



REGIONE ABRUZZO
Direzione LL.PP., Aree Urbane, Servizio Idrico Integrato,
Manutenzione Programmata del Territorio – Gestione
Integrata dei Bacini Idrografici.
Protezione Civile.
Attività di Relazione Politica con i Paesi del Mediterraneo



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'AQUILA
Facoltà di Ingegneria
Dipartimento Ingegneria delle Strutture,
delle Acque e del Terreno



***Verifica delle opere strategiche e rilevanti
di cui alla OPCM 3274/2003***

(DPCM 21 Ottobre 2003 - OPCM 3362/2004 - DGRA 438/2005)

CONTRATTO DI RICERCA

tra la Regione Abruzzo – Direzione LL.PP. e Protezione Civile

e

l'Università degli Studi di L'Aquila – DISAT

approvato con DGRA 721/2006

**LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE
DELLA RESISTENZA SISMICA DEGLI EDIFICI
STRATEGICI E RILEVANTI**

(BOZZA v05.1 – SETTEMBRE 2006)

Documento redatto da

Giovanni C. BEOLCHINI

Responsabile Scientifico del Contratto di Ricerca

Coordinamento tecnico-amministrativo

Emilio D. IANNARELLI

Responsabile Ufficio Geologico e Rischio Sismico
della Regione Abruzzo

PREMESSA

La Giunta Regionale d'Abruzzo, con la Deliberazione n. 721 del 26 giugno 2006 ha autorizzato il Direttore Regionale dei LL.PP. e Protezione Civile alla sottoscrizione di un contratto di ricerca con l'Università degli Studi di L'Aquila – Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno, avente per oggetto “*Attività di supporto all'attuazione del Primo Programma Regionale delle verifiche tecniche degli edifici strategici e rilevanti ricadenti nel territorio della Regione Abruzzo in adempimento all'OPCM 3362/2004*”.

Detto contratto prevede due linee d'azione:

1. definizione dei criteri generali e redazione delle linee guida per le verifiche sismiche degli edifici e delle infrastrutture strategiche e rilevanti ricadenti nel territorio abruzzese, da testare con la verifica di cui la Regione Abruzzo è Ente attuatore;
2. attività di formazione e supporto ai tecnici professionisti incaricati delle verifiche;

Il presente documento, redatto conformemente alle indicazioni contenute nell'allegato tecnico a detto contratto, è una bozza delle Linee guida per le verifiche sismiche degli edifici e delle infrastrutture strategiche e rilevanti ricadenti nel territorio abruzzese.

Le Linee Guida descrivono gli obiettivi delle verifiche previste dall'OPCM 3274 del 20 Marzo 2003, e regolamentate con il DPCM del 21 Ottobre 2003, e le modalità per raggiungerli. Fatte salve alcune modeste variazioni e correzioni formali risultato di più attente revisioni, questa bozza può essere considerata pressoché definitiva. Le appendici citate nel testo, che contengono richiami normativi e chiarimenti su metodi di analisi (semplificati, non lineari, cinematici), saranno allegate al testo definitivo che sarà distribuito durante i corsi specifici previsti dal contratto citato.

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
1 LA VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA SISMICA.....	3
1.1 Definizione del Rischio	3
1.2 Livelli di Analisi e Corrispondenti Metodi.....	4
1.2.1 Livello 1	4
1.2.2 Livello 2	5
2 FASE 1: RACCOLTA DATI E INDAGINI PRELIMINARI	7
2.1 Raccolta Dati	7
2.2 Ricognizione Visiva e Rilievo Diretto.....	7
2.3 Sintesi dei Risultati dell'Indagine Preliminare	8
3 FASE 2: DEFINIZIONE DEL MODELLO E VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA SISMICA	8
3.1 Edifici di Cemento Armato.....	9
3.2 Edifici di Muratura	10
3.3 Strutture e Terreno di Fondazione.....	11
3.4 Valutazione della Resistenza Sismica	11
4 FASE 3: SINTESI DEI RISULTATI.....	11

APPENDICI – Le appendici saranno allegate alla versione DEFINITIVA

APPENDICE A	Sintesi delle prescrizioni per gli edifici esistenti di cemento armato previsti dall'OPCM 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i.
APPENDICE B	Sintesi delle prescrizioni per gli edifici esistenti di muratura previsti dall'OPCM 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i.
APPENDICE C	La valutazione semplificata della resistenza di piano per edifici di cemento armato (progetto SAVE, Task 2, Dolce&Moroni, 2005)
APPENDICE D	La valutazione semplificata della resistenza di piano per edifici di muratura (progetto SAVE, Task 2, Dolce&Moroni, 2005)
APPENDICE E	L'analisi statica non lineare per le strutture di cemento armato, come prevista dall'OPCM 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i.
APPENDICE F	L'analisi statica non lineare per le strutture di muratura, come prevista dall'OPCM 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i.
APPENDICE G	L'analisi cinematica lineare per le strutture esistenti di muratura, come prevista dall'OPCM 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i.

INTRODUZIONE

L'ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri 3274 del 20 Marzo 2003 (OPCM 3274/2003) ha introdotto nuovi criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale. Nella stessa ordinanza è stata perciò prevista la necessità di procedere alla valutazione dello stato di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche per le seguenti opere:

- a) edifici di interesse strategico ed opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile;
- b) edifici ed opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

La valutazione della sicurezza ha lo scopo di verificare se un'opera esistente è in grado di sopportare le combinazioni delle azioni previste dalla normativa sismica. La verifica può essere condotta con diversi livelli di accuratezza, ma in ogni caso devono essere garantiti il rispetto dei livelli di sicurezza definiti nella norma e la confrontabilità dei risultati ottenuti per le opere ricadenti nel territorio Regionale. Quest'ultima consentirà la predisposizione di un successivo programma di interventi.

Le Linee Guida sono state perciò predisposte per garantire la conformità e l'omogeneità dei criteri di verifica utilizzati dai Tecnici della Regione Abruzzo per la valutazione della sicurezza sismica degli edifici di cui ai precedenti punti a) e b). In questa ottica le Linee Guida sono coerenti con quanto previsto dai seguenti riferimenti:

- OPCM 3274/2003, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, ulteriormente modificata e integrata con l'OPCM. 3431 del 3 Maggio 2005 (G.U. n. 107 del 10.5.2005, S.O. n. 85, nel seguito OPCM 3431/2005).
- D.P.C.M. 21.10.2003 (G.U. 29.10.2003, n. 252, nel seguito DPCM/2003), Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2,3 e 4 dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.3.2003.
- OPCM 3362/2004 (G.U. 16.7.2004, n. 165), Modalità di attivazione del Fondo per interventi straordinari della Presidenza del Consiglio dei Ministri, istituito ai sensi dell'art. 32-bis del decreto legge 30.9.2003, n. 269, convertito, con modificazioni, dalla legge 24.11.2003, n. 236.

E' in ogni caso opportuno ricordare quanto previsto dall'ordinanza al punto 11.1 dell'Allegato 2 dell'OPCM 3431/2005 dove si evidenzia che:

Gli edifici esistenti si distinguono da quelli di nuova progettazione per gli aspetti seguenti:

- *Il progetto riflette lo stato delle conoscenze al tempo della loro costruzione;*
- *Il progetto può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione non evidenziabili.*

Tali edifici possono essere stati soggetti a terremoti passati o ad altre azioni accidentali i cui effetti non sono manifesti. Di conseguenza la valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sono normalmente affetti da un grado di incertezza diverso da quello degli edifici di nuova progettazione. Ciò comporta l'impiego di adeguati fattori di confidenza nelle verifiche di sicurezza come pure metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile. Negli edifici esistenti le situazioni concrete riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche e dettagliate per tutti i casi. I contenuti del presente capitolo costituiscono un riferimento generale che può essere integrato, in casi particolari, da valutazioni specifiche ed anche alternative da parte del progettista.

Le Linee Guida devono perciò essere considerate un riferimento metodologico di base, suscettibile di integrazione o adattamento a situazioni specifiche.

Nei capitoli dopo il primo, dove vengono fornite alcune definizioni relative allo scopo delle verifiche previste dall'OPCM 3362/2004, sono indicati gli elementi generali, utilizzabili come riferimento per lo svolgimento di ognuna delle tre fasi nelle quali è articolata la verifica:

1. raccolta dati e indagini preliminari;

2. definizione del modello e valutazione della resistenza sismica;
3. sintesi dei risultati.

Nelle Appendici, infine, sono forniti alcuni richiami agli aspetti normativi e sono descritti metodi semplificati per la valutazione della resistenza sismica degli edifici di cemento armato e di muratura.

1 LA VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA SISMICA

1.1 DEFINIZIONE DEL RISCHIO

Le verifiche sono finalizzate alla definizione di indicatori di rischio come definiti nell'Allegato 2 al decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 21 Ottobre 2003. Tali indicatori, denominati α_u e α_e , sono calcolati con i rapporti:

$$(1.1) \quad \alpha_u = \frac{PGA_{CO}}{PGA_{2\%}} \text{ o, in funzione dello stato limite di riferimento, } \alpha_u = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}}$$

$$(1.2) \quad \alpha_e = \frac{PGA_{DL}}{PGA_{50\%}}$$

dove:

- $PGA_{2\%}$ accelerazione al suolo attesa con probabilità 2% in 50 anni;
- $PGA_{10\%}$ accelerazione al suolo attesa con probabilità 10% in 50 anni;
- $PGA_{50\%}$ accelerazione al suolo attesa con probabilità 50% in 50 anni;
- PGA_{CO} accelerazione stimata di collasso della struttura;
- PGA_{DS} accelerazione stimata di danno severo;
- PGA_{DL} accelerazione stimata di danno lieve;

Il parametro α_u è considerato un indicatore del rischio di collasso; il parametro α_e è considerato un indicatore del rischio di inagibilità dell'opera. Valori prossimi o superiori all'unità caratterizzano casi in cui il livello di rischio è prossimo a quello richiesto dalle norme; valori bassi, prossimi a zero, caratterizzano casi ad elevato rischio.

L'accelerazione orizzontale al suolo $PGA_{10\%}$, attesa con probabilità 10% in 50 anni, in assenza di più accurate determinazioni, è da assumere pari a quella indicata al par. 3.2.1 dell'OPCM 3431/2005 e qui riportata per comodità in Tab. 1.1.

Zona	$PGA_{10\%}$
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

Tab. 1.1 Accelerazioni al suolo attesa con probabilità 10% in 50 anni

I valori di Tab. 1.1 possono essere modificati mediante determinazioni specifiche e documentate; ma le differenze non possono essere superiori al 20% dell'accelerazione per le zone 1 e 2 ed allo 0.05g nelle altre zone.

In assenza di più accurate determinazioni l'accelerazione al suolo $PGA_{50\%}$ attesa con probabilità 50% in 50 anni può essere fissata dividendo per 2.5 la $PGA_{10\%}$ di Tab. 1.1 (cfr. par. 2.2 dell'OPCM. 3431).

In assenza di più accurate determinazioni l'accelerazione al suolo $PGA_{2\%}$ attesa con probabilità 2% in 50 anni può essere fissata moltiplicando per 1.5 la $PGA_{10\%}$ di Tab. 1.1 (cfr. par. 11.2.5.3 dell'OPCM. 3431).

Il metodo per la stima delle accelerazioni corrispondenti agli stati limite di Collasso (SL di CO), di danno severo (SL di DS) e di danno lieve (SL di DL) è riportato nel seguente paragrafo.

1.2 LIVELLI DI ANALISI E CORRISPONDENTI METODI

Sono previsti due livelli, Livello 1 e Livello 2, che si differenziano per il diverso livello di conoscenza e per i diversi strumenti di analisi e di verifica richiesti. Si utilizzano in relazione alla regolarità e alla criticità della struttura oggetto di verifica. Qui sono sinteticamente elencate le modalità operative corrispondenti ai due livelli, differenziandoli per strutture di cemento armato e muratura, integrando quanto riportato nel DPCM 21.10.2003.

1.2.1 Livello 1

E' richiesta l'attribuzione ad una delle categorie di suolo descritte nell'OPCM 3431/2005, sulla base di studi esistenti e delle carte geologiche disponibili, senza obbligatoriamente ricorrere a prove sperimentali di caratterizzazione del terreno. E' consentito un livello di conoscenza limitato (vedi Cap. 3).

Il Livello 1 si applica agli edifici ed opere ad alta priorità, che possano essere definiti regolari, che non siano stati attribuiti a categorie di suolo S1 o S2 e che non siano realizzati in prossimità di dirupi o creste o su corpi franosi.

a) edifici di cemento armato

Si procede alle verifiche ricorrendo al livello di conoscenza limitata (LC1) ai sensi del par. 11.2.3.3 di OPCM 3431/2005. Prove e verifiche in situ sono quelle previste per detto livello di conoscenza.

Si impiega l'analisi statica lineare, pur essendo consentito l'utilizzo dell'analisi lineare dinamica. E' consentito considerare due modelli piani separati, uno per ogni direzione principale, considerando gli effetti dell'eccentricità accidentale come specificato nell'OPCM 3431/2005. Nel caso di modelli tridimensionali è possibile considerare l'influenza delle tamponature, se collegate all'interno delle maglie con vincoli efficaci; è obbligatorio considerare le tamponature quando queste sono disposte in modo irregolare in pianta e/o in elevazione.

La rigidezza degli elementi deve essere valutata considerando la rigidezza secante a snervamento. In caso non siano effettuate valutazioni specifiche è consentito assumere la rigidezza flessionale degli elementi pari a metà della rigidezza corrispondente a sezioni non fessurate.

Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate per ciascun elemento secondo quanto indicato ai punti 11.2.6.1 e 11.3.3 dell'OPCM 3431/2005. In particolare si procede come segue:

1. si effettua l'analisi dell'edificio, con PGA unitaria, in entrambe le direzioni principali;
2. si calcolano per ogni elemento strutturale i valori di resistenza (a flessione e taglio per travi, pilastri, pareti, a trazione e compressione per i nodi non confinati);
3. si calcolano per ogni piano i valori di rotazione in condizioni di collasso, di danno severo e di danno limitato (par. 11.3.3.1 di OPCM 3431/2005);
4. si calcola il moltiplicatore dell'accelerazione che provoca il primo collasso a taglio, od il collasso di un nodo od il raggiungimento della rotazione ultima ad un piano (PGA_{CO});
5. si calcola il moltiplicatore dell'accelerazione che provoca il raggiungimento della rotazione di danno severo ad un piano (PGA_{DS});
6. si calcola il moltiplicatore dell'accelerazione che provoca il raggiungimento della rotazione di snervamento ad un piano (PGA_{DL}).

b) edifici di muratura

Si procede alle verifiche ricorrendo a rilievo sommario e a verifiche in situ limitate (punto 11.5.2 di OPCM 3431/2005). In particolare devono essere verificati i dettagli descritti al punto 11.5.2.2 di detta ordinanza, segnalando in modo esplicito l'eventuale non rispondenza di uno o più punti da a) ad e).

Si verifica poi l'eventuale rispondenza alla definizione di edificio semplice, come individuato al punto 8.1.9 dell'OPCM 3431/2005, quando, oltre alle condizioni ivi prescritte, dopo l'eventuale intervento di adeguamento, risulti verificato quanto segue (punto 11.5.10 dell'OPCM 3431/2005):

- a) le pareti ortogonali siano tra loro ben collegate;
- b) i solai siano ben collegati alle pareti;
- c) tutte le aperture siano dotate di architravi con resistenza flessionale;
- d) tutti gli elementi spingenti eventualmente presenti siano dotati di accorgimenti atti ad eliminare o equilibrare le spinte orizzontali;
- e) tutti gli elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità siano stati eliminati;
- f) le murature non siano a sacco o a doppio paramento, e, più in generale, di cattiva qualità e scarsa resistenza (es. muratura in foratoni, o con spessori insufficienti).

Nel caso di edifici semplici è possibile utilizzare l'approccio semplificato previsto al punto 8.1.9 dell'OPCM 3431/2005.

Negli altri casi si ricorre all'analisi lineare statica, secondo quanto descritto punto 8.1.5.2 dell'OPCM 3431/2005. E' consentito l'utilizzo dell'analisi dinamica.

La rigidezza degli elementi deve essere valutata considerando la rigidezza fessurata, considerando la deformabilità a taglio ed a flessione. In caso non siano effettuate valutazioni specifiche è consentito assumere la rigidezza degli elementi pari a metà della rigidezza corrispondente a sezioni non fessurate.

Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate come previsto ai punti 8.1.6 e 8.2.2 dell'OPCM 3431/2005. In particolare si procede come segue (non è necessario determinare qui PGA_{CO}):

1. si effettua l'analisi dell'edificio, con PGA unitaria, in entrambe le direzioni principali;
2. si calcolano per ogni elemento strutturale i valori di resistenza a flessione e taglio e a flessione fuori piano;
3. si calcolano per ogni pannello murario i valori di deformazione corrispondenti agli stati limite di danno (punto 4.11.2 di OPCM 3431/2005) ed ultimo, in funzione delle modalità di collasso (punti 8.2.2.1 e 8.2.2.2 di detta ordinanza);
4. si calcola il moltiplicatore dell'accelerazione che provoca raggiungimento della deformazione ultima nel piano o della resistenza fuori piano in un pannello (PGA_{DS});
5. si calcola il moltiplicatore dell'accelerazione che provoca il raggiungimento della resistenza nel piano o della deformazione di danno in un pannello (PGA_{DL}).

In aggiunta alle verifiche di cui in precedenza deve essere anche presa in considerazione la possibilità di attivazione di meccanismi locali di collasso. Tali meccanismi si verificano nelle pareti murarie prevalentemente per azioni perpendicolari al loro piano, mentre nel caso di sistemi ad arco anche per azioni nel piano. Le verifiche con riferimento ai meccanismi locali di danno e collasso (nel piano e fuori piano) possono essere svolte tramite l'analisi limite dell'equilibrio, secondo l'approccio cinematico, che si basa sulla scelta del meccanismo di collasso e la valutazione dell'azione orizzontale che attiva tale cinemismo. Oltre alle verifiche di cui sopra devono essere effettuate quelle previste nell'Allegato 11.C dell'OPCM 3431/2005, considerando, almeno, quelle corrispondenti all'Analisi Cinematica Lineare.

c) modelli di calcolo semplificati

E' possibile utilizzare anche modelli di calcolo semplificati che fanno riferimento a meccanismi di collasso di piano. In appendice sono riportati i dettagli operativi per le strutture di cemento armato e per quelle di muratura, con le condizioni che ne permettono l'utilizzo.

1.2.2 Livello 2

Il Livello 2 di verifica deve essere utilizzato in assenza dei requisiti di regolarità in pianta ed in elevazione e, in ogni caso, agli edifici ad alta priorità caratterizzati da:

- elevata pericolosità (ricadenti in zona sismica 1 e 2);
- elevata vulnerabilità (progettati in epoca antecedente rispetto alla classificazione del territorio del comune nel quale ricadono);

- elevata esposizione (utilizzati da un numero elevato di utenti e da soggetti deboli quali anziani e bambini).

Le verifiche di Livello 2 sono comunque precedute dalle verifiche di Livello 1, almeno con metodi semplificati.

Anche in questo caso si devono determinare i rapporti definiti dalle (1.1) e (1.2) con le accelerazioni PGA_{CO} , PGA_{DS} e PGA_{DL} stimate mediante una analisi statica non lineare il cui obiettivo è la definizione di una curva di capacità globale forza tagliante di piano – spostamento di un nodo di controllo. L'analisi statica non lineare va diversificata in relazione alle diverse tipologie strutturali, come specificato in Appendice.

E' consentita l'analisi lineare con fattore di struttura quando il rapporto domanda/capacità (vedi punti 11.2.2.2 e 11.2.5.4 di OPCM 3431/2005) è uniforme per i diversi elementi, quando la domanda è contenuta entro limiti accettabili per ogni elemento e quando i collassi di tipo fragile sono impediti.

E' richiesto un livello di conoscenza (v. Cap. 3) più approfondito del tipo LC2 (CONOSCENZA ADEGUATA) O LC3 (conoscenza accurata), come indicato al punto 11.2.3.3 di OPCM 3431/2005. E' necessario determinare la categoria del suolo tramite prove in-situ (almeno SPT) o altre specifiche indagini geognostiche le cui risultanze devono essere contenute in apposita relazione geologica.

E' consentito considerare separatamente le azioni nelle due direzioni principali, utilizzando i metodi di combinazione di cui al punto 4.6 dell'OPCM 3431/2005, ma il modello dell'edificio deve essere tridimensionale.

La rigidezza degli elementi deve essere valutata considerando la rigidezza secante a snervamento. In caso non siano effettuate valutazioni specifiche e' consentito valutare la rigidezza flessionale degli elementi pari alla metà della rigidezza dei corrispondenti elementi non fessurati.

a) edifici di cemento armato

Si procede secondo quanto indicato al punto 4.5.4 dell'OPCM 3431/2005, utilizzando le distribuzioni alternative delle forze indicate al punto 4.5.4.2., ovvero ricorrendo ai metodi evolutivi di cui al punto 4.5.4.1.

Per ogni elemento si calcolano i valori di resistenza a (flessione e a taglio per travi, pilastri e pareti, a trazione e compressione per i nodi non confinati).

Per ogni piano si calcolano i valori di rotazione rispetto alla corda in condizioni di collasso, di danno severo e di danno limitato (punto 11.3.3.1).

Sulla curva generalizzata forza-spostamento si devono identificare i punti corrispondenti alle seguenti situazioni:

1. il primo collasso a taglio, o il collasso di un nodo o il raggiungimento della rotazione ultima ad un piano (stato limite di collasso - CO);
2. il raggiungimento della rotazione di danno severo ad un piano (stato limite di danno severo - DS);
3. il raggiungimento della rotazione di snervamento ad un piano (stato limite di danno lieve - DL).

La curva di capacità deve essere confrontata con opportuni spettri di risposta elastica, eventualmente corretti con un valore appropriato del fattore η in funzione delle capacità dissipative corrispondenti a ciascun stato limite.

L'intersezione della curva di capacità con gli spettri consente di calcolare i valori di accelerazione al suolo corrispondenti ai tre stati limite di interesse (PGA_{CO} , PGA_{DS} , PGA_{DL}).

b) edifici in muratura.

E' richiesto un rilievo *completo* e verifiche in situ *estese* (punto 11.5.2 dell'OPCM 3431/2005). Dovranno comunque essere verificati i dettagli costruttivi descritti al punto 11.5.2.2, indicando in modo esplicito l'eventuale non rispondenza di uno dei punti da a) ad e).

Si esegue l'analisi non lineare statica, secondo quanto descritto al punto 8.1.5.4 delle norme, al fine di produrre una curva di capacità globale forza-spostamento.

La curva di capacità deve essere confrontata con opportuni spettri di risposta elastica, eventualmente corretti con un valore appropriato del fattore η in funzione delle capacità dissipative corrispondenti a ciascun stato limite.

L'intersezione della curva di capacità con gli spettri consente di calcolare i valori di accelerazione al suolo corrispondenti ai tre stati limite di interesse (PGA_{DS} , PGA_{DL}).

2 FASE 1: RACCOLTA DATI E INDAGINI PRELIMINARI

La Fase 1 ha un duplice scopo: il primo (non per importanza) è la costituzione di una banca dati il più possibile omogenea degli edifici strategici della Regione Abruzzo; il secondo è l'individuazione di tutti i parametri necessari per la definizione geometrica del modello utilizzato per il calcolo dell'indice di rischio come delineato nel Cap. 1.

2.1 RACCOLTA DATI

Le fonti da considerare per la acquisizione dei dati necessari sono:

- documenti di progetto con particolare riferimento a relazioni geologiche, geotecniche e strutturali ed elaborati grafici strutturali, computi metrici;
- eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione o relative alla realizzazione di varianti, strutturali e non (ristrutturazioni, miglioramento o adeguamento sismico, ecc.);
- relazione e certificati di collaudo, compresi quelli delle prove sui materiali.
- ricognizione diretta
- rilievo strutturale geometrico e dei dettagli esecutivi;
- prove in-situ e in laboratorio.

Gli ultimi due punti corrispondono al maggior approfondimento richiesto nella Fase 2. Il rilievo strutturale geometrico richiede tanto più impegno quanto più è carente la documentazione acquisita come descritto nei primi quattro punti.

In ogni opera strategica è necessario individuare gli eventuali organismi strutturali autonomi (edifici) per i quali, indicandone la fonte, devono essere acquisite almeno le seguenti informazioni:

- descrizione della struttura (geometria generale, tipologia della struttura, materiali costituenti le strutture verticali ed orizzontali);
- descrizione dello stato generale di conservazione e dell'eventuale quadro fessurativo rilevato;
- anno o epoca di progettazione; anno o epoca di inizio lavori;
- anno o epoca di completamento dei lavori;
- anno e tipo di interventi successivi al completamento dell'opera, con particolare attenzione agli interventi che hanno variato la struttura, rafforzandola (miglioramento, adeguamento sismico) o indebolendola (sopraelevazioni, creazione di piani porticati, riorganizzazione delle aperture nelle pareti murarie portanti, ecc.);
- storia sismica dell'edificio, con riferimento agli eventi subiti ed agli eventuali danni rilevati.

Nel caso di carenza di documentazione progettuale, è opportuno procedere ad una progettazione simulata dell'edificio utilizzando le norme, i materiali e la classificazione sismica in vigore all'epoca della progettazione originaria.

2.2 RICOGNIZIONE VISIVA E RILIEVO DIRETTO

L'attendibilità della documentazione disponibile è accertata con ricognizione visiva. Questa consente di completare la descrizione dell'edificio, con rilievo diretto in sostituzione o integrazione della documentazione di cui sopra, mediante le seguenti informazioni:

- identificazione delle strutture di fondazione;

- identificazione delle categorie di suolo secondo quanto indicato al punto 3.1 dell'OPCM 3431/2005;
- dimensioni geometriche degli elementi strutturali e organizzazione dei collegamenti;
- possibili difetti locali dei materiali;
- possibili difetti nei particolari costruttivi (dettagli delle armature, eccentricità travi-pilastro, eccentricità pilastro-pilastro, collegamenti trave-colonna e colonna-fondazione, etc.);
- norme impiegate nel progetto originale incluso il valore delle azioni sismiche di progetto;
- descrizione della destinazione d'uso attuale e futura dell'edificio con identificazione della categoria di importanza, secondo i punti 2.5 e 4.7 dell'OPCM 3431/2005;
- rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso;
- natura ed entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate.

La quantità e qualità dei dati acquisiti determina il metodo di analisi e i valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali da adoperare nelle verifiche di sicurezza. La descrizione analitica dei dati corrispondenti ai tre livelli di confidenza previsti sono riportati al punto 11.2.3.3 dell'OPCM 3431/2005.

Particolare attenzione deve essere dedicata a indizi di dissesti preesistenti o in evoluzione. Il quadro fessurativo deve essere riportato negli elaborati inquadrandone la causa. In generale l'attenzione deve essere rivolta alla descrizione di:

- danni dovuti ad eventi sismici precedenti (specificare il sisma, il tipo e l'entità del danno, con riferimento alla classificazione della scheda AeDES, DPC, 2000);
- cedimenti di fondazione (specificare con riferimento alla classificazione della scheda AeDES, DPC, 2000);
- carenze nei solai e nelle travi, segnalate da deformazioni eccessive, o dalla presenza di lesioni strutturali o negli elementi non strutturali gravanti su di loro, provocate dai soli carichi verticali;
- carenze di pilastri e pareti, segnalate da lesioni verticali, sintomi di schiacciamenti, ecc., provocati anch'essi dai carichi verticali;
- inadeguatezza dell'organizzazione strutturale, in particolare nelle strutture di muratura (mancanza di connessioni tra muri ortogonali, carenze di collegamento tra orizzontamenti e pareti, e, in generale, ridotta attitudine ad un comportamento scatolare);
- degrado dei materiali e difetti costruttivi, p.es.: espulsione del copriferro, corrosione delle armature, degrado delle malte, fuori piombo, lesioni da ritiro nel c.a..

2.3 SINTESI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE PRELIMINARE

I risultati ottenuti sono sintetizzati in un rapporto che deve contenere, di norma:

1. descrizione generale dell'opera, sue caratteristiche d'uso e geometriche, come risultano dai documenti già disponibili e dai rilievi effettuati. Deve essere fornito l'elenco completo e copia dei documenti utilizzati, indicando le informazioni che da essi è stato possibile ottenere;
2. descrizione della struttura, come indicato nei paragrafi precedenti.

Deve anche essere compilata, per la parte descrittiva, la scheda riepilogativa DPC, *Scheda i sintesi per la verifica sismica di Livello 1 o di Livello 2 per gli edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di eventi sismici*.

3 FASE 2: DEFINIZIONE DEL MODELLO E VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA SISMICA

L'obiettivo della Fase 2 è la valutazione della resistenza sismica definita convenzionalmente dai moltiplicatori PGA_{CO} , PGA_{DS} , PGA_{DL} (solo gli ultimi due per le costruzioni di muratura) corrispondenti agli stati limite di interesse.

La definizione del modello, o dei modelli, utilizzati per la valutazione della resistenza sismica con gli indicatori del paragrafo 1.1 richiede ulteriori approfondimenti della conoscenza acquisita nella

Fase 1. E' infatti necessario rendere disponibile la descrizione geometrica completa e caratterizzare sia la tipologia dei materiali impiegati ed i loro parametri meccanici, sia, quando presenti, la quantità e la disposizione delle armature. Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali. Le modalità per definire la geometria ed ottenere i dati richiesti riguardanti dettagli strutturali e proprietà dei materiali sono sintetizzate nella Tab. 11.1 dell'OPCM 3431/2005, per gli edifici di c.a. e acciaio, e nella Tab. 11.5.1 dello stesso allegato per le strutture di muratura.

Nel Cap. 11 del citato allegato (una sintesi è riportata in Appendice), sono previsti tre livelli di conoscenza: *limitata*, LC1; *adeguata*, LC2; *accurata*, LC3. Ogni livello è associato alla combinazione della descrizione della geometria della struttura, dal livello del rilievo dei dettagli costruttivi e delle prove sui materiali (verifiche *limitate*, *estese* ed *esaustive*). Ad ogni livello di conoscenza è associato un *fattore di confidenza* ($FC \geq 1$). Il fattore di confidenza divide le resistenze medie dei materiali (o moltiplica le resistenze degli elementi duttili collegati a quelli fragili) per tener conto delle incertezze connesse al diverso livello di conoscenza acquisito.

Le valutazioni previste per il Livello 1 (par. 1.2.1) richiedono il livello di conoscenza LC1; Quelle del Livello 2, richiedono un livello di conoscenza superiore. Le verifiche devono essere almeno pari a quelle minime previste al Cap. 11 dell'OPCM 3431/2005: qui vengono ricordati i criteri generali ai quali attenersi per l'effettuazione di prove in situ e verifiche. Saggi e indagini supplementari, anche del tipo meno invasivo, possono portare alla maggiore accuratezza di descrizione auspicabile in assenza di elaborati progettuali originali.

Le indagini si avvalgono di strumenti di indagine che vanno dal non invasivo, al parzialmente invasivo fino al distruttivo. Tra i primi si ricordano: il pacometro (individuazione di armature), lo sclerometro (resistenza del calcestruzzo), ultrasuoni (resistenza del calcestruzzo), georadar (spessori, organizzazione interna delle murature). Per rilevare diametri delle armature o per descrivere l'aspetto esterno delle murature è di solito sufficiente asportare lo strato superficiale dell'intonaco: ciò comporta una parziale distruzione di superfici limitate dell'edificio. I carotaggi comportano distruzione di porzioni localizzate delle strutture e, soprattutto, l'impiego di ingombranti attrezzature che interferiscono con gli ambienti e le attività che in essi si svolgono.

Particolare attenzione deve essere rivolta all'interpretazione dei risultati delle indagini: vale la regola che man mano che l'indagine è più invasiva, maggiore è la prudenza nell'utilizzo dei risultati. D'altra parte, le prove meno invasive possono essere utilizzate in modo più ampio, per incrementare il valore statistico dei risultati ottenuti.

3.1 EDIFICI DI CEMENTO ARMATO

Se sono disponibili disegni di carpenteria originali il rilievo visivo può essere effettuato a campione; in caso contrario si deve procedere ad un rilievo ex-novo.

I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, devono consentire la definizione di un modello strutturale adeguato al tipo di analisi prevista.

Travi e pilastri di ogni piano devono essere catalogati, individuando e descrivendo, se riscontrabili, eventuali situazioni ripetitive: ciò consente di considerare più ampia la percentuale di controlli effettuati su alcuni elementi strutturali che fanno parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.

Tutte le tamponature, comprese le tramezzature interne prive di aperture, devono essere catalogate se è previsto il loro inserimento nel modello di calcolo (v. punto a) di par.1.2.1). I saggi devono fornire, oltre alle informazioni sulla geometria e sulle caratteristiche tipologiche e meccaniche dei materiali, indicazioni sui collegamenti tra tamponatura e maglia del telaio.

La disposizione delle armature longitudinali e trasversali viene dapprima definita a campione mediante pacometro: le informazioni, insieme a quelle del progetto se disponibile, sono utilizzate per il catalogo di travi e pilastri. Dopo aver pianificato il numero dei rilievi sugli elementi strutturali (è consigliabile fissare maggior attenzione ai pilastri) si procede quindi a saggi veri e propri, scoprendo le armature con asportazione del copriferro in senso perpendicolare alle armature da definire: longitudinale, per controllare diametro ed interasse delle staffe; trasversale, per controllare numero, diametro e tipo dei ferri longitudinali.

Per l'effettuazione delle prove volte a definire le caratteristiche meccaniche delle armature vale quanto indicato in Tab. 2a del Cap. 11 dell'OPCM 3431/2005, con l'avvertenza che il numero dei provini deve essere adeguato alle caratteristiche di omogeneità dei materiali. In tal senso, è opportuno prevedere l'effettuazione di una seconda campagna di prove integrative, nel caso in cui i risultati della prima risultino fortemente disomogenei.

Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo devono essere determinate confrontando quelle ottenuto con il metodo SONREB (sclerometro+ ultrasoni) con quelle da carote.

Se nella Fase 1 sono stati rilevati stati fessurativi o indici di dissesti, è necessario eseguire alcuni controlli per controllarne estensioni e cause.

3.2 EDIFICI DI MURATURA

La conoscenza della geometria strutturale degli edifici esistenti di muratura deriva di regola da operazioni di rilievo, essendo il progetto disponibile solo per gli edifici più recenti.

Il rilievo deve essere fatto in ogni piano per consentire almeno la rappresentazione: di tutti gli elementi in muratura e di eventuali nicchie, cavità, canne fumarie; il rilievo delle volte (spessore e profilo); dei solai e della copertura (tipologia e orditura); delle scale (tipologia strutturale); la individuazione dei carichi gravanti su ogni elemento di parete; la tipologia delle fondazioni. La rappresentazione dei risultati del rilievo verrà effettuata attraverso piante, alzati e sezioni (almeno due di queste ultime, in direzioni ortogonali, ma comunque in numero sufficiente a dare la descrizione completa della struttura resistente).

I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- a) qualità del collegamento tra pareti verticali;
- b) qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- c) esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- d) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- e) presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- f) tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza collegamenti trasversali, ...), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, ...).

L'impiego di metodi non invasivi (georadar, per esempio) può fornire indicazioni preliminari su spessori ed organizzazione delle pareti, indirizzando le successive indagini che, di norma, sono invasive o parzialmente invasive:

- rimozione di larghe porzioni ($1 \times 1 \text{ m}^2$) di intonaco per controllare il tipo di apparato murario e /o la qualità degli ammorsamenti (tra muri ortogonali; tra solai e pareti);
- microcarotaggi per indagini endoscopiche;
- carotaggi per l'estrazione di campioni di organizzazione interna delle pareti

Le tipologie delle murature presenti devono essere associate a quelle previste nell'abaco in appendice.

Nel caso di verifiche in situ limitate (Livello 1) i dettagli costruttivi di cui ai punti a) e b) possono essere valutati anche sulla base di una conoscenza appropriata delle tipologie dei solai e della muratura. In assenza di un rilievo diretto, o di dati sufficientemente attendibili, dovranno comunque essere assunte, nelle successive fasi di modellazione, analisi e verifiche, le ipotesi più cautelative.

Nel caso di indagini in-situ *estese*: (Livello 2) le indagini di cui al punto precedente devono essere effettuate in maniera estesa e sistematica, con saggi superficiali ed interni per ogni tipo di muratura presente. La corrispondenza della muratura alle tipologie definite nella tabella 11.D.1 dell'Allegato 11.D, deve essere verificata mediante prove con martinetto piatto doppio e prove di caratterizzazione della malta (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato...), e eventualmente di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) sono richieste. E' richiesta una prova per ogni tipo di muratura presente. Metodi di prova non distruttivi (prove soniche, prove sclerometriche, penetrometriche per la malta, ...) possono essere impiegati a complemento delle prove richieste. Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei

conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sull'edificio oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altri edifici presenti nella zona dell'edificio.

I criteri per determinare i valori medi dei parametri meccanici da utilizzare nel modello numerico sono riportati nel par. 11.5.3 dell'OPCM 3431/2005.

3.3 STRUTTURE E TERRENO DI FONDAZIONE

Anche in presenza di elaborati progettuali è opportuno indagare gli elementi di fondazione per verificare, o definirne il tipo e la geometria, la profondità del suo piano di posa e le caratteristiche del terreno sottostante.

Il numero e l'accuratezza delle indagini, scavi e carotaggi, dipende dalla completezza della documentazione già disponibile, dalla presenza di dissesti imputabili a problemi di fondazione, assetto geomorfologico (fondazioni su piani diversi, terreni in pendenza).

L'OPCM 3431/2005 non fornisce indicazioni specifiche sulla determinazione delle caratteristiche del terreno di fondazione che può modificare il moto superficiale del suolo: si possono avere effetti di amplificazione e variazioni delle forme spettrali previste nell'ordinanza, così che ne risulta modificata l'azione sulla struttura. Il problema è complesso e, in assenza di studi specifici, per la definizione dell'azione sismica (par. 3.2.2 dell'OPCM 3431/2005) si devono utilizzare i dati ottenuti sulla base delle categorie di suolo elencate al par. 3.1 dell'ordinanza. Deve essere cura del progettista verificare (in presenza di situazioni dubbie o indagini già effettuate nella zona limitrofe) la sufficiente attendibilità delle accelerazioni ottenute con la procedura dell'ordinanza.

3.4 VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA SISMICA

Il calcolo della resistenza sismica corrispondente agli stati limite di interesse è condotto utilizzando uno o più modelli adeguati al livello di analisi scelto (par. 1.2). L'esigenza di utilizzare più modelli può scaturire:

- dall'incertezza sul valore di qualche parametro; per esempio, una forte dispersione dei dati ricavati con le indagini suggerisce l'opportunità di definire due o più modelli, variando il valore numerico di qualche parametro, ed inquadrare così il campo all'interno del quale verosimilmente si colloca la soluzione più affidabile;
- dalla necessità di valutare l'influenza delle tamponature; il confronto tra le soluzioni ottenute con un modello a maglie vuote ed uno, o più, con le tamponature consente di apprezzare l'effetto delle stesse.

I metodi di analisi sono quelli riportati nel par. 1.2, al quale si rimanda per le precisazioni necessarie. Ma sembra doveroso ricordare che i risultati di un modello forniscono la risposta del modello e non della struttura: è compito e responsabilità dell'analizzatore valutare se il modello è in grado di descrivere, con soddisfacente approssimazione, la risposta della struttura vera.

4 FASE 3: SINTESI DEI RISULTATI

Il lavoro svolto deve essere sintetizzato in un rapporto finale costituito da relazioni specifiche e disegni riguardanti:

1. Storia amministrativa e tecnica dell'edificio (v. par. 2.1); ove possibile deve essere fornita, oltre all'elenco ed alla descrizione della documentazione esaminata, copia digitalizzata della stessa;
2. Descrizione geometrica e descrizione particolareggiata degli elementi strutturali (dimensioni, armature, caratteristiche meccaniche misurate e adottate), su copia cartacea e digitalizzata (disegni in formato dwg/dxf);

3. Documentazione fotografica e disegni con indicazione dei punti di scatto fotografico, su copia cartacea e digitalizzata;
4. Indagini effettuate, con indicazione su disegni delle posizioni delle prove, e risultati ottenuti (dimensioni degli elementi, spessori, diametri delle armature, caratteristiche meccaniche dei materiali, ecc.). E' necessario indicare il soggetto che ha effettuato le prove, la strumentazione utilizzata e le modalità di prova. Su supporto cartaceo e digitalizzato.
5. Descrizione del modello/i adottato/i, con riferimento al livello di analisi utilizzato, precisando le caratteristiche del software utilizzato: schemi (cartaceo e digitalizzato) e file (digitalizzato);
6. Valutazione della resistenza e degli indicatori di rischio corrispondenti (par. 1.1), con l'indicazione degli eventuali intervalli di variazione conseguenti all'adozione di più modelli e la segnalazione di fattori che possono modificare i valori calcolati: su supporto cartaceo e digitalizzato (doc);
7. Scheda riepilogativa DPC, *Scheda i sintesi per la verifica sismica di Livello 1 o di Livello 2 per gli edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di eventi sismici*; su supporto cartaceo e digitalizzato (doc)