

Lucio Fattori – Pietro Spatti

MANUALE DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

**STRUTTURE IN C.A., VASCHE E SERBATOI SISMORESISTENTI
E TECNICHE DI INTERVENTO SU EDIFICI ESISTENTI**

AI SENSI DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14 GENNAIO 2008)
E DELLE CIRCOLARI ESPLICATIVE



SOFTWARE INCLUSO

NORMATIVA DI RIFERIMENTO, MODELLI DI RELAZIONE DI CALCOLO E ALLEGATI

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

Lucio Fattori, Pietro Spatti

MANUALE DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

ISBN 13 978-88-8207-504-0

EAN 9 788882 075040

Manuali, 142

Prima edizione, settembre 2013

Fattori, Lucio <1981->

Manuale di progettazione antisismica : strutture, vasche, serbatoi e interventi su edifici esistenti ai sensi del decreto ministeriale 14 gennaio 2008 / Lucio Fattori, Pietro Spatti. – Palermo : Grafill, 2013.

(Manuali ; 142)

ISBN 978-88-8207-504-0

1. Costruzioni antisismiche.

I. Spatti, Pietro <1981->.

693.852 CDD-22

SBN Pal0259141

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **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 settembre 2013

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.

SOMMARIO

PREFAZIONE	p.	9
1. PRINCIPI DI PROGETTAZIONE		
E AZIONI SULLE COSTRUZIONI	"	11
1.1. Introduzione alle NTC2008 e Circolari esplicative.....	"	11
1.2. Stati limite e valutazione della sicurezza.....	"	13
1.3. Vita nominale e classi d'uso.....	"	16
1.4. Azioni sulle costruzioni e combinazioni.....	"	20
1.4.1. Ipotesi alla base dell'utilizzo del metodo delle tensioni ammissibili.....	"	24
1.5. Robustezza strutturale e gerarchia delle resistenze.....	"	25
2.1. Introduzione ai materiali strutturali.....	"	31
2. MATERIALI PER USO STRUTTURALE	"	31
2.2. Il calcestruzzo.....	"	32
2.2.1. La classe di resistenza.....	"	32
2.2.2. Le classi di esposizione del calcestruzzo.....	"	34
2.2.3. La lavorabilità del calcestruzzo.....	"	38
2.3. Acciaio per c.a.	"	41
2.4. Controlli e accettazione del materiale in cantiere.....	"	42
2.4.1. Controlli sul calcestruzzo.....	"	43
2.4.2. Controlli sull'acciaio per c.a.	"	45
2.4.3. Contenuto minimo dei certificati di accettazione forniti dai laboratori.....	"	46
2.4.4. Procedura in caso di esiti negativi delle prove di accettazione.....	"	46
3. CENNI DI DINAMICA DELLE STRUTTURE	"	47
3.1. La modellazione strutturale.....	"	47
3.2. Equazione dinamica dell'equilibrio per oscillatori semplici.....	"	47
3.3. I gradi di libertà.....	"	48
3.4. Oscillatore ad 1 grado di libertà.....	"	49
3.4.1. Oscillatore semplice non smorzato.....	"	49
3.4.2. Oscillatore semplice smorzato.....	"	51
3.4.3. Effetto di un sisma su un telaio.....	"	53

3.5.	Sistemi ad n gradi di libertà	p.	55
3.5.1.	Comportamento elastico dei sistemi a più gradi di libertà: oscillazioni libere e modi principali di oscillazione	"	56
3.6.	Osservazioni conclusive	"	57
4.	ANALISI SISMICA DI UN EDIFICIO	"	59
4.1.	Definizione di terremoto	"	59
4.2.	Pericolosità sismica globale	"	62
4.3.	Stati limite per condizioni sismiche	"	63
4.4.	Costruzione dello spettro di risposta elastico	"	68
4.5.	Tipologie strutturali e fattore di struttura	"	72
4.5.1.	Teoria del fattore di struttura e di duttilità	"	72
4.5.2.	Le tipologie strutturali per le NTC2008	"	76
4.6.	Metodi di analisi	"	81
4.6.1.	Analisi statica equivalente	"	83
4.6.2.	Analisi modale con spettro di risposta	"	84
4.6.3.	Analisi non lineare statica, o "pushover"	"	84
4.6.4.	Analisi non lineare dinamica, o "time-history"	"	85
5.	L'IMPOSTAZIONE DEL PROGETTO		
	DI UN EDIFICIO IN C.A. IN ZONA SISMICA	"	86
5.1.	Il flow-chart della progettazione	"	86
5.2.	Definizione dell'edificio di esempio	"	86
5.3.	Individuazione delle caratteristiche dell'edificio	"	90
5.4.	Calcolo delle azioni statiche e stima del peso dell'edificio	"	92
5.5.	Calcolo spettri di risposta e azioni dinamiche	"	94
5.6.	Individuazione elementi primari e secondari	"	98
5.7.	Valutazione preliminare dell'area a taglio dei controventi	"	99
5.8.	Risultati dell'analisi modale: confronto con metodi approssimati	"	104
6.	OPERE DI FONDAZIONE	"	108
6.1.	Introduzione alle opere fondazionali	"	108
6.2.	Fondazioni dirette o superficiali	"	109
6.3.	Fondazioni indirette	"	109
6.3.1.	Fondazioni profonde	"	109
6.3.2.	Fondazioni molto profonde	"	110
6.4.	Caratteristiche geologiche e topografiche del sito	"	110
6.5.	Verifiche degli elementi di fondazione	"	112
6.5.1.	Verifiche agli S.L.U.	"	112
6.5.2.	Verifiche agli S.L.E.	"	114
6.6.	Requisiti strutturali degli elementi di fondazione	"	115
6.6.1.	Verifica a punzonamento	"	116
6.7.	Prescrizioni aggiuntive da EC2 per le opere fondazionali	"	119
6.8.	Dimensionamento e verifica delle travi di fondazione	"	120

6.8.1.	Azioni di progetto	p.	120
6.8.2.	Verifica della fondazione F1	"	123
6.8.3.	Verifica della fondazione F2	"	124
7.	IL PREDIMENSIONAMENTO E LA VERIFICA DEI PILASTRI	"	129
7.1.	Introduzione ai pilastri	"	129
7.2.	Pilastri non sismoresistenti	"	130
7.2.1.	Sollecitazioni di calcolo	"	130
7.2.2.	Verifica e analisi della sezione	"	131
7.2.3.	Dettagli costruttivi e limitazioni d'armatura	"	132
7.2.4.	Ancoraggio delle barre	"	133
7.3.	Pilastri sismoresistenti	"	135
7.3.1.	Sollecitazioni di calcolo	"	135
7.3.2.	Verifica e analisi della sezione	"	137
7.3.3.	Dettagli costruttivi e limitazioni d'armatura	"	138
7.3.4.	Caratteristiche delle staffe di contenimento	"	141
7.4.	Considerazioni pratiche sui pilastri	"	142
7.5.	Dimensionamento e verifica del pilastro	"	143
7.5.1.	Azioni di progetto	"	143
7.5.2.	Verifica del pilastro P7	"	144
8.	IL PREDIMENSIONAMENTO E LA VERIFICA DELLE TRAVI E DEI NODI NEI TELAI	"	146
8.1.	Introduzione alle travi	"	146
8.2.	Travi non sismoresistenti	"	147
8.2.1.	Sollecitazioni di calcolo	"	147
8.2.2.	Verifica e analisi della sezione	"	147
8.2.3.	Dettagli costruttivi e limitazioni d'armatura	"	150
8.2.4.	Ancoraggio delle barre	"	151
8.3.	Travi sismoresistenti	"	152
8.3.1.	Sollecitazioni di calcolo	"	152
8.3.2.	Verifica e analisi della sezione	"	153
8.3.3.	Dettagli costruttivi e limitazioni d'armatura	"	154
8.4.	Nodi trave-pilastro sismoresistenti	"	156
8.4.1.	Sollecitazioni di calcolo ed analisi della sezione	"	157
8.4.2.	Verifica di resistenza del nodo	"	158
8.4.3.	Dettagli costruttivi e limitazioni d'armatura	"	159
8.5.	Dimensionamento e verifica della trave	"	161
8.5.1.	Azioni di progetto	"	161
8.5.2.	Verifica della trave T28-T29	"	162
9.	IL PREDIMENSIONAMENTO E LA VERIFICA DEI SETTI DI CONTROVENTO	"	167
9.1.	Introduzione ai setti di controvento	"	167

9.2.	Il funzionamento dei setti di controvento durante un terremoto	p.	168
9.3.	Il diaframma di piano e la trasmissione delle sollecitazioni sismiche	"	171
9.3.1.	Diaframma flessibile	"	171
9.3.2.	Diaframma rigido	"	172
9.4.	Pressoflessione nei setti di controvento	"	173
9.5.	Sollecitazioni di calcolo	"	175
9.6.	Verifica dei setti di controvento	"	176
9.6.1.	Verifica a pressoflessione	"	177
9.6.2.	Verifica a taglio	"	177
9.7.	Dettagli costruttivi e limitazioni d'armatura	"	179
9.7.1.	Dettagli costruttivi per le pareti	"	179
9.7.2.	Limitazioni di armatura per le pareti	"	180
9.7.3.	Dettagli costruttivi e limitazioni d'armatura per le travi di accoppiamento	"	180
9.8.	Meccanismi di comportamento e di danno nei setti	"	183
9.8.1.	Collasso per pressoflessione	"	184
9.8.2.	Collasso per taglio	"	184
9.8.3.	Collasso per scorrimento	"	185
9.8.4.	Collasso per ribaltamento ("rocking")	"	185
9.8.5.	Meccanismi di collasso delle travi di accoppiamento	"	186
9.9.	Dimensionamento e verifica del setto di controvento	"	187
9.9.1.	Azioni di progetto	"	187
9.9.2.	Verifica del setto S2	"	189
10.	INTERVENTI SU EDIFICI ESISTENTI	"	195
10.1.	Perché intervenire sugli edifici esistenti	"	195
10.2.	Criteri generali e riferimenti normativi	"	198
10.3.	Livello di conoscenza e fattore di confidenza	"	201
10.3.1.	Valutazione di LC per edifici in muratura	"	203
10.3.2.	Valutazione di LC per edifici in c.a. o acciaio	"	205
10.4.	Classificazione degli interventi	"	206
10.5.	Azioni di verifica e progettazione per azioni sismiche	"	208
10.5.1.	Edifici in muratura	"	209
10.5.2.	Costruzioni in c.a. o acciaio	"	211
10.5.3.	Edifici misti	"	211
10.6.	Criteri e tipi di intervento	"	212
10.7.	Tecniche di intervento su edifici esistenti	"	214
10.7.1.	Ripristino della muratura attraverso la tecnica del "scuci e cuci"	"	214
10.7.2.	Iniezioni di miscele leganti	"	215
10.7.3.	Intonaco armato	"	216
10.7.4.	Iniezioni armate	"	217

10.7.7. Consolidamento del collegamento di solai/coperture con le pareti tramite cordoli	p.	220
10.7.8. Consolidamento di volte in muratura	"	221
10.8. Immagini di danni provocati da un terremoto su edifici esistenti	"	222
11. LA PROGETTAZIONE SISMORESISTENTE		
DI VASCHE E SERBATOI	"	224
11.1. Introduzione alla progettazione di vasche e serbatoi	"	224
11.2. L'approccio teorico alla progettazione e al calcolo di vasche e serbatoi	"	225
11.2.1. Componente impulsiva	"	228
11.2.2. Componente convettiva	"	230
11.2.3. Serbatoi rettangolari	"	231
11.3. Il metodo di calcolo semplificato secondo Eurocodice 8	"	232
12. IL PROGETTO REDATTO SECONDO LE NTC2008	"	235
12.1. La documentazione allegata al progetto	"	235
12.2. Schema della relazione di calcolo	"	236
12.3. Elaborati progettuali	"	236
12.4. Prescrizioni aggiuntive per l'utilizzo di codici di calcolo	"	239
12.5. Eventuali relazioni specialistiche	"	241
12.6. Il piano di manutenzione delle strutture	"	241
12.7. Indice della relazione di calcolo tipo	"	244
» APPENDICE – PROGRAMMI DI CALCOLO	"	248
A.1. Trave semplice (1camp)	"	248
A.2. Verifica Cemento Armato Stato Limite Ultimo (VcaSLU)	"	250
A.3. Spettri di Risposta (Spettri ver. 1.0.3)	"	253
» INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO	"	258
Introduzione	"	258
Requisiti minimi hardware e software	"	258
Download del software e richiesta della password di attivazione	"	258
Installazione e attivazione del software	"	259
BIBLIOGRAFIA	"	261

PREFAZIONE

*Tum supera terram quae sunt exstructa domorum
ad caelumque magis quanto sunt edita quaeque,
inclinata minent in eandem prodita partem
protractaque trabes impendent ire paratae.*

...

*Hac igitur ratione vacillant omnia tecta,
summa magis mediis, media imis, ima perhilum.*

*Allora, le case costruite sopra la terra,
e di più quelle che si ergono verso il cielo,
incline pendono, spinte verso la stessa parte,
e le travi, divelte, sporgono fuori, pronte a crollare.*

...

*Ed è per questo motivo che oscillano tutte le case,
in alto più che a metà, più al mezzo che in fondo, quasi nulla alla base.*

(Lucrezio, De rerum natura, vv 561-564,577-578)

La necessità di poter costruire abitazioni che fossero in grado di resistere alle azioni dei terremoti è sempre stata una priorità per le popolazioni che risiedono in zone a rischio sismico. Come testimonia l'autore latino Lucrezio, in Italia questa sensibilità è stata presente fin dai secoli passati, vista la particolare situazione in cui si trova la nostra penisola per quando riguarda la sismicità. Pur nella loro semplicità, essendo privi delle nostre conoscenze tecniche e teoriche, nei versi dell'Autore si può notare come già gli antichi avessero intuito che sono proprio gli edifici più alti a soffrire maggiormente sotto le azioni sismiche e che, nella maggior parte dei casi, il danno consiste addirittura nel crollo dell'edificio.

Come l'Italia, anche altre nazioni avanzate tecnologicamente devono convivere con i terremoti, garantendo ai loro abitanti di poter svolgere le normali attività e proteggendoli da questi eventi tanto improvvisi quanto disastrosi.

Il progettista, negli ultimi anni, ha assistito ad un susseguirsi confuso ed a volte contraddittorio di normative tecniche. La progettazione era resa difficile dall'arbitrarietà con cui poteva essere svolta seguendo questa o quella norma.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni, contenute nel D.M. 14 gennaio 2008, sono ad oggi il testo normativo di riferimento per la progettazione strutturale.

Questo volume nasce come trasposizione del materiale trattato in una serie di corsi di formazione tenuti per presentare le nuove Norme Tecniche a professionisti, ed ha quindi le caratteristiche di brevità, semplicità e contatto con la realtà sperimentate durante questi incontri.

Dopo aver introdotto l'impianto della normativa e il fenomeno sismico, si analizza, passo per passo nei diversi capitoli, la progettazione dei vari elementi strutturali che compongono un edificio. La struttura presa a modello è un esempio tipico di edilizia residenziale, come se ne affrontano frequentemente nella pratica professionale.

Gli autori non si sono dilungati nell'approfondire i concetti scientifici propri dei singoli argomenti, rimandando, per questo, all'allegata bibliografia ed a testi specifici per ulteriori puntualizzazioni e chiarimenti.

Lo scopo del testo è costituire una guida pratica e di rapida consultazione per i professionisti che devono affrontare la progettazione di edifici sismoresistenti in calcestruzzo armato.

Sono inoltre affrontati argomenti un po' più specifici con cui il progettista potrebbe confrontarsi: la progettazione sismoresistente di vasche e serbatoi e gli interventi su edifici esistenti.

Si riportano le citazioni dei testi normativi così come contenute nei testi ufficiali e a questi si deve fare ricorso perché costituiscono l'unico riferimento certo. In presenza di evidenti errori o imprecisioni, gli autori hanno provveduto ad evidenziarlo nel corso della trattazione.

Per segnalazioni o suggerimenti gli autori sono contattabili all'indirizzo *corsontc2008@gmail.com*.

Un particolare ringraziamento all'ing. Simone Martinelli, amico e collega, che è stato un valido e fondamentale supporto per la stesura di questo libro.

PRINCIPI DI PROGETTAZIONE E AZIONI SULLE COSTRUZIONI

1.1. Introduzione alle NTC2008 e Circolari esplicative

Il progettista è consapevole che le regole della scienza delle costruzioni e l'esperienza acquisita costituiscono i pilastri su cui poggia la sua attività professionale. Lo stesso progettista si deve però confrontare con un sistema strutturato per cui i testi normativi diventano un ovvio punto di confronto e, molto spesso, anche uno dei criteri delle scelte progettuali.

Il D.M. 14 gennaio 2008 (di seguito per brevità Norme Tecniche sulle Costruzioni 2008, o NTC2008) costituisce a oggi il testo normativo di riferimento per la progettazione di strutture. Nel recente passato, invece, una sovrapposizione di diverse norme ha generato parecchia confusione sulle regole da seguire nella progettazione. Infatti erano in vigore contemporaneamente norme scritte in diversi momenti storici e culturali e con livelli di coerenza differenti.

Senza ripercorrere tutta la storia della normativa italiana sulle costruzioni, a titolo di esempio ci si limita a segnalare la confusione in cui si poteva trovare un progettista che operasse nel mese di gennaio 2009. Il suo progetto poteva essere redatto con:

- D.M. 9 gennaio 1996 e D.M. 16 gennaio 1996;
- Ordinanza P.C.M. 3274/2003 (poi aggiornata con la O.P.C.M. 3316);
- Ordinanza P.C.M. 3431/2005;
- D.M. 14 settembre 2005 (cosiddette NTC2005);
- Ordinanza P.C.M. 3467/2005;
- D.M. 14 gennaio 2008 (cosiddette NTC2008).

Tralasciando la comprensibile confusione nella quale si trovava il progettista, si può facilmente intuire quale norma il committente spesso preferisse applicare: la norma che rendeva più economica la struttura, piuttosto che quella che le permettesse di essere più sicura.

Come sarà certamente noto al lettore, le norme in precedenza elencate sono profondamente differenti tra loro soprattutto nell'approccio alla verifica degli elementi strutturali e alla progettazione sismica. È ovvio che, quindi, scegliendo l'una o l'altra norma questo comporterebbe esiti completamente differenti non tanto dal punto di vista della sicurezza per i carichi statici, quanto per la sicurezza dei carichi sismici.

Progettazione svolta con norme differenti	Progettazione svolta con una norma unitaria (NTC2008)
Strutture con costi di realizzazione diversi.	Strutture paragonabili in tutti gli aspetti.
Strutture con ingombri, richieste dimensionali e limitazioni architettoniche differenti.	
Strutture con valore intrinseco (economico e di sicurezza) diverso.	

Strutture con differente resistenza alla stessa azione di progetto.	
Strutture con costi di progettazione diversi.	

Tabella 1.1. *Confronto sui parametri collegati alla progettazione con differenti norme*

L'introduzione dell'applicazione obbligatoria di un'unica normativa (le NTC2008 pubblicate, lo ricordiamo, con il D.M. 14 gennaio 2008) è stata più volte rimandata, come già accaduto, del resto, per le norme precedenti.

In seguito al terremoto avvenuto a L'Aquila (la notte del 6 aprile 2009, in cui si contarono 308 morti e oltre 1.500 feriti) all'interno del D.L. Abruzzo (n. 39/2009) viene inserita la data del 30 giugno 2009 come termine del "periodo transitorio" tra le precedenti norme e le NTC2008, sancendo la definitiva entrata in vigore delle nuove norme dal 1 luglio 2009.

Le NTC2008 sono poi state integrate da alcune circolari emesse dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, di cui la prima è certamente la più utile da affiancare all'utilizzo delle NTC2008 durante la progettazione:

- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008" (di seguito per brevità indicata con CIRC);
- Circolare 8 settembre 2010, n. 7617 "Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per l'esecuzione e certificazione di prove sui materiali da costruzione di cui all'articolo 59 del decreto del Presidente della Repubblica n. 380/2001";
- Circolare 8 settembre 2010, n. 7618 "Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per l'esecuzione e certificazione di prove su terre e rocce di cui all'articolo 59 del decreto del Presidente della Repubblica n. 380/2001";
- Circolare 8 settembre 2010, n. 7619 "Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai Laboratori per l'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito di cui all'articolo 59 del decreto del Presidente della Repubblica n. 380/2001".

Per la classificazione delle opere e la loro rilevanza in merito alla progettazione sismoresistente, si dovrà anche fare riferimento alle specifiche norme regionali, se presenti. Si veda, ad esempio, la Delibera n. 687/2011 della Regione Emilia-Romagna.

Le NTC2008 trattano aspetti relativi a quasi tutte le fasi della progettazione, come si può notare scorrendo l'indice delle norme stesse:

- Cap. 1 (*Oggetto*);
- Cap. 2 (*Sicurezza e prestazioni attese*);
- Cap. 3 (*Azioni sulle costruzioni*);
- Cap. 4 (*Costruzioni civili e industriali*);
- Cap. 5 (*Ponti*);
- Cap. 6 (*Progettazione geotecnica*);
- Cap. 7 (*Progettazione per azioni sismiche*);
- Cap. 8 (*Costruzioni esistenti*);
- Cap. 9 (*Collaudo statico*);
- Cap. 10 (*Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo*);

- Cap. 11 (*Materiali e prodotti per uso strutturale*);
- Cap. 12 (*Riferimenti tecnici*);
- Allegato A (*Pericolosità sismica*);
- Allegato B (*Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica*).

Come indicato nella premessa, il presente testo ha un taglio pratico e applicativo. Per esigenze di spazio, e per non annoiare il lettore, non ci si soffermerà puntualmente su tutti gli articoli della norma e nemmeno su aspetti prettamente relativi alla scienza delle costruzioni. Si considerano note le conoscenze e i concetti scientifici posti alla base delle formule usate dalla norma, e si può sempre riferirsi ai testi presenti in bibliografia per ulteriori approfondimenti.

Gli Autori hanno cercato di coniugare semplicità e scorrevolezza, approfondendo i punti che potevano sembrare più utili. Si rimanda infatti il lettore alla consultazione di uno dei numerosi e validi testi di scienza delle costruzioni, ove i concetti o le semplificazioni indicate possano risultare poco esaustive.

1.2. Stati limite e valutazione della sicurezza

Le NTC2008, come tutte le norme moderne, sono definite “norme prestazionali”. Introducendo il concetto di prestazione attesa a seconda dei diversi scenari che si possono verificare nel corso della sua vita, la struttura viene progettata per resistere in maniera ottimale ad ogni tipo di sollecitazione.

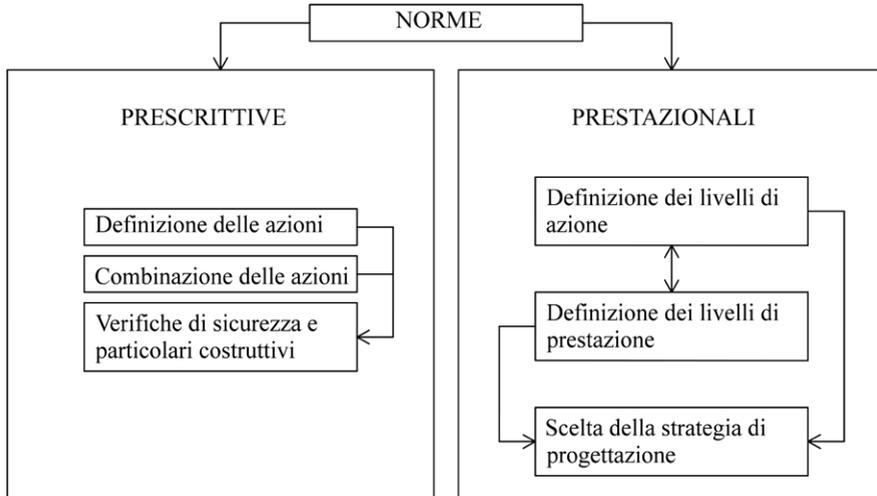


Figura 1.1. Differenza tra la filosofia alla base delle norme prescrittive e di quelle prestazionali

Il progettista, prima di iniziare a svolgere qualsiasi calcolo, dovrebbe porsi alcune domande fondamentali: “*Qual è la funzione di questa struttura? Chi la deve utilizzare? Che esigenze avrà l'utilizzatore? Per quanto tempo dovrà essere utilizzata?*”.

Questo approccio, che è definito agli **stati limite**, risulta innovativo rispetto agli altri approcci comunemente utilizzati, ovvero il *metodo alle tensioni ammissibili* e il *calcolo a rottura*.

Metodo alle tensioni ammissibili	<ul style="list-style-type: none"> – la condizione di riferimento è l’esercizio; – viene ipotizzato un comportamento lineare elastico dei materiali; – la sicurezza è demandata esclusivamente alla resistenza dei materiali; – viene imposto il non superamento di livelli di tensioni (le cosiddette tensioni “ammissibili”); – è definita la resistenza ultima dei materiali ridotta da coefficienti di sicurezza.
Metodo del calcolo a rottura	<ul style="list-style-type: none"> – la condizione di riferimento è il collasso dell’edificio (definita capacità portante ultima della struttura); – non viene analizzato il comportamento della struttura in condizioni di esercizio (ne possono derivare strutture troppo deformabili o troppo rigide).
Metodo agli stati limite	<ul style="list-style-type: none"> – si analizzano diverse condizioni di riferimento, tali condizioni sono gli stati al di là dei quali la struttura non soddisfa le esigenze per cui è stata progettata; – stati limite ultimi (SLU): collasso o ad altre forme di cedimento strutturale; – stati limite di esercizio (SLE): esigenze di utilizzo legate alle condizioni normali di impiego.

Tabella 1.2. Confronto tra i metodi di calcolo per le strutture

Le NTC2008 al paragrafo 2.1 riportano “*La sicurezza e le prestazioni di un’opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l’opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata*”.

Gli stati limite definiscono le prestazioni attese, e nelle NTC2008 l’approccio utilizzato è quello **semiprobabilistico** (NTC2008-2.3). La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza (SLU) si effettua con il “metodo dei coefficienti parziali” di sicurezza.

L’equazione che governa tale metodo è $R_d \geq E_d$ dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

E_d è il valore di progetto dell’effetto delle azioni, valutato in base ai valori indicati nel seguito dalla norma.

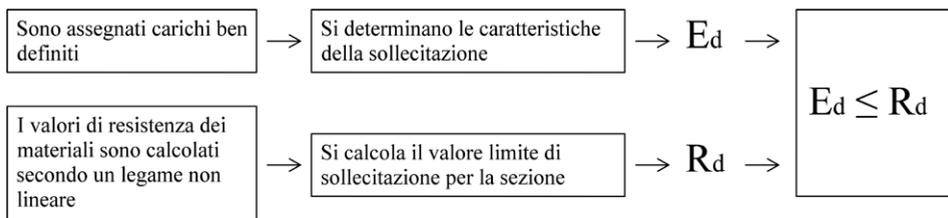


Figura 1.2. Il metodo dei coefficienti parziali

Molti progettisti chiedono di poter utilizzare ancora il metodo alle tensioni ammissibili, sia per comodità di utilizzo sia perché affermano, pur correttamente, che per decenni ha servito egregiamente allo scopo.

Il metodo alle tensioni ammissibili è ancora valido e molto efficace, ad esempio, nella fase di predimensionamento; è invece limitante per il progettista che chiede alla sua struttura un comportamento differente a seconda delle situazioni che si possono verificare.

Non corrisponde al vero l'osservazione, rivolta più volte agli Autori nell'ambito di incontri sulle NTC2008, che "gli stati limite aumentando sia i carichi sia la resistenza dei materiali di un coefficiente pari a 1,5, alla fine forniscono gli stessi risultati che si sarebbero ottenuti con il calcolo alle tensioni ammissibili". Innanzi tutto gli stati limite permettono al progettista di governare differenti condizioni di carico per la struttura con differenti prestazioni sotto tali azioni, inoltre basano il loro modello di calcolo su legami non-lineari (che simulano meglio il materiale reale rispetto al semplice legame elastico-lineare) e permettono quindi, se applicati correttamente, di avere, a parità di prestazioni, strutture molto meno costose.

Le ipotesi di base sono:

- le sezioni rimangono piane;
- si ha perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- si trascura la resistenza a trazione del calcestruzzo;
- le tensioni in calcestruzzo e acciaio si ricavano dai rispettivi diagrammi sforzo-deformazioni;
- la deformazione del calcestruzzo a compressione semplice è limitata allo 0,2%;
- negli altri casi la deformazione limite a compressione nel calcestruzzo è 0,35% (fino a C50/60);

Gli obiettivi del progetto, ovvero gli stati limite, si suddividono nei seguenti tre gruppi:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone, ovvero comportare la perdita di beni, gravi danni ambientali e sociali o la messa fuori servizio dell'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno *stato limite ultimo* (SLU) ha carattere irreversibile e si definisce collasso, mentre il superamento di uno *stato limite di esercizio* (SLE) può avere carattere reversibile o irreversibile".

Stati limite ultimi (SLU)	Stati limite di esercizio (SLE)
a) perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;	a) danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
b) spostamenti o deformazioni eccessive;	b) spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
c) raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti di strutture, collegamenti, e fondazioni;	c) spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;

d) raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme;	d) vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
e) raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;	e) danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
f) rottura di membrane e collegamenti per fatica;	f) corrosione e/o eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione.
g) rottura di membrane e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;	
h) instabilità di parti della struttura o del suo insieme.	
Per la verifica in condizione sismica: + Stato Limite Salvaguardia della Vita (SLV); + Stato Limite di Collasso (SLC).	Per la verifica in condizione sismica: + Stato Limite di Operatività (SLO); + Stato Limite di Danno (SLD).

Tabella 1.3. Confronto tra SLU e SLE nelle NTC2008

Alcune delle condizioni indicate nella tabella sopra riportata possono essere rese più gravose da esigenze della committenza, quali esigenze industriali, strategiche o altro. Si cita ad esempio il caso di un laboratorio di ricerca con strumenti di misura molto sensibili alle vibrazioni e alle deformazioni della pavimentazione su cui le apparecchiature sono appoggiate. Un'eccessiva vibrazione del solaio, ad esempio, potrebbe alterare le misurazioni e i risultati degli strumenti stessi. In questo caso le esigenze della committenza potrebbero essere di limitare ulteriormente le deformazioni rispetto ai valori indicati dalla norma. Ecco perché è opportuno che il progettista sia a conoscenza delle reali esigenze della committenza, anche e soprattutto in termini prestazionali. Si ribadisce il concetto che una progettazione efficiente non è solo quella che "evita il crollo" della struttura, ma quella che nello stesso momento rende la struttura idonea alle funzioni e per il tempo di vita ad essa necessarie.

Le verifiche sono quindi svolte in accordo con NTC2008-2.2.3:

- a) per gli stati limite ultimi che possono presentarsi nelle diverse combinazioni delle azioni;
- b) per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

1.3. Vita nominale e classi d'uso

Gli Eurocodici (nel seguito EC) introdussero tempo fa il concetto di "durata di vita" di una costruzione. Le NTC2008 riprendono questo concetto al punto 2.4.1 introducendo la "vita nominale", ovvero il periodo convenzionale durante il quale l'opera deve poter essere utilizzata per lo scopo per cui è stata realizzata senza interventi di manutenzione straordinaria.

La vita nominale corrisponde quindi alla durata del periodo di tempo per cui l'edificio dovrà essere utilizzato prima di richiedere significative riparazioni. Si consideri che, per tradizione storica e per caratteristiche costruttive, in Italia gli edifici hanno mediamente un periodo di utilizzo lungo, che può interessare in certi casi anche più generazioni, durante il quale spesso si eseguono ampliamenti, rimaneggiamenti, sistemazioni interne con modifiche dell'impianto della struttura originale.

Ecco quindi che CIRC specifica al punto 2.4.1: "L'effettiva durata della costruzione non è valutabile in sede progettuale, venendo a dipendere da eventi futuri fuori dal controllo del progettista. Di fatto, la grande maggioranza delle costruzioni ha avuto ed ha, anche attraverso

successivi interventi di ripristino manutentivo, una durata effettiva molto maggiore della vita nominale quantificata nelle NTC”.

La tabella sottostante indica la durata della vita nominale come da richieste normative.

Tipi di costruzione		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva (le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.)	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.	≥ 100

Tabella 1.4. Vita nominale per diversi tipi di opere (NTC2008-2.4.1)

Quali parametri di input progettuale sono influenzati dalla durata della vita nominale? È evidente come una maggiore vita nominale, e quindi una maggior durata della costruzione senza che si debba fare ricorso ad interventi di manutenzione straordinaria a livello strutturale, modifichi i parametri legati alla durabilità della costruzione, al piano di manutenzione, alla progettazione dei giunti, ecc.. L'aumento della vita nominale influenza anche la progettazione sotto azioni sismiche, perché, come meglio precisato nel seguito, più a lungo la struttura deve mantenersi operativa, più è probabile che sia sottoposta ad un terremoto di maggiore intensità.

In merito agli edifici di importanza strategica, ovvero le strutture con $V_N \geq 100$ anni, CIRC indica che “ai sensi e per gli effetti del Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 il carattere strategico di un'opera o la sua rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso, sono definiti dalla classe d'uso”.

Decreto del Capo Dipartimento P.C. n. 3685 del 21 ottobre 2003

Elenco A

Categorie di edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza statale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile.

1. Edifici.

Edifici in tutto o in parte ospitanti funzioni di comando, supervisione e controllo, sale operative, strutture ed impianti di trasmissione, banche dati, strutture di supporto logistico per il personale operativo (alloggiamenti e vettovagliamento), strutture adibite all'attività logistica di supporto alle operazioni di protezione civile (stoccaggio, movimentazione, trasporto), strutture per l'assistenza e l'informazione alla popolazione, strutture e presidi ospedalieri, il cui utilizzo abbia luogo da parte dei seguenti soggetti istituzionali:

- 1) organismi governativi;
- 2) uffici territoriali di Governo;
- 3) Corpo nazionale dei Vigili del fuoco;
- 4) Forze armate;
- 5) Forze di polizia;
- 6) Corpo forestale dello Stato;

...segue

- 7) Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici;
- 8) Registro italiano dighe;
- 9) Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia;
- 10) Consiglio nazionale delle ricerche;
- 11) Croce rossa italiana;
- 12) Corpo nazionale soccorso alpino;
- 13) Ente nazionale per le strade e società di gestione autostradale;
- 14) Rete ferroviaria italiana;
- 15) Gestore della rete di trasmissione nazionale, proprietari della rete di trasmissione nazionale, delle reti di distribuzione e di impianti rilevanti di produzione di energia elettrica;
- 16) associazioni di volontariato di protezione civile operative in più regioni.

2. Opere infrastrutturali.

- 1) Autostrade, strade statali e opere d'arte annesse;
- 2) Stazioni aeroportuali, eliporti, porti e stazioni marittime previste nei piani di emergenza, nonché impianti classificati come grandi stazioni.
- 3) Strutture connesse con il funzionamento di acquedotti interregionali, la produzione, il trasporto e la distribuzione di energia elettrica fino ad impianti di media tensione, la produzione, il trasporto e la distribuzione di materiali combustibili (quali oleodotti, gasdotti, ecc.), il funzionamento di servizi di comunicazione a diffusione nazionale (radio, telefonia fissa e mobile, televisione).

Elenco B

Categorie di edifici ed opere infrastrutturali di competenza statale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

1. Edifici:

- 1) Edifici pubblici o comunque destinati allo svolgimento di funzioni pubbliche nell'ambito dei quali siano normalmente presenti comunità di dimensioni significative, nonché edifici e strutture aperti al pubblico suscettibili di grande affollamento, il cui collasso può comportare gravi conseguenze in termini di perdite di vite umane.
- 2) Strutture il cui collasso può comportare gravi conseguenze in termini di danni ambientali (quali ad esempio impianti a rischio di incidente rilevante ai sensi del decreto legislativo 17 agosto 1999, n. 334, e successive modifiche ed integrazioni, impianti nucleari di cui al decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, e successive modifiche ed integrazioni).
- 3) Edifici il cui collasso può determinare danni significativi al patrimonio storico, artistico e culturale (quali ad esempio musei, biblioteche, chiese).

2. Opere infrastrutturali.

- 1) Opere d'arte relative al sistema di grande viabilità stradale e ferroviaria, il cui collasso può determinare gravi conseguenze in termini di perdite di vite umane, ovvero interruzioni prolungate del traffico.
- 2) Grandi dighe.

Tabella 1.5. *Edifici di interesse strategico e di rilevanza in conseguenza di un eventuale collasso*

Dalla tabella si evince come, per esempio le scuole e le palestre, in altre parole quegli edifici che potrebbero costituire un punto di riferimento per la comunità in caso di calamità o che per la loro destinazione d'uso prevedano consistenti affollamenti e quindi la possibile perdita di un numero significativo di vite umane, siano da considerare "rilevanti" in quanto contenute nell'elenco B del Decreto sopra citato.

Un altro parametro significativo nella progettazione per azioni sismiche è la “*classe d’uso*”. Scopo della classe d’uso è indicare quanto può essere pericolosa l’interruzione di operatività della struttura in progetto.

Tramite la classe d’uso si suddividono le strutture in 4 gruppi, in ordine crescente in relazione alle conseguenze di un’interruzione di operatività o di un eventuale collasso.

- **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- **Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l’ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d’uso III o in Classe d’uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- **Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l’ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d’uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- **Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l’ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, “*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella 1.6. *Classi d’uso per gli edifici (NTC2008-2.4.2)*

Ad esempio scuole, teatri, musei, in quanto edifici soggetti ad affollamento significativo e con la presenza contemporanea di comunità di dimensioni significative, rientrano in classe d’uso III.

Per le classi d’uso III e IV, a cui appartengono gli edifici di rilevanza per la protezione civile o in grado di provocare ingenti perdite in conseguenza di un eventuale collasso, CIRC-2.4.2 indica di far riferimento sempre al Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 (si veda tabella 1.5). Per gli edifici appartenenti al patrimonio storico-artistico e culturale (musei, biblioteche e chiese), il cui collasso può determinare danni significativi, si fa riferimento alla “*Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni*” del 12 ottobre 2007 e ss.mm.ii..

Ad ogni classe d’uso è associato un “*coefficiente d’uso*” indicato con C_U .

Il coefficiente d’uso non deve essere confuso con la classe d’uso, anche se i due parametri sono collegati tra loro come indicato dalla tabella.

Classe d’uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Tabella 1.7. *Valori del coefficiente d’uso (NTC2008-2.4.II)*

Il periodo di ritorno dell'azione sismica, identificato come periodo di riferimento V_R , è ottenuto moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U .

La relazione, contenuta in NTC2008-2.4.3, è:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Dove:

V_R è il periodo di riferimento;

V_N è la vita nominale;

C_U è il coefficiente d'uso.

Se dal calcolo dovesse risultare $V_R < 35$ anni, si pone comunque $V_R = 35$ anni, tranne che per la verifica sismica di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva per cui le relative V_N di progetto siano inferiori a 2 anni.

Il periodo di riferimento V_R di una costruzione riveste notevole importanza. Assumendo che la legge di ricorrenza dell'azione sismica sia un processo poissoniano, il periodo di riferimento è utilizzato per valutare, data la probabilità di superamento P_{V_R} corrispondente allo stato limite considerato, il periodo di ritorno T_N dell'azione sismica cui fare riferimento per la verifica.

Per assicurare alle costruzioni un livello di sicurezza antisismica minimo irrinunciabile la norma impone quindi un V_R minimo pari a 35 anni.

Vita nominale V_N	Valori di V_R			
	Classe d'uso			
	I	II	III	IV
≤ 10	35	35	35	35
≥ 50	≥ 35	≥ 50	≥ 75	≥ 100
≥ 100	≥ 70	≥ 100	≥ 150	≥ 200

Tabella 1.8. Intervalli di valori attribuiti a V_R al variare di V_N e C_U (CIRC-2.4.1)

1.4. Azioni sulle costruzioni e combinazioni

Nelle NTC2008 le azioni vengono classificate:

- in base al modo di esplicarsi (*dirette, indirette, degrado*);
- secondo la risposta strutturale (*statiche, pseudo statiche, dinamiche*);
- secondo la variazione della loro intensità nel tempo (*permanenti, variabili, eccezionali, sismiche*).

Poiché si adotta un metodo semiprobabilistico, la combinazione delle azioni deve avvenire secondo metodi statistici. Si definisce (NTC2008-2.5.2) valore caratteristico Q_k di un'azione variabile il valore corrispondente ad un frattile pari al 95% della popolazione dei massimi, in relazione al periodo di riferimento dell'azione variabile stessa.

Si definiscono quindi tre possibili situazioni collegate alla durata percentuale relativa ai livelli di intensità dell'azione variabile: