

Lorenzo Longhi

SICUREZZA SISMICA METODI DI CONTROLLO

**CASI DI STUDIO E SCHEDE DI SINTESI
PER UN CONTROLLO CONSAPEVOLE DELLA PROGETTAZIONE**



SOFTWARE INCLUSO

SCHEDE DI SINTESI PER CONTROLLARE I PRINCIPALI ASPETTI
DELLA PROGETTAZIONE STRUTTURALE ESECUTIVA

Glossario (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),
Test iniziale (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)




GRAFILL

Lorenzo Longhi

SICUREZZA SISMICA: METODI DI CONTROLLO

ISBN 13 978-88-8207-535-4

EAN 9 788882 075354

Manuali, 148

Prima edizione, luglio 2014

Longhi, Lorenzo <1981->

Sicurezza sismica : metodi di controllo / Lorenzo Longhi.

– Palermo : Grafill, 2014.

(Manuali ; 148)

ISBN 978-88-8207-535-4

1. Costruzioni antisismiche.

693.852 CDD-22

SBN Pal0270918

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il presente volume è **disponibile anche in versione eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con conto corrente postale, bonifico bancario, carta di credito e paypal. Per i pagamenti con carta di credito e paypal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno smartphone o un tablet il codice QR sottostante.



I lettori di codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di luglio 2014

presso **Tipolitografia Luxograph S.r.l.** Piazza Bartolomeo Da Messina, 2/e – 90142 Palermo

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

INDICE

PREFAZIONE	p.	1
1. L'EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA	"	3
1.1. CNR 10024/1986.....	"	3
1.2. D.M. 16 gennaio 1996.....	"	4
1.3. O.P.C.M. n. 3274/2003.....	"	5
1.4. D.M. 14 settembre 2005.....	"	5
1.5. D.M. 14 gennaio 2008 e Circolare applicativa n. 617/2009.....	"	7
1.6. Codice dei contratti pubblici e Regolamento attuativo.....	"	8
1.7. Normative europee e internazionali.....	"	10
1.8. Considerazioni finali.....	"	11
2. PROGETTAZIONE STRUTTURALE		
E USO DEL SOFTWARE	"	13
2.1. Fasi progettuali: scelta del sistema.....	"	13
2.2. Creazione del modello.....	"	14
2.3. Impostazione del calcolo.....	"	17
2.4. Controllo dei risultati.....	"	25
2.5. Verifiche sugli elementi e redazione degli elaborati.....	"	29
3. INTERVENTI DI NUOVA COSTRUZIONE	"	31
3.1. Aspetti generali e geotecnici.....	"	31
3.2. Costruzioni di calcestruzzo.....	"	34
3.3. Costruzioni in acciaio.....	"	49
3.4. Costruzioni in muratura.....	"	56
3.5. Prefabbricati industriali.....	"	61
3.6. Costruzioni in legno.....	"	66
4. INTERVENTI SULLE COSTRUZIONI ESISTENTI	"	70
4.1. Interventi di miglioramento con soglia.....	"	72
4.2. Interventi di adeguamento.....	"	74
4.3. Interventi di miglioramento sismico.....	"	79
5. INTERVENTI LOCALI SULLE COSTRUZIONI ESISTENTI	"	86
5.1. Cerchiature in acciaio.....	"	86
5.2. Rinforzi con betoncino armato.....	"	101

5.3.	Modifiche o creazione di solai	p.	102
6.	OPERE GEOTECNICHE E INFRASTRUTTURALI	"	106
6.1.	Muri di sostegno	"	106
6.2.	Paratie	"	112
7.	CONCLUSIONI	"	114
7.1.	Cosa non sono le schede	"	115
7.2.	Cosa sono le schede	"	116
8.	SCHEDE DI CONTROLLO	"	118
8.1.	Scheda "Nuova costruzione edifici in calcestruzzo"	"	119
8.2.	Scheda "Nuova costruzione edifici in acciaio"	"	119
8.3.	Scheda "Nuova costruzione edifici in muratura"	"	124
8.4.	Scheda "Nuova costruzione edifici prefabbricati in calcestruzzo"	"	127
8.5.	Scheda "Nuova costruzione edifici in legno"	"	127
8.6.	Scheda "Edifici esistenti in calcestruzzo"	"	132
8.7.	Scheda "Edifici esistenti in acciaio"	"	135
8.8.	Scheda "Edifici esistenti in muratura"	"	138
8.9.	Scheda "Cerchiature in acciaio"	"	138
8.10.	Scheda "Muri di sostegno"	"	142
8.11.	Scheda "Paratie"	"	145
8.12.	Scheda esempio	"	145
9.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO	"	149
9.1.	Introduzione	"	149
9.2.	Requisiti minimi hardware e software	"	149
9.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione	"	149
9.4.	Installazione ed attivazione del software	"	150
	BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE	"	151

PREFAZIONE

Le attività tipiche che si svolgono durante la progettazione strutturale sono notevolmente cambiate negli ultimi anni, sia per l'evolversi degli strumenti di calcolo, software e hardware, sia per il rapido susseguirsi di normative tecniche. Se si aggiunge che gli standard di progettazione richiesti agli ingegneri e agli architetti tendono sempre ad aumentare mentre le tariffe professionali, anche per la non facile situazione macroeconomica, sono in costante calo, si può facilmente comprendere come in alcuni casi il risultato della attività del progettista possa non essere ottimale, anche e soprattutto per i motivi sopra riportati.

Una corretta e affidabile progettazione strutturale rimane comunque il requisito fondamentale e imprescindibile per la sicurezza delle costruzioni e la salvaguardia della pubblica incolumità. Tale esigenza è riportata esplicitamente nella normativa che impone verifiche sulla correttezza delle ipotesi assunte e sull'affidabilità dei risultati del progetto.

La conseguenza di errate ipotesi può portare infatti a un incremento dei costi di costruzione o peggio a una minore sicurezza o durabilità della stessa: per tali motivi negli ultimi decenni sono stati proposti, dalle norme e in letteratura, metodi di verifica o validazione dei risultati della progettazione, specie se eseguita con l'ausilio di un programma agli elementi finiti. Non sempre infatti sarà possibile effettuare elaborazioni indipendenti da parte di soggetti terzi alla progettazione, né è certo che gli elaborati progettuali vengano controllati dalle strutture statali o regionali competenti, per cercare di eliminare eventuali errori del progettista, che in caso di sisma saranno inevitabilmente i punti deboli della costruzione.

Il testo in redazione si propone quindi di proporre **un metodo**, tra i tanti possibili, personalizzabile dal progettista per il controllo della correttezza delle analisi compiute, con particolare enfasi riguardo alla sicurezza sismica.

Saranno trattati i controlli, eseguibili con metodi semplificati come disposto dalla norma, eseguibili in fase di predimensionamento o a valle della progettazione sia da parte degli progettisti, sia da parte dei ingegneri impiegati nel controllo nelle strutture preposte, sia da parte del RUP negli appalti pubblici sia da parte del collaudatore.

Per poter trattare l'argomento in maniera efficace verranno presentati, per tipologia di intervento, casi tipici con esempi in grado di illustrare quali siano i controlli maggiormente significativi. I casi di studio trattati evidenzieranno alcune criticità riscontrate che hanno comportato modifiche alla progettazione: in tale modo sarà chiara l'importanza di condurre tali verifiche durante o almeno a valle della progettazione.

I casi studio riportati sono presentati attraverso la descrizione della struttura dell'edificio, con piante, sezioni o particolari costruttivi, con indicati gli elementi su cui riporre maggiormente l'attenzione.

I casi proposti sono emblematici poiché, come linea guida nella redazione del testo, è stato scelto di illustrare solo quegli errori riscontrati nell'esame di progetti più volte, quindi tipici e

ricorrenti e/o commessi dall'autore stesso e risolti in fase di "autocontrollo" della propria attività progettuale. Verranno riportate pertanto le obiezioni standard effettuabili nel controllo della progettazione strutturale per gli esempi illustrati, evidenziando le conseguenze e le modalità per eliminare o cercare di mitigare gli errori commessi.

Una volta terminata l'analisi dei casi studio significativi per tipologia, verranno proposte alcune schede sintetiche, possibili **checklist** di controllo, utili al progettista/collaudatore/RUP, sul modello di quelle usate realmente nel controllo della progettazione.

Illustrando agli ingegneri e agli architetti come potrebbe essere effettuata realmente l'istruttoria di verifica sui loro progetti, il testo si propone di indirizzarli efficacemente e di guidarli verso un modo di progettare più efficace: l'attenzione si focalizza infatti su errori tipici della progettazione e sul modo di individuarli **prima** di iniziare la costruzione, con conseguente risparmio di tempi e costi.

L'EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA

Nella normativa tecnica italiana, sono sempre stati presenti richiami, più o meno dettagliati, contenenti indicazioni sulle modalità di redazione delle relazioni di calcolo e sulla impostazione generale della progettazione strutturale.

Nel testo unico per l'Edilizia emanato con decreto del Presidente della Repubblica, tuttora in vigore, sono state riprese pressoché per intero le indicazioni una volta contenute nella Legge n. 1086/1971 che disciplina le opere in conglomerato cementizio armato, precompresso o a struttura metallica, analoghe prescrizioni sono contenute nella legge del 2 febbraio 1974, n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche". In particolare il testo unico, all'articolo 65 obbliga chiunque intenda procedere a tali costruzioni a provvedere alla denuncia preventiva, allegando il progetto "*dal quale risultino in modo chiaro ed esauriente le calcolazioni eseguite, l'ubicazione, il tipo, le dimensioni delle strutture, e quanto altro occorre per definire l'opera sia nei riguardi dell'esecuzione sia nei riguardi della conoscenza delle condizioni di sollecitazione*". Non solo: sarà necessario allegare anche una relazione sui materiali che illustri le caratteristiche, le qualità e le dosature da impiegarsi nella costruzione. Tali obblighi sono stati inseriti, evidentemente, per garantire e cautelare la collettività sulla sicurezza delle costruzioni in calcestruzzo; riguardo alla modalità espositiva viene specificato solamente che questa debba essere chiara ed esauriente, in modo tale da permettere una facile costruzione e la corretta interpretazione dei calcoli condotti.

1.1. CNR 10024/1986

Le istruzioni del 1986 sono state il primo documento organico che ha affrontato il tema della verifica dei risultati delle analisi condotte con il calcolatore, parimenti obiettivo dichiarato del testo è predisporre una impostazione base per la relazione di calcolo in modo tale che questa sia sufficientemente leggibile e i risultati dell'elaborazione ripetibili da terzi. Considerata la data di redazione, si comprende come fosse prioritaria, all'epoca, la verifica dell'affidabilità dei calcoli condotti con il computer, il cui uso responsabile era comunque rimesso al progettista.

Va detto fin dal principio che la maggior parte del testo rimane valida e attuale ancora a oggi al fine di una possibile verifica e validazione dei risultati ottenibili con il metodo FEM. L'impostazione suggerita per la redazione della relazione di calcolo risponde ai requisiti imposti dalla vigente normativa: il D.M. 14 gennaio 2008 trae spunto anche dalle istruzioni.

Nella relazione di calcolo il progettista dovrà specificare le modalità con cui è stato effettuato il calcolo vero e proprio, mettendo in evidenza:

- elementi non collaboranti;
- vincoli;
- sconnessioni;

- carichi applicati;
- combinazioni di carico;
- legame costitutivo dei materiali;
- tipo di analisi.

L'individuazione degli elementi non collaboranti, e quindi la corretta identificazione del sistema resistente, è un aspetto fondamentale che troppo spesso nella progettazione passa in secondo piano, in particolare modo per gli edifici in calcestruzzo, come verrà specificato meglio in seguito.

Analoga attenzione doveva essere posta nell'indicazione del software di calcolo automatico utilizzato, specificando in dettaglio le caratteristiche software e hardware in dotazione al progettista. In particolare la presenza di casi di studio/benchmark validati (riscontri di analisi di semplici situazioni note), del manuale d'uso del software, di un codice di autodiagnostica e dalla capacità di sintetizzare i risultati, magari in forma grafica deve rendere il progettista capace di valutare o meno l'affidabilità dell'analisi condotta.

Infine viene ribadito il compito del progettista, ossia il controllo del corretto comportamento del modello adottato. A tale fine l'attenzione va posta sugli elementi significativi come l'equilibrio dell'intera struttura, la simmetria dei risultati in presenza di sollecitazioni simmetriche, il rispetto delle condizioni di vincolo imposte, la compatibilità degli spostamenti.

A valle di questo controllo potrà essere effettuato il giudizio motivato di accettabilità dei risultati ottenuti dall'elaborazione confrontandoli *«per quanto possibile, come ordine di grandezza, con quelli di semplici calcoli, anche di larga massima, eseguiti con metodi tradizionali e, ad esempio, adottati per il primo proporzionamento della struttura»*. Dovrà altresì essere verificata *«sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni»*. La formulazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni emanate con D.M. 14 gennaio 2008 è analoga.

1.2. D.M. 16 gennaio 1996

Con le norme emanate nel gennaio 1996, con vari decreti, sono state introdotte alcune specifiche verifiche da eseguirsi per le costruzioni in zona sismica, prima non presenti in maniera esplicita nella normativa.

Oltre a una più puntuale precisazione delle verifiche e dei requisiti delle costruzioni, viene affrontato il tema, molto vasto, degli edifici esistenti e vengono definite due tipologie di intervento sul patrimonio edilizio: l'intervento di miglioramento e l'intervento di adeguamento sismico.

Per tali tipologie di intervento su fabbricati esistenti, la normativa in questione fornisce puntuali precisazioni sulla corretta impostazione delle relazioni di calcolo e sulla modalità di redazione delle tavole: il progetto deve essere completo ed esauriente riportando nelle tavole la planimetria, le piante, le sezioni, i particolari esecutivi. I disegni di progetto devono contenere le necessarie informazioni atte a definire le modalità di realizzazione degli interventi nonché la descrizione e la rappresentazione grafica delle eventuali fasi esecutive.

La verifica sismica è tassativa per gli edifici con struttura in cemento armato, metallica ed a pannelli portanti, tali tipologie costruttive necessitano quindi di una maggiore attenzione rispetto agli interventi su fabbricati in muratura.

Per interventi di miglioramento sismico il progetto deve contenere la medesima documentazione prescritta per gli interventi di adeguamento, limitando le indagini alle opere e alle parti di costruzioni interessate. Nella relazione tecnica in ogni caso deve essere dimostrato che gli interventi di progetto non producano sostanziali modifiche nel comportamento strutturale globale dell'edificio. Da rimarcare che la distinzione presente nel D.M. 14 gennaio 2008, tra intervento locale e intervento di miglioramento, non era evidenziata in questa versione della normativa tecnica: il limite tra le due tipologie di intervento non è tuttora ben definito.

A poco più di un anno dall'emanazione, il 10 aprile 1997 il ministero dei Lavori Pubblici pubblicò una circolare denominata "Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche» di cui al D.M. 16 gennaio 1996". Nel testo si trovano precisazioni e istruzioni per la corretta implementazione dei decreti nella progettazione strutturale, vengono definiti dei minimi di armatura per gli elementi strutturali, sono specificati dei requisiti geometrici per travi, pilastri, nodi e pareti. Inoltre viene fatto esplicito riferimento alle istruzioni CNR 10024 per la redazione delle relazioni di calcolo.

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

L'ordinanza della presidenza del consiglio dei ministri n. 3274, del 20 marzo 2003, rappresenta una svolta per la normativa tecnica italiana. La sua impostazione è simile a quella della normativa attuale: entrambe hanno infatti come riferimento gli Eurocodici. Nel testo, oltre alla nuova classificazione sismica dei comuni italiani, viene stabilito, per la prima volta, l'obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei rispettivi proprietari, sia degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso. Le verifiche avrebbero dovuto essere completate entro cinque anni, la scadenza, più volte prorogata, pare essere definitivamente scaduta il 31 marzo 2013.

Essendo un testo prevalentemente tecnico, non si trovano indicazioni particolari sulle modalità di restituzione dei risultati delle analisi o sui contenuti minimi dei progetti esecutivi: tali aspetti infatti sono stati già trattati nelle norme precedenti. Le uniche prescrizioni aggiuntive rispetto a quanto già normato riguardano il possibile utilizzo di isolatori sismici: nell'ambito del progetto si dovrà redigere un piano di qualità riguardante la progettazione del dispositivo, la costruzione, la messa in opera, la manutenzione e le relative verifiche analitiche e sperimentali. I documenti di progetto per la realizzazione di edifici isolati indicheranno i dettagli, le dimensioni e le prescrizioni sulla qualità, come pure eventuali dispositivi di tipo speciale e le tolleranze concernenti la messa in opera. Elementi di elevata importanza, che richiedano particolari controlli durante le fasi di costruzione e messa in opera, saranno indicati negli elaborati grafici di progetto, insieme alle procedure di controllo da adottare.

1.4. D.M. 14 settembre 2005

Per la prima volta viene inserito, nella nuova normativa, un capitolo dedicato esclusivamente alle norme per la redazione dei progetti esecutivi. Il capitolo 10 del D.M. 14 settembre 2005 stabilisce gli elaborati necessari nel progetto delle strutture.

In particolare il progetto sarà composto dai seguenti elaborati:

- Relazione generale;
- Relazioni di calcolo;
- Relazioni sui materiali;
- Relazioni specialistiche necessarie per identificare il valore delle grandezze fisiche, meccaniche e chimiche di tutti i fattori che devono essere individuati per la valutazione della sicurezza e del comportamento dell'opera in progetto: (geologica, geotecnica, idrologica, idraulica, sismica, vento, neve);
- Elaborati grafici, particolari costruttivi;
- Piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti;
- Relazione sui risultati sperimentali sui materiali;
- Relazione sui risultati sperimentali corrispondenti alle indagini specialistiche necessarie alla realizzazione dell'opera.

Viene ribadito che il progettista resta comunque responsabile dell'intera relazione di calcolo.

La *Relazione generale* dovrà contenere tutte le informazioni utili al fine di un rapido inquadramento della costruzione dal punto di vista costruttivo, geologico e funzionale. Dovranno inoltre essere esplicitate la classe della costruzione, la vita di servizio e le prestazioni attese.

La *Relazione di calcolo* dovrà contenere la dimostrazione numerica della sicurezza dell'opera e del raggiungimento della prestazioni attese, i risultati dell'analisi dovranno essere chiaramente interpretabili e intellegibili in modo tale da rendere possibile dimostrare a terzi il rispetto della norma. A tale fine la norma richiede che vengano rappresentati e illustrati in relazione di calcolo i disegni dello schema statico, le dimensioni, i vincoli e le sconnessioni, le caratteristiche sezionali, la disposizione e l'intensità dei carichi, la distribuzione di distorsioni impresse e delle variazioni e dei gradienti di temperatura, le caratteristiche dei materiali e dei legami costitutivi adottati, le combinazioni di carico. Il tutto deve rendere possibile a terzi di sviluppare elaborazioni indipendenti ottenendo risultati compatibili.

Sono dedicati alcuni paragrafi alla presentazione, alla sintesi dei risultati e alle misure della sicurezza degli elementi strutturali: nel caso di verifica automatica delle sezioni degli elementi strutturali occorre indicare, per ciascuna sezione le caratteristiche geometriche, le caratteristiche di sollecitazione ed i risultati corrispondenti. Si deve sottolineare il fatto che, interpretando alla lettera ciò che richiede la normativa, sarebbe necessario presentare la stampa delle verifiche di ogni elemento strutturale, per tutti gli stati limite, senza peraltro poter derogare dal presentare i risultati dell'analisi nella maniera sintetica richiesta nel precedente paragrafo della norma stessa.

Infine vengono recepite le indicazioni contenute nelle istruzioni CNR 10024, inserite nella normativa nel paragrafo 10.7 "*ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO*": le stesse prescrizioni saranno riportate quasi identicamente al paragrafo 10.2 delle nuove norme tecniche per le costruzioni emanate con D.M. 14 gennaio 2008. Ad un attento esame si nota però che nella normativa vigente è stato tolto il paragrafo che prescriveva la verifica che la soluzione ottenuta non sia viziata da errori di tipo numerico, legati all'algoritmo risolutivo ed alle caratteristiche dell'elaboratore: probabilmente è stato ritenuto o un compito troppo complesso per il progettista oppure tali aspetti ritenuti di competenza del fornitore del software, a cui tocca verificare che il suo prodotto non comporti soluzioni inaspettate.

1.5. D.M. 14 gennaio 2008 e Circolare applicativa n. 617/2009

La normativa vigente ha pertanto come presupposto, per la redazione delle relazioni di calcolo e la verifica delle analisi compiute, i riferimenti esaminati precedentemente. Non si condivide pertanto la Circolare applicativa n. 617/2009 quando questa presenta come una novità il paragrafo 10.2 della normativa tecnica relativo alle analisi e verifiche svolte con l'ausilio dei codici di calcolo. Positivo è invece il riferimento al codice dei contratti pubblici e al relativo regolamento di attuazione che contengono notevoli spunti per il controllo della progettazione.

Inoltre, sempre secondo la Circolare applicativa del ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, le indicazioni contenute nella norma potranno essere dei criteri guida per l'esame dei progetti e l'approvazione da parte degli uffici preposti a tale compito, potranno infine fornire utili criteri per la verifica e la validazione dei calcoli.

Tipo di analisi svolta

Chiaramente, per valutare l'affidabilità di un'analisi condotta con il metodo agli elementi finiti, sarà necessario sapere come e con che parametri è stata condotta. Il progettista dovrà valutare criticamente l'esaustività delle combinazioni di calcolo, spiegare la metodologia di verifica degli elementi strutturali, motivare il tipo di analisi condotta se statica, dinamica, lineare o non-lineare. Resta inteso che maggiore è la complessità dell'analisi, e quindi della struttura, maggiori dovranno essere le accortezze da impiegare nello uso del software.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Devono essere chiarite le caratteristiche del codice di calcolo, indicando i casi di prova risolti (benchmark) che ne comprovino la correttezza garantendone anche la riproducibilità.

Affidabilità dei codici utilizzati

Il software deve essere idoneo al caso specifico in questione o i suoi limiti essere noti al progettista, in modo tale che possa correttamente eseguire le verifiche e i calcoli opportuni, in aggiunta o a corredo dell'analisi stessa.

Validazione dei codici

I risultati delle analisi, per opere particolarmente complesse o costose, potranno essere confermati da ulteriori analisi, condotte da un professionista non intervenuto nella progettazione. Sarà possibile altresì ripetere il calcolo con un software diverso. La normativa non specifica però, in maniera esplicita, quali siano i casi in questione, lasciando al committente privato e pubblico la facoltà di richiedere tali verifiche individuando un soggetto terzo.

Modalità di presentazione dei risultati

L'intento del legislatore è quello di non fare coincidere il tabulato di calcolo con la relazione di calcolo, i risultati dovranno essere illustrati in maniera sintetica, completa ed efficace per riassumere il comportamento della struttura. Viene esplicitata la possibilità di riportare parte dei risultati in forma grafica attraverso deformate, forme modali, diagrammi di sollecitazioni, involuipi, isomappe e disegni delle reazioni vincolari. A tali rappresentazioni dovranno essere associati i valori massimi o comunque significativi, al fine di rendere esplicito il soddisfacimento delle verifiche.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il progettista, una volta compiuta l'analisi, dovrà commentare il comportamento della modellazione, per fornire una valutazione complessiva sulla sua correttezza.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

Il paragrafo fornisce indicazioni sulle modalità di validazione dell'analisi condotta, specificando che tali controlli dovranno essere inseriti in relazione di calcolo.

Si riporta per maggior efficacia l'estratto dedicato del paragrafo:

§ 10.2. ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO

Spetta al progettista il compito di sottoporre i risultati delle elaborazioni a controlli che ne comprovino l'attendibilità.

Tale valutazione consisterà nel confronto con i risultati di semplici calcoli, anche di larga massima, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, ad esempio, in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, valuterà la consistenza delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

Nella relazione devono essere elencati e sinteticamente illustrati i controlli svolti, quali verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate, etc.

1.6. Codice dei contratti pubblici e Regolamento attuativo

Il Regolamento di esecuzione e attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163 "*Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE 2004/18/CE*", emanato con D.P.R. n. 207/2010, contiene al suo interno notevoli spunti applicabili per la validazione delle analisi eseguite con il metodo agli elementi finiti e con l'ausilio di un software.

La verifica del progetto appaltato è operazione molto più complessa della validazione di un'analisi di calcolo, il citato regolamento scende in dettaglio illustrando le fasi di verifica, descritte in diversi articoli del regolamento stesso. Tale attività deve accertare la completezza della progettazione, l'appaltabilità della soluzione proposta, la durabilità dell'opera nel tempo.

A seconda dell'importo dei lavori, la verifica della progettazione deve essere condotta da strutture con determinati requisiti: viene correlata dalla norma la qualità della verifica con la qualità della progettazione e dell'opera stessa. Per lavori superiori a 20 milioni di euro, la struttura che svolge l'attività di verifica dovrà essere accreditata, ai sensi della normativa europea, quale Organismo di ispezione di tipo B, mentre per importi inferiori al milione la verifica potrà essere condotta anche dal solo Responsabile del Procedimento.

Modalità di verifica

I criteri generali per la verifica degli elaborati, negli appalti pubblici, sono fissati dal Responsabile del procedimento, mentre nella normativa tecnica per le costruzioni sono specificati, in maniera meno stringente, in appositi capitoli della normativa. Tali criteri devono essere indicati chiaramente nella lettera di incarico e negli atti della gara di appalto: si comprende come sia importante per i progettisti capire in anticipo come verranno giudicati gli elaborati consegnati.

Tale esigenza la si avverte anche durante l'esame dei progetti strutturali depositati ai diversi enti civili sparsi per il territorio.

Sarà necessario verificare in dettaglio per il progetto: l'affidabilità, la completezza e l'adeguatezza, la leggibilità, la coerenza e la ripercorribilità, la compatibilità delle soluzioni proposte.

Affidabilità

Va controllato il rispetto delle normative specifiche utilizzate, per garantire il soddisfacimento dei livelli di sicurezza richiesti dalla normativa. Verranno verificate le ipotesi progettuali di base che dovranno essere coerenti per tutti gli aspetti progettuali: impiantistici, strutturali, architettonici e di sicurezza.

Completezza ed adeguatezza

Il progetto deve essere esaustivo nella descrizione delle opere da realizzarsi, contenendo informazioni tecniche adeguate e sufficienti per la sua realizzazione. Tutti gli elaborati dovranno essere sottoscritti dai professionisti responsabili delle diverse fasi o componenti progettuali.

Leggibilità coerenza e ripercorribilità

Analogamente a quanto richiesto dalle norme tecniche per le costruzioni, la verifica di un progetto nel corso di una gara deve essere possibile e il percorso progettuale chiaramente interpretabile e riproducibile.

Compatibilità

La soluzione progettuale adottata, deve essere rispondente alle normative di settore, tra queste sono menzionati esplicitamente i requisiti di durabilità, di sicurezza rispetto all'incendio e di stabilità delle strutture.

Dettaglio dei controlli

Dopo aver elencato i criteri generali, il regolamento di attuazione entra nel dettaglio dei controlli che devono essere fatti dalla struttura dedicata, in particolare deve essere verificato che:

- le ipotesi ed i criteri assunti alla base dei calcoli siano coerenti con la destinazione dell'opera e con la corretta applicazione delle disposizioni normative e regolamentari pertinenti al caso in esame;
- il dimensionamento dell'opera sia stato svolto completamente e che i metodi di calcolo utilizzati siano esplicitati in maniera tale da risultare leggibili, chiari ed interpretabili;
- i risultati siano congruenti con il contenuto delle tavole e delle prescrizioni prestazionali e capitolari;
- il dimensionamento degli elementi ritenuti più critici, desumibili anche dalla descrizione illustrativa, sia corretto;
- le scelte progettuali costituiscano una soluzione idonea in relazione alla durabilità dell'opera nelle condizioni d'uso e manutenzione previste.

Le verifiche da effettuarsi dovranno essere adeguate al livello progettuale in esame: la loro estensione può essere comunque adattata alla complessità dell'opera. È prevista esplicitamente la possibilità di concentrare l'attenzione su alcuni elementi, quando questi siano ricorrenti nella progettazione e/o rivestano un interesse particolare; potranno essere adottati, a seconda dei casi,

metodi di controllo “a campione” o “a comparazione” quando esistano verifiche già condotte su situazioni simili.

1.7. Normative europee e internazionali

Vale la pena concludere con un esame sommario degli aspetti legati alle verifiche dei calcoli strutturali, rintracciabili nelle normative europee e statunitensi. Per queste ultime si è scelto di esaminare le specifiche richieste dallo stato della California, che spicca per pericolosità sismica e sviluppo tecnologico.

Eurocodici

La principale differenza con la normativa tecnica italiana risiede nell'impostazione stessa della norma: gli Eurocodici prevedono misure premianti a seconda del livello della progettazione (della sua qualità), sarà il committente o il progettista a valutare tale scelta, mentre la norma italiana obbliga ad effettuare controlli, seppur commisurati alla importanza della costruzione.

Tra i principi generali, elencati nella norma EN 1990:2002 e in grado di ridurre la probabilità del collasso, sono elencati una accurata progettazione, un adeguato livello di dettaglio, specifiche procedure di controllo della progettazione, dell'esecuzione e dell'uso e manutenzione della costruzione.

Contromisure capaci di ridurre gli errori progettuali ed esecutivi della struttura, controlli preliminari durante i lavori e a conclusione degli stessi sono elementi che devono fare parte della valutazione dell'affidabilità di una struttura e delle procedure del controllo qualità del progetto.

Nell'ANNEX B della citata norma, sono illustrate in dettaglio le procedure che permettono di legare il concetto di affidabilità strutturale alla qualità e all'efficacia del controllo. Vengono introdotti dei coefficienti moltiplicativi per le azioni da impiegarsi nelle combinazioni di calcolo a seconda delle procedure di qualità adottate.

Livello di controllo della progettazione	Tipologia del controllo	Requisiti minimi per la verifica dei calcoli e degli elaborati
PROG 3	Esteso	Controllo effettuato da terzi
PROG 2	Normale	Controllo effettuato da altro progettista dello stesso studio
PROG 1	Normale	Controlli dello stesso progettista

Tabella 1.1. Estensione dei livelli di verifica degli elaborati secondo EN 1990:2002

Livello di controllo della progettazione	Tipologia del controllo	Requisiti minimi
ESEC 3	Esteso	Controllo effettuato da terzi
ESEC 2	Normale	Controllo effettuato da altro professionista dello stesso studio
ESEC 1	Normale	Controlli dello stesso professionista

Tabella 1.2. Estensione dei livelli di controllo dell'esecuzione secondo EN 1990:2002