative vibrazioni dell'asse di rotazione e che la velocità di avanzamento sia bassa, onde evitare un eccessivo danneggiamento del campione. Pertanto occorre adottare gli accorgimenti necessari ad evitare la vibrazione del sistema di carotaggio (carotatrice e relativo supporto) e inoltre la velocità di avanzamento per il prelievo di campioni dovrà essere ben minore di quella abitualmente adottata per la realizzazione di fori nel calcestruzzo, preferibilmente inferiore a 600 giri/min.

Il diametro delle carote, come indicato dalle norme UNI, deve essere almeno pari a tre volte il diametro massimo dell'aggregato presente nel calcestruzzo. Il diametro più comunemente utilizzato nei prelievi è di circa 100 mm e, di conseguenza, l'altezza della carotaprelevata deve essere di circa 280 mm, affinché possa ottenersi un campione lungo 200 mm o, meglio, due campioni con rapporto altezza/diametro unitario.

Le norme, e la letteratura del settore, evidenziano come la resistenza in situ, determinata mediante la compressione di carote prelevate dalla struttura, sia in generale minore di quella ricavata dalla prova di compressione di campioni maturati in condizioni di laboratorio. Tale difformità è legata a differenti motivazioni che possono essere suddivise in due grandi categorie: l'una relativa alle condizioni di posa in opera e di maturazione, l'altra ai disturbi arrecati ai campioni mediante il prelievo. Per quanto attiene il primo aspetto, così come indicato dalle NTC 2008, che si riporta integralmente, "Il valor medio della resistenza del calcestruzzo in opera (definita come resistenza strutturale) è in genere inferiore al valor medio della resistenza dei prelievi in fase di getto maturati in condizioni di laboratorio (definita come resistenza potenziale)". Per tali motivi, sempre le NTC2008 citano che "È accettabile un valore medio della resistenza strutturale, misurata con tecniche opportune (distruttive e non distruttive) e debitamente trasformata in resistenza cilindrica o cubica, non inferiore all'85% del valore medio definito in fase di progetto."

Per quanto attiene il secondo aspetto, come facilmente comprensibile, le operazioni di prelievo comportano un degrado locale delle caratteristiche meccaniche e, quindi, del campione che si preleva. Tali perdite, generalmente, risultano trascurabili per l'elemento strutturale oggetto di indagine, date le limitate dimensioni del foro in esso realizzato, ma molto influenti sulla resistenza del campione prelevato. L'entità sarà commisurata alle cure che si adottano nelle operazioni di prelievo, ma anche alle caratteristiche meccaniche del materiale di partenza ed al diametro della carota. Il disturbo arrecato dall'operazione di taglio (usura) provocata dalla corona diamantata si propaga radialmente nel materiale circostante individuando un volume avente in sezione la forma di una corona circolare con diametro medio pari a quello del carotiere, ed una lunghezza di poco maggiore a quella del campione prelevato. È evidente che lo spessore di corona circolare degradato crescerà al

diminuire della resistenza propria del materiale. Tale aspetto, se generalmente poco significativo per l'elemento indagato, risulta invece determinate per il campione prelevato, soprattutto quando lo spessore degradato risulta percentualmente significativo rispetto al diametro della carota. Le linee guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive", al punto 11.3, danno rilievo a tale aspetto sottolineando che "l'estrazione e la lavorazione delle superfici di calcestruzzi aventi resistenza ≤ 20 MPa, è molto critica" e quindi "il metodo non risulta idoneo ad indagare tali calcestruzzi."

Stante la necessità di valutare la resistenza in situ dei calcestruzzi, indipendentemente dal valore della capacità resistente, è necessario utilizzare formulazioni che ne consentano comunque una stima.

2.2 Prove di trazione su barre di armatura d'acciaio estratte dalla struttura

Si tratta della classica prova di trazione su barre d'armatura, così come regolata dalle NTC08 e dalla norma UNI EN 10002/1.

Contrariamente al calcestruzzo, l'acciaio, essendo un prodotto industrializzato, possiede un'elevata stabilità di comportamento e le sue caratteristiche, all'epoca della realizzazione della struttura, sono accertate già presso lo stabilimento di produzione. Pertanto, soprattutto per le strutture recenti, quando ne è nota la provenienza e si dispone delle certificazioni, potrebbe risultare superfluo eseguire prelievi di barre d'armatura. In ogni caso appare opportuno limitarne il numero, data la notevole invasività dell'operazione e, per quanto detto, l'usuale buona costanza di caratteristiche dell'acciaio.

Esecuzione

Lo spezzone di barra da prelevare deve avere una lunghezza pari a circa 450 mm, per poter essere sottoposto alla prova di rottura per trazione in conformità alla norma UNI EN 10002/1.

Avvertenze/Raccomandazioni

È importante che il prelievo venga effettuato su elementi poco sollecitati, e dunque preferibilmente nei sottotetti o nell'ultimo piano, ovviamente laddove si abbia certezza che il tipo di acciaio sia lo stesso in tutta la struttura. È inoltre preferibile che la barra, se prelevata da un pilastro, non sia una barra d'angolo, essendo la sua funzione strutturale sicuramente più importante di quella delle eventuali barre intermedie. Analogamente, se si opera su una trave, sarà opportuno prelevare da barre non sollecitate a trazione.

Particolare cura dovrà essere posta nel ripristino della capacità resistente originaria dell'elemento strutturale, verificando la saldabilità delle barre in opera, adottando l'opportuno tipo di elettrodo ed effettuando la saldatura tra il nuovo spezzone e la barra

esistente con cordoni d'angolo di adeguata lunghezza, in ogni caso non mediante saldatura di testa.

Prove per strutture in muratura

3.0 Indagini non distruttive

3.1 Prove soniche

Le prove soniche rappresentano un metodo di indagine non distruttivo che consente di ottenere informazioni per la caratterizzazione qualitativa della muratura. La tecnica di indagineonica si basa sulla generazione di impulsi meccanici con frequenze nel campo del sonoro (2020000 Hz) e per questo detti sonici. L'onda sonica viene generata sul supporto murario mediante ad es. battitura con martello strumentato, e viene quindi ricevuta da un sensore (ad es. accelerometro) posto in un punto diverso della struttura. Entrambi i dispositivi sono collegati ad un amplificatore di segnale e ad un convertitore analogico-digitale per la visualizzazione e registrazione dei dati. L'elaborazione dei dati consiste nel calcolo del tempo di trasmissione dell'onda, ricavando quindi – noto lo spazio che divide trasmettitore e ricevitore - la velocità media di attraversamento della muratura.

Le prove soniche applicate alle strutture di muratura consentono di individuare la presenza di cavità macroscopiche, fessure o porzioni di muratura aventi caratteristiche differenti, intercettate lungo il percorso di trasmissione dell'onda, dato che le onde sonore si trasmettono attraverso i mezzi prediligendo i canali a maggiore densità, deviando quindi in corrispondenza di lacune o discontinuità. La velocità sonica è infatti generalmente uniforme nei solidi omogenei, e maggiore rispetto a quella di propagazione dell'onda sonora in aria.

Riassumendo, le indagini soniche sono utilizzate nella diagnosi della muratura per:

- qualificare la morfologia della sezione, individuando la presenza di vuoti, difetti e lesioni;
- controllare le caratteristiche della muratura prima e dopo interventi di consolidamento, verificando i cambiamenti delle caratteristiche fisiche.

Esecuzione

Le misure soniche di velocità possono essere svolte secondo più modalità:

- diretta o in trasparenza;
- indiretta o superficiale;
- semidiretta o radiale;
- tomografia.

La scelta di una metodologia di acquisizione rispetto ad un'altra dipende da vari fattori, tra cui il tipo di muratura e l'accessibilità su vari lati della stessa.

Le prove soniche dirette (in trasparenza) consistono nell'emettere e ricevere l'onda elastica in punti corrispondenti sulle due facce opposte della muratura in esame. Questo tipo di trasmissione è quello che fornisce i dati più significativi sulla consistenza della sezione muraria.

Le prove soniche superficiali consistono invece nell'emettere e ricevere l'onda elastica in punti localizzati sullo stesso lato del muro. Esse vengono utilizzate qualora sia disponibile per l'indagine una sola superficie muraria. Le informazioni date da questo tipo di prove sembrano essere limitate agli strati più esterni della muratura; i risultati non sono pertanto molto significativi per quanto riguarda la composizione all'interno dello spessore murario.

Maggiori informazioni sono disponibili localmente grazie alle tomografie soniche le quali, basandosi sulla combinazione di acquisizioni soniche su più direzioni in una stessa sezione, consentono di migliorare il grado di conoscenza della sezione mediante una "mappatura" delle velocità acquisite.

L'indagine delle strutture murarie mediante prove soniche prevede le seguenti fasi esecutive:

- indagini preliminari (ispezione visiva, battitura del paramento, etc.) per l'individuazione del/dei sito/i più idoneo/i e per la scelta del tipo di prova da effettuare (diretta, indiretta, semidiretta, tomografia);
- preparazione del sito d'indagine (sistemazione eventuali impalcature, rimozione intonaci, accessibilità corrente elettrica, etc.);
- rilievo grafico e fotografico della zona individuata per l'esecuzione delle prove soniche e tracciamento della griglia d'acquisizione;
- esecuzione delle prove soniche sulla struttura muraria;
- elaborazione dei risultati ottenuti nelle prove e stesura relazione tecnica.

Avvertenze/Raccomandazioni

Le prove soniche applicate alla muratura (in particolar modo nelle murature storiche) danno risultati di carattere prevalentemente "qualitativo"; infatti, la velocità dell'onda sonora non può essere direttamente correlata alle proprietà meccaniche della muratura per l'assenza delle ipotesi di omogeneità ed isotropia del materiale. D'altra parte, i risultati di tali prove possono essere maggiormente significativi laddove esse siano integrate da prove mediamente distruttive, eseguite puntualmente, per la calibrazione dei risultati delle prove soniche e/o da opportune tomografie che consentano di identificare le porzioni di muratura a densità omogenea.

Le prove soniche sono quindi in grado di fornire dati qualitativi sulle caratteristiche elastiche del materiale ed informazioni quantitative sui rapporti di variazione di tali caratteristiche tra punti diversi della struttura. Inoltre, effettuate prima e dopo l'esecuzione di interventi di consolidamento che modificano le proprietà della muratura (densità, modulo elastico, resistenza), quali ad esempio le iniezioni con miscele leganti, tali prove forniscono un'indicazione della variazione di consistenza del muro per effetto dell'intervento e, pertanto, consentono di stimare, seppure in maniera approssimata, l'efficacia dell'intervento stesso.

3.2 Caratterizzazione della malta

Le prove di caratterizzazione delle malte sono principalmente finalizzate a definire le caratteristiche compositive e tessiturali degli impasti identificando i costituenti mineralogici del legante e dell'aggregato, anche con un'indicazione della granulometria dell'aggregato e della porosità totale nei limiti imposti dal tipo di analisi eseguite, e a valutare qualitativamente lo stato di consistenza e conservazione delle malte. La caratterizzazione delle malte può essere utile anche ai fini della selezione dei materiali da impiegare per gli interventi di consolidamento. Le prove più comunemente utilizzate sono: osservazioni allo stereomicroscopio su campioni tal quali per una descrizione macroscopica delle caratteristiche morfologiche (Normal 14/83); studio petrografico al microscopio ottico polarizzatore per l'identificazione dei componenti mineralogici (UNI 11176; Normal 14/83); diffrattometria ai raggi X (XRD) per l'identificazione qualitativa e semiquantitativa delle principali fasi cristalline (Normal 34/91); studio della distribuzione granulometrica mediante setacciatura dell'aggregato (UNI EN 933-1).

Altre prove, di utilizzo meno comune e di tipo più specialistico, sono la spettrofotometria infrarossa per il riconoscimento di sostanze organiche e inorganiche; l'osservazione al microscopio elettronico a scansione (SEM) con associata microanalisi in dispersione d'energia (EDS) per la caratterizzazione morfologica e chimica di materiali inorganici (Normal 8/81).

Esecuzione

L'esecuzione di tali prove richiede l'analisi di laboratorio su campioni estratti in sito. Il prelievo in sito può essere fatto da giunti o con piccoli scassi effettuati nella muratura. È da valutare accuratamente il prelievo di materiale da carote, nel caso di esecuzione di carotaggi, facendo attenzione in particolar modo a prelevare campioni il più possibile indisturbati rispetto al taglio effettuato e solo in caso di non eccessivo dilavamento. Le dimensioni dei campioni da prelevare possono essere anche molto ridotte (dell'ordine del centimetro).

Avvertenze/Raccomandazioni

È di fondamentale importanza, nel corso dei prelievi, verificare che la malta estratta non appartenga a strati di stilatura o rifinitura esterna, ma che sia il più possibile rappresentativa della composizione interna della muratura. I campioni prelevati da più posizioni vanno riposti in contenitori separati, con una chiara indicazione della posizione del prelievo per la loro identificazione da parte del laboratorio di prova. È necessario porre attenzione nel prelievo, affinché i campioni siano il più possibile indisturbati rispetto alle operazioni di estrazione o alle operazioni di taglio nel caso di prelievo da carota.

3.3 Prove penetrometriche

La prova consiste nella misurazione dell'energia spesa per praticare una cavità in un giunto di malta con un normale processo di foratura realizzato mediante trapano strumentato. Durante la prova è mantenuta costante la forza di foratura: dall'analisi statistica dei dati rilevati è possibile correlare la resistenza alla perforazione della malta con le sue caratteristiche meccaniche. La taratura dello strumento viene effettuata misurando l'energia di foratura rilevata su giunti di murature realizzate in laboratorio con malte di riferimento la cui resistenza è stata misurata con prove standard a compressione (UNI EN 1015-11/2007): se non è realizzata un'opportuna taratura, i risultati possono essere interpretati solamente in termini relativi e non assoluti.

Esecuzione

Prima di effettuare la prova è opportuno scegliere una zona di muratura piuttosto ampia, di dimensioni circa un metro per un metro e comunque tale da consentire l'individuazione di porzioni di malta sufficientemente omogenea e la realizzazione del numero di misure necessario ad una distanza opportuna: solitamente vengono eseguiti 15-30 fori per ciascuna muratura di cui si vogliono stimare le caratteristiche meccaniche della malta.

Se nella muratura è presente uno strato d'intonaco, se ne deve prevedere la rimozione, avendo cura di ripulire adeguatamente i giunti di malta. È inoltre opportuno asportare lo strato superficiale di malta del giunto con un apposito attrezzo scarificatore, per evitare di effettuare la prova su un materiale alterato, generalmente diverso da quello di cui si vuole misurare la resistenza. In questo senso è opportuno impostare la profondità di perforazione al valore massimo, al fine di ottenere più informazioni possibili tra la superficie e la parte interna della muratura.

Avvertenze/Raccomandazioni

Un'attenzione particolare deve essere rivolta alla scelta delle punte. In funzione della superficie da provare, ovvero dello spessore dei giunti di malta, possono essere utilizzate punte di diverso diametro: solitamente sono utilizzate punte aventi diametro di 4 o 5 mm. Possono essere utilizzate diverse tipologie di punte in funzione del supporto da testare e della necessità di ripetibilità della prova: in alternativa alle tradizionali punte in acciaio può essere necessario ricorrere a speciali punte di acciaio alla cui estremità viene inserito un supporto tagliente in diamante policristallino, che deve essere realizzato rispettando le tolleranze di esecuzione. Si consiglia di impiegare nuove punte quando evidenziano segni di usura.

Nel caso di murature a blocchi squadriati, le caratteristiche di resistenza effettive della malta del giunto possono essere sensibilmente diverse in rapporto alle condizioni di maturazione (compressione, temperatura, assorbimento di acqua) ed all'effetto cerchiante da parte dei blocchi che può essere rilevante. Ciò non avviene in genere per le murature di pietrame.

È inoltre necessario tenere in considerazione che i risultati della prova sono molto influenzati dallo strato (profondità, stato di conservazione) di malta disponibile per l'esecuzione della prova stessa e che, non essendo possibili tarature sperimentali per ciascun tipo di malta, i risultati dovrebbero essere interpretati solamente in termini relativi.

4.0 Indagini debolmente distruttive

4.1. Martinetti piatti

La prova con martinetto piatto singolo permette di stimare lo stato di tensione locale presente nelle strutture murarie. La tecnica di prova si basa sulla variazione dello stato tensionale in un punto della struttura provocato da un taglio piano eseguito in direzione normale alla superficie della muratura. Il taglio viene generalmente realizzato mediante sega idraulica con lama circolare. Il rilascio delle tensioni che si manifesta provoca una parziale chiusura del taglio, che viene rilevata tramite misure di distanza relativa fra coppie di punti posti in posizione simmetrica rispetto al taglio stesso. Viene quindi inserito all'interno del taglio un martinetto piatto, realizzato mediante sottili lamiere di acciaio saldate, che viene collegato al circuito idraulico di una pompa. La pressione interna viene gradualmente aumentata fino ad annullare la deformazione misurata successivamente all'esecuzione del taglio. In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto è uguale in prima approssimazione alla sollecitazione preesistente nella muratura in direzione normale al piano del martinetto, a meno di una costante sperimentale che tiene conto del rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio (k_A), ed a meno di una costante che tiene conto della rigidezza intrinseca di ogni martinetto (k_M).

La prova con martinetto piatto doppio consente di determinare le caratteristiche di deformabilità della muratura, nonché di fornire una indicazione sul valore di resistenza della stessa. La prova consiste nell'effettuare un secondo taglio, parallelo al primo ad una distanza variabile (che dipende dagli elementi resistenti della muratura investigata e dalla larghezza del martinetto utilizzato), entro cui viene inserito il secondo martinetto. Ciò consente di delimitare un campione di muratura rappresentativo per dimensioni del comportamento meccanico della stessa. I due martinetti paralleli - opportunamente messi in pressione - applicano al campione interposto uno stato di sollecitazione monoassiale, e le deformazioni risultanti nella porzione muraria vengono misurate da un numero adeguato di sensori di spostamento in direzione ortogonale e parallela ai piani di inserimento dei martinetti, al fine di determinare il diagramma tensione - deformazione della muratura indagata. I due tipi di prova con martinetto sono normati mediante ASTM C 1196-09 e 1197-09 e RILEM LUM D3 (1994).

Forme di martinetto più diffuse

1) martinetto piatto singolo

Nel caso della prova di martinetto piatto singolo, scelta una compagine muraria sufficientemente rappresentativa della tipologia da analizzare, si collocano le basi di

misura al di sopra e al di sotto della posizione scelta per l'esecuzione del taglio, il più possibile equidistanti da esso. Si raccomandano al minimo 4 punti di misura. Si prende poi la misura iniziale di riferimento delle distanze con l'estensimetro removibile o mediante trasduttori elettronici. Si esegue quindi il taglio cercando di non disturbare la muratura circostante. Dopo il taglio e la pulitura si prende la seconda misura nei quattro punti di riferimento e si calcola così per differenza il valore della chiusura del taglio. Si applica una prima pressione pari a circa il $(20 \div 25)$ % della pressione stimata per raggiungere il presunto valore di sforzo locale e poi si scarica. La pressione si applica da zero ad incrementi di circa $1/8$ della pressione attesa, oppure ad incrementi regolari pari a $(0.5 \div 1.0)$ bar, e si memorizza lo spostamento misurato.

La prova si considera ultimata quando – in seguito ad incremento di pressione nel martinetto - si ottiene il ripristino delle misurazioni iniziali. La corrispondente pressione letta al martinetto (P) è la tensione locale nella muratura (fm), a meno delle costanti moltiplicative kA e kM.; $f_m = P \cdot k_A \cdot k_M$

dove:

P = pressione del martinetto che permette di ristabilire la distanza iniziale tra le basi;

kA = costante adimensionale che rappresenta il rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio eseguito nella muratura;

kM = costante adimensionale dipendente dalla geometria e dalla rigidità del martinetto.

Alla fine delle prove si scarica e si rimuove delicatamente il martinetto, chiudendo il taglio con una malta appropriata che non ritiri.

2) martinetto piatto doppio

Nel caso della prova di martinetto piatto doppio, vengono eseguiti nella muratura due tagli allineati verticalmente e distanti non più di 1.5 volte la lunghezza dei martinetti. Scelta una compagine muraria sufficientemente rappresentativa della tipologia da analizzare, si collocano le basi di misura e si posizionano i trasduttori di spostamento nella muratura compresa tra i due tagli. La localizzazione e il tipo di strumentazione devono essere scelti per misurare le deformazioni su una lunghezza pari al $(75 - 90)$ % della distanza compresa tra i martinetti. Le misure devono essere prese in più punti ed eventualmente mediate. Si raccomandano almeno 4 punti di misura verticali ed uno orizzontale. I tagli devono essere paralleli, allineati in verticale e separati almeno da 5 corsi di elementi componenti la muratura nel caso le altezze degli stessi siano minori di 100 mm (murature in laterizi) o 3 corsi per altezze maggiori (murature in pietra).

Dopo aver preso le misure di partenza, la pressione è incrementata nei martinetti a intervalli pari a circa il 10% della pressione massima attesa e le deformazioni sono misurate dopo una breve pausa di assestamento ad ogni passo. Ad ogni incremento, si devono registrare sia la pressione dei martinetti che le deformazioni. Il rapporto tra l'incremento di pressione (dp) e l'incremento della deformazione (dem), deve essere

accuratamente controllato in modo da interrompere la prova quando improvvisamente diminuisce, per non danneggiare la muratura.

Un ulteriore controllo riguarda la deformazione orizzontale, il cui repentino incremento potrebbe indicare la propagazione di una fessurazione. La tensione locale nella muratura si calcola come nel caso della prova di martinetto piatto singolo.

A conclusione della prova si scarica la pressione e si rimuovono delicatamente i martinetti, chiudendo i tagli con una malta appropriata che non ritiri.

Avvertenze/Raccomandazioni

La corretta effettuazione delle prove di martinetto piatto richiede attenzione sia nell'esecuzione che nell'interpretazione dei risultati ottenuti. In particolare è necessario porre attenzione nello svolgimento della prova qualora ci si trovi in presenza di murature deboli o con morfologie molto irregolari, in caso di bassi valori di tensioni di compressione (edifici bassi), nel caso di murature a più paramenti o soggette a carichi eccentrici, nel caso di presenza di interventi, anche non noti, di consolidamento murario (ad es. scucucuci), ecc.

4.2 Carotaggi

Il carotaggio di elementi in muratura serve prevalentemente per la caratterizzazione della morfologia della muratura stessa, mediante indagine della struttura interna e del materiale costituente (tipi di malta, laterizio, pietra; spessore e conformazione dei paramenti murari; altri dettagli, etc); per il prelievo di porzioni di materiale utili per l'esecuzione di prove di laboratorio; per la realizzazione di fori all'interno dei quali effettuare successive indagini mediante endoscopia.

Esecuzione

L'esecuzione prevede, dopo il posizionamento della carotatrice ed il taglio della carota sino alla profondità richiesta, l'estrazione della carota dal foro stesso ed il suo posizionamento, con eventuale ricomposizione in caso di disgregazione, in relativi contenitori sagomati. È necessario indicare sulla carota la direzione di estrazione ed effettuare subito una descrizione (anche fotografica) della carota estratta e del foro da cui è stata prelevata, con riferimenti metrici che indichino la lunghezza della carota/profondità del foro. La massima lunghezza di perforazione per carotatrici normali può arrivare a 2500 mm, mentre il diametro varia indicativamente da un minimo di 30-40 mm ad un massimo di 100 mm.

Avvertenze/Raccomandazioni

È di fondamentale importanza verificare, nel corso dei prelievi, che la macchina carotatrice non abbia significative vibrazioni dell'asse di rotazione e che la velocità di avanzamento sia bassa, onde evitare un eccessivo danneggiamento del campione. Si deve inoltre

limitare al minimo indispensabile la quantità d'acqua utilizzata nel corso della perforazione, per evitare un eccessivo dilavamento delle porzioni di muratura circostanti alla posizione di prelievo ed un'eccessiva imbibizione/danneggiamento dei materiali estratti per mezzo del carotaggio da sottoporre ad eventuali prove di laboratorio.

Nel caso che le carote estratte dalla muratura abbiano una loro consistenza (ad esempio, nel caso di murature regolari di laterizio legate con giunti di malta) e vengano sottoposte a prove meccaniche in laboratorio, è necessario tener presente che la direzione di prova in laboratorio è perpendicolare rispetto alla direzione di carico della muratura in opera, e che data l'anisotropia della muratura, il risultato delle prove eseguite nella direzione di estrazione può difficilmente essere correlato al valore di resistenza reale della muratura.

I carotaggi, effettuati dopo l'esecuzione di interventi di consolidamento che modificano la composizione interna della muratura, quali ad esempio le iniezioni con miscele leganti, possono fornire un'indicazione sulla penetrazione e diffusione del materiale consolidante all'interno della muratura stessa, e quindi sulla qualità d'esecuzione ed efficacia dell'intervento.

4.3 Endoscopie

L'indagine endoscopica consente l'ispezione visiva diretta di cavità, o parti altrimenti inaccessibili della muratura, all'interno dello spessore murario. Mediante l'inserimento di una piccola sonda endoscopica in fori di almeno 20 mm di diametro si può studiare la superficie del foro per cercare di ricostruire la sezione muraria, inclusa la tipologia di materiali presenti e la presenza di larghi vuoti. I risultati del controllo visivo possono essere registrati mediante un sistema di ripresa video, su file immagine o video.

Esecuzione

L'esecuzione prevede l'utilizzo di apparecchiature flessibili o rigide, articolate o non, con illuminazione a luce calda o a fibre ottiche. A seconda del tipo di apparecchiatura può cambiare la profondità massima di ispezione, il diametro minimo del foro d'ispezione (a seconda dello spessore della sonda) ed il diametro massimo (fori più grandi richiedono fonti di illuminazione più potenti per dare immagini con buona risoluzione e visibilità). Anche il campo di visione della sonda, rispetto alla visione diretta in avanti, può essere variabile.

Avvertenze/Raccomandazioni

Durante l'esecuzione delle indagini endoscopiche, è utile adottare dei riferimenti metrici che indichino la posizione lungo la profondità del foro, sia per le annotazioni effettuate in corso di esecuzione della prova, sia per eventuali osservazioni che avvengano in un secondo momento, in seguito a visione delle immagini salvate durante l'indagine.

Le endoscopie, effettuate dopo l'esecuzione di interventi di consolidamento che modificano la composizione interna della muratura, quali ad esempio le iniezioni con

miscele leganti, possono fornire un'indicazione sulla penetrazione e diffusione del materiale consolidante all'interno della muratura stessa, e quindi sulla qualità d'esecuzione ed efficacia dell'intervento.

Con riferimento al rilievo geometrico strutturale il professionista dovrà trasmettere i files in formato cartaceo ed elettronico (.doc, .xls, .pdf, .jpg, .dwg) degli elaborati grafici della costruzione (ivi comprese le schede denominate di "livello 1 e 2" dettagliatamente compilate), costituiti come minimo, dalle piante di tutti i piani e da n° 3 sezioni, di cui una almeno trasversale ed una longitudinale.

Si sottolinea che è possibile sostituire sino al 50% delle prove distruttive con un numero almeno triplo, di prove non distruttive (punto C8.A1.B3 - Circ. 617/2009).

Il Professionista incaricato dovrà concordare ogni sondaggio o rilievo con il Committente che potrà negare, motivandola, la realizzazione di prove distruttive. Dovrà inoltre essere garantita la funzionalità dell'attività d'ufficio durante tutte le operazioni legate allo svolgimento di tutte le fasi della verifica.

IL CAPO UFFICIO LOGISTICO IN S.V.
(Cap. Arnaldo Malvaso)

