



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 O.P.C.M. n. 3274/2003***

(D.P.C.M. 21 Ottobre 2003 - O.P.C.M. n. 3362/2004 – D.G.R.A. n. 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 D.G.R.A. n. 721/2006

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

(BOZZA v. GIUGNO 2007 - soggetta a presa d'atto da parte della Giunta Regionale)

Documento redatto da

Giovanni C. BEOLCHINI, Agostino GORETTI, Emilio D. IANNARELLI

Coordinamento tecnico-amministrativo

Vincenzo ANTENUCCI

Dirigente del Servizio Previsione e Prevenzione dei Rischi 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'O.P.C.M. n. 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, contiene le 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'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003, e regolamentate con il D.P.C.M. del 21 Ottobre 2003, e le modalità per raggiungerli.

Le indicazioni tecniche citate nel testo, sono costituite dai richiami normativi e dai chiarimenti sui metodi di analisi (semplificati, non lineari, cinematici), illustrati durante il corso di formazione specialistica organizzato dalla regione Abruzzo e disponibili on-line all'indirizzo <http://www.regione.abruzzo.it/xProtCiv> nella sezione “Normativa e Documenti”.

INDICE

INTRODUZIONE	1
1 LA VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA SISMICA	3
1.1 Definizione del Rischio.....	3
1.2 Livelli di Analisi e Corrispondenti Metodi	5
1.2.1 Livello 1.....	5
1.2.2 Livello 2	6
2 FASE I: RACCOLTA DATI E INDAGINI PRELIMINARI	8
2.1 Raccolta Dati.....	8
2.2 Ricognizione Visiva e Rilievo Diretto	9
2.3 Sintesi dei Risultati dell'Indagine Preliminare	10
3 FASE II: DEFINIZIONE DEL MODELLO E VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA SISMICA	11
3.1 Edifici di Cemento Armato.....	11
3.2 Edifici di Muratura.....	12
3.3 Strutture e Terreno di Fondazione.....	13
3.4 Valutazione della Resistenza Sismica.....	14
4 FASE III: SINTESI DEI RISULTATI	16

INDICAZIONI TECNICHE

Le indicazioni tecniche, disponibili all'indirizzo <http://www.regione.abruzzo.it/xProtCiv>, forniscono approfondimenti sui seguenti temi:

Sintesi delle prescrizioni per gli edifici esistenti di cemento armato previsti dall'O.P.C.M. n.3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i. (vedi Materiale Didattico on-line)

Sintesi delle prescrizioni per gli edifici esistenti di muratura previsti dall'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i. (vedi Materiale Didattico on-line)

La valutazione semplificata della resistenza di piano per edifici di cemento armato (progetto SAVE, Task 2, Dolce&Moroni, 2005) (vedi Materiale Didattico on-line : file *progetto SAVE*)

La valutazione semplificata della resistenza di piano per edifici di muratura (progetto SAVE, Task 2, Dolce&Moroni, 2005) (vedi Materiale Didattico on-line : file *progetto SAVE*)

L'analisi statica non lineare per le strutture di cemento armato, come prevista dall' O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i. (vedi on-line su "Normativa e Documenti" – *Ordinanze*)

L'analisi statica non lineare per le strutture di muratura, come prevista dall' O.P.C.M. N. 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i. (vedi on-line su "Normativa e Documenti" – *Ordinanze*)

L'analisi cinematica lineare per le strutture esistenti di muratura, come prevista dall' O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i. (vedi on-line su "Normativa e Documenti" – *Ordinanze*)

INTRODUZIONE

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003 (O.P.C.M. n. 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 due seguenti tipologie di opere esistenti:

- 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 dello stato di sicurezza sismica, indicata anche come verifica dell'adeguatezza sismica, ha lo scopo di determinare il livello di accelerazione al suolo per la quale si raggiungono prefissati stati limiti di riferimento. La verifica di adeguatezza può essere condotta con diversi livelli di accuratezza, ma in ogni caso devono essere garantiti il rispetto dei 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 del livello di adeguatezza 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:

- O.P.C.M. n. 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'O.P.C.M. n. 3431 del 3 Maggio 2005 (G.U. n. 107 del 10.5.2005, S.O. n. 85, nel seguito O.P.C.M. n. 3431/2005).
- D.P.C.M. 21.10.2003 (G.U. 29.10.2003, n. 252, nel seguito D.P.C.M./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, per quanto riguarda la definizione degli indicatori di rischio;
- O.P.C.M. N. 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 al punto 11.1 dell'Allegato 2 dell'O.P.C.M. n. 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'O.P.C.M. n. 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 indicazioni tecniche, 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:

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

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

dove:

- $PGA_{2\%}$ accelerazione al suolo attesa con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni;
- $PGA_{10\%}$ accelerazione al suolo attesa con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni;
- $PGA_{50\%}$ accelerazione al suolo attesa con probabilità di eccedenza del 50% in 50 anni;
- γ_I coefficiente di importanza della struttura;
- S coefficiente di amplificazione stratigrafica;
- S_T coefficiente di amplificazione topografica;
- PGA_{CO} accelerazione stimata di collasso della struttura;
- PGA_{DS} accelerazione stimata di raggiungimento dello stato limite di danno severo;
- PGA_{DL} accelerazione stimata di raggiungimento dello stato limite 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 di eccedenza del 10% in 50 anni, in assenza di più accurate determinazioni, è da assumere pari a quella indicata al par. 3.2.1 dell'O.P.C.M. N. 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 (es. INGV, 2006); ma le differenze non possono essere superiori al 20% dell'accelerazione riportata in Tab. 1.1 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 di eccedenza del 50% in 50 anni può essere ottenuta dividendo per 2.5 la $PGA_{10\%}$ di Tab. 1.1 (cfr. par. 2.2 dell'O.P.C.M. n. 3431).

In assenza di più accurate determinazioni l'accelerazione al suolo $PGA_{2\%}$ attesa con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni può essere ottenuta moltiplicando per 1.5 la $PGA_{10\%}$ di Tab. 1.1 (cfr. par. 11.2.5.3 dell'O.P.C.M. n. 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 di verifica, 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.

Per tutte le opere strategiche o rilevanti in caso di collasso di competenza della Regione Abruzzo, verranno effettuate verifiche di Livello 1. Per i soli ospedali verranno effettuate anche verifiche di Livello 2, concordando con il Tavolo Tecnico le modalità dell'analisi nel caso di irregolarità strutturali.

Nel seguito sono sinteticamente elencate le modalità operative corrispondenti ai due livelli, differenziandoli per strutture di cemento armato e muratura, integrando quanto riportato nel D.P.C.M. 21.10.2003.

1.2.1 Livello 1

Le verifiche di Livello 1 sono quelle condotte con uno dei metodi di analisi lineare. E' consentito un livello di conoscenza limitato LC1 (vedi Cap. 3). E' richiesta l'attribuzione ad una delle categorie di suolo descritte nell'O.P.C.M. n. 3431/2005, secondo quanto descritto nel paragrafo 4.3 .

a) edifici di cemento armato

Si procederà alle verifiche ricorrendo al livello di conoscenza limitata (LC1) ai sensi del par. 11.2.3.3 di O.P.C.M. n. 3431/2005. Prove e verifiche in situ sono quelle previste per detto livello di conoscenza.

Nei casi stabiliti dall'O.P.C.M. n. 3431/2005 è possibile impiegare l'analisi statica lineare, negli altri casi sarà impiegata l'analisi dinamica lineare. E' consentito considerare due modelli piani separati, uno per ogni direzione principale, considerando gli effetti dell'eccentricità accidentale come specificato nell'O.P.C.M. n. 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.

Le caratteristiche del modello, l'azione sismica e le relative verifiche saranno congruenti con il metodo di analisi adottato secondo quanto contenuto nell'O.P.C.M. n. 3431/2005 e s.m.i..

b) edifici di muratura

Si procederà alle verifiche ricorrendo al livello di conoscenza limitata (LC1) ai sensi del par. 11.2.3.3 di O.P.C.M. n. 3431/2005. Prove e verifiche in situ sono quelle previste per detto livello di conoscenza.

Si procede alle verifiche ricorrendo a rilievo sommario e a verifiche in situ limitate (punto 11.5.2 di O.P.C.M. n. 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'O.P.C.M. n. 3431/2005, quando, oltre alle condizioni ivi prescritte, risulti verificato quanto segue (punto 11.5.10 dell'O.P.C.M. n. 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'O.P.C.M. n. 3431/2005.

Negli altri casi si ricorre all'analisi lineare statica, secondo quanto descritto punto 8.1.5.2 dell'O.P.C.M. n. 3431/2005, o all'analisi dinamica lineare.

La rigidezza degli elementi deve essere valutata considerando la deformabilità a taglio ed a flessione.

Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate come previsto ai punti 8.1.6 e 8.2.2 dell'O.P.C.M. n. 3431/2005.

Oltre alle verifiche di cui sopra devono essere effettuate quelle previste nell'Allegato 11.C dell'O.P.C.M. n. 3431/2005, considerando, almeno, quelle corrispondenti all'Analisi Cinematica Lineare.

c) procedura per il calcolo di PGA_{DL} , PGA_{DS} e PGA_{CO}

Il calcolo delle PGA corrispondenti a ciascun stato limite può essere condotta con due metodologie.

La prima prevede analisi multiple, eseguite incrementando in successione la a_g e controllando a valle di ogni analisi il soddisfacimento delle verifiche previste per ciascun stato limite. Il valore di a_g che corrisponde all'ultimo soddisfacimento delle verifiche viene assunto quale PGA dello stato limite correlato.

La seconda metodologia prevede una sola analisi con PGA unitaria. La PGA corrispondente al generico stato limite è il più basso tra i valori dei moltiplicatori dell'effetto sismico (sollecitazione o spostamento) che, aggiunto all'effetto prodotto dai carichi gravitazionali, soddisfa la verifica dello stato limite considerato.

1.2.2 Livello 2

Le verifiche di Livello 2 sono quelle condotte con uno dei metodi di analisi non lineare.

E' richiesto di raggiungere almeno un livello di conoscenza adeguata LC2 (vedi Cap. 3).

Le verifiche di Livello 2 sono comunque precedute dalle verifiche di Livello 1, anche con metodi semplificati. La scheda di sintesi andrà compilata relativamente alle verifiche di Livello 2.

Anche in questo caso si devono determinare i rapporti definiti dalle (1.1) e (2.2) con le accelerazioni PGA_{CO} , PGA_{DS} e PGA_{DL} stimate mediante un'analisi non lineare. Nel caso di analisi statica non lineare, l'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' 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 O.P.C.M. n. 3431/2005. E' necessario determinare la categoria del suolo secondo quanto descritto al paragrafo 4.3.

E' consentito considerare separatamente le azioni nelle due direzioni principali, ma il modello dell'edificio deve essere tridimensionale.

a) edifici di cemento armato

Si procede secondo quanto indicato al punto 4.5.4 dell'O.P.C.M. n. 3431/2005, utilizzando le distribuzioni alternative delle forze indicate al punto 4.5.4.2.

b) edifici in muratura.

E' richiesto un rilievo *completo* e verifiche in situ *estese* (punto 11.5.2 dell'O.P.C.M. n. 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 elastici, 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}).

c) procedura per il calcolo di PGA_{DL} , PGA_{DS} e PGA_{CO}

Una volta calcolata la curva di capacità è possibile determinare il periodo del modello lineare equivalente ad 1 grado di libertà, T^* , e gli spostamenti corrispondenti ai diversi stati limite. La PGA corrispondente a ciascun stato limite può essere ottenuta determinando lo spettro elastico in spostamento di norma, $S_d = \omega^{-2} S_a$, e ricavando a_g per inversione in corrispondenza di T^* e dello spostamento spettrale corrispondente allo spostamento per cui la struttura raggiunge lo stato limite considerato

In alternativa è possibile eseguire più verifiche, incrementando in successione la a_g e controllando a valle di ogni analisi il soddisfacimento delle verifiche previste per ciascun stato limite. Il valore di a_g che corrisponde all'ultimo soddisfacimento delle verifiche viene assunto quale PGA dello stato limite correlato.

2 FASE I : RACCOLTA DATI E INDAGINI PRELIMINARI

La Fase I 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 II. 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'O.P.C.M. n. 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'O.P.C.M. n. 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'O.P.C.M. n. 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 di 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 II : DEFINIZIONE DEL MODELLO E VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA SISMICA

L'obiettivo della Fase II è la valutazione della resistenza sismica definita convenzionalmente ai valori di 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 I. 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'O.P.C.M. n. 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. FC divide anche le resistenze caratteristiche degli elementi fragili.

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 indagini devono essere almeno pari a quelle minime previste al Cap. 11 dell'O.P.C.M. n. 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 meno invasiva è l'indagine, 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 descritte in termini di parametri geometrici e meccanici, 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 originario se disponibile, o del progetto simulato, 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'O.P.C.M. n. 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 I sono stati rilevati stati fessurativi o indici di dissesti, è necessario eseguire alcuni controlli per controllarne estensioni e cause.

Ai soli fini del livello di conoscenza raggiunto, i nodi delle strutture in ca possono non essere considerati elementi primari, se si assumono privi di armatura oltre quella passante di travi e pilastri concorrenti

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). 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'O.P.C.M. n. 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).

Le conoscenze sui terreni e sul sito di fondazione saranno finalizzate alla determinazione delle proprietà meccaniche del terreno, alla possibilità o meno di fenomeni cosismici ed alla determinazione del tipo di spettro da adottare nelle analisi.

L'O.P.C.M. n. 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'O.P.C.M. n. 3431/2005) si devono utilizzare i dati ottenuti sulla base delle categorie di suolo elencate al par. 3.1 dell'ordinanza. E' inoltre necessario

stabilire se si è in presenza di situazioni che non permettano di fare riferimento alle categorie di suolo alle quali sono associati spettri definiti dalla norma (da A ad E), ma richiedano studi particolari.

L'attribuzione del sito ad una delle categorie di suolo di norma, la selezione delle proprietà meccaniche dei terreni e l'eventuale presenza di fenomeni franosi o di fagliazione superficiale potrà anche basarsi su idonei studi preesistenti o su carte geologico-tecniche già disponibili, senza necessariamente far ricorso a prove sperimentali di caratterizzazione del terreno. In questo caso il Beneficiario del contributo ed il progettista, congiuntamente, valuteranno l'attendibilità dei dati esistenti e l'opportunità di ricorrere a prove in situ sui terreni, tenuto anche conto del costo convenzionale di verifica.

Nel caso vengano effettuate prove sui terreni, andrà coinvolta la figura del Geologo, che, laddove interessato, dovrà redigere una relazione che sarà parte integrante della Verifica Tecnica.

Nel caso non siano disponibili informazioni attendibili sui terreni di fondazione, sarà necessario effettuare almeno prove penetrometriche o sismiche.

3.4 VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA SISMICA

Il calcolo della PGA corrispondente al raggiungimento degli stati limite di interesse è condotto utilizzando uno o più modelli adeguati al livello di analisi scelto (par. 0). 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. 0, al quale si rimanda per le precisazioni necessarie. E' doveroso, tuttavia, 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.

Ai fini della compilazione della scheda di sintesi, il professionista incaricato selezionerà il modello, ed i relativi risultati, ritenuto più rappresentativi.

4 SEMPLIFICAZIONI PER EDIFICI DI MODESTA CUBATURA

Per edifici il cui costo convenzionale della verifica non supera i **5.000 Euro** e comunque per edifici con un numero di piani non superiore a 4, è consentita l'analisi con modelli di calcolo approssimati, quali quelli che considerano solo alcuni meccanismi di danno, quando sia possibile dimostrare, anche in via semplificata, che i meccanismi non considerati sono ininfluenti ai fini della valutazione (*si citano, ad esempio, i programmi VM o VCA disponibili, insieme alle ipotesi di calcolo, sul sito www.reluis.unina.it*).

Per quanto riguarda le caratteristiche dei materiali ed i dettagli costruttivi è consentito derogare dai minimi quantitativi di indagini previsti dalle norme, quando sia possibile raggiungere la convinzione che sono stati appropriatamente considerati gli aspetti che influenzano significativamente la determinazione del livello di adeguatezza. Ad esempio possono essere assunti dettagli costruttivi ragionevoli e documentabili, comprovati da limitate verifiche dirette a campione, anche con tecniche non distruttive. Quanto sopra è ancor più giustificato nel caso in cui siano chiaramente identificati alcuni elementi primari che condizionano la capacità, mentre gli altri sono sostanzialmente ininfluenti. In tal caso le indagini possono essere limitate ai primi.

E', in generale, possibile la classificazione dei suoli a partire da informazioni reperite in situ e da carte geologiche-tecniche.

Sono esclusi da questa semplificazione tutti gli edifici scolastici di qualunque volumetria o elevazione in altezza.

5 FASE III : 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 della geometria e degli elementi strutturali (dimensioni, armature, caratteristiche meccaniche misurate e adottate), su copia cartacea e digitalizzata (disegni in formato dwg/dxf), nel limite di quanto redatto per il calcolo di verifica sismica;
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). Nel caso vengano adottati più modelli di calcolo, nella scheda di sintesi si riporteranno i risultati del modello ritenuto più rappresentativo;
8. Scheda di I e II livello GNDT.