

Giuseppe Albano

COSTRUZIONI IN MURATURA

PROGETTO, VERIFICA, RECUPERO

 Legislazione Tecnica

© Copyright Legislazione Tecnica 2019

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di giugno 2019 da
Stabilimento Tipolitografico Ugo Quintily S.p.A.
Viale Enrico Ortolani 149/151 – Zona industriale di Acilia – 00125 Roma

Legislazione Tecnica S.r.L.

00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti

Tel. 06/5921743 - Fax 06/5921068

servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it

Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dall'Autore. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il progettista nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del progettista la selezione della soluzione da adottare e le conseguenti analisi e dimensionamenti delle strutture e dei componenti. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e l'Autore da qualsiasi pretesa risarcitoria.

“La nostra gloria maggiore non consiste nel non sbagliare, ma nel risollevarci ogni volta che cadiamo”

Confucio

“Il desiderio ottiene l'impossibile”

Napoleon Hill

“Nessuna vita è tanto dura da non poterla rendere più facile prendendola in modo diverso”

Ellen Glasgow

Dedica

A voi ispirazioni della mia vita:

Carmen, Rebecca, Pier Giuseppe e Sara

RINGRAZIAMENTI

Siamo alla 45^a pubblicazione.

Sono passati molti anni da quando iniziai questo percorso parallelo alla consulenza professionale in ingegneria strutturale ed antisismica. Ricordo benissimo il lavoro che riuscii a consegnare alle stampe con il mio maestro Prof. Alessandro De Stefano del Politecnico di Torino. L'unico libro, il primissimo, che ho incorniciato e posto su una parete sempre a vista. Devo ammettere che non è semplice portare a termine un volume intero.

Molti colleghi e soprattutto giovani ingegneri mi chiedono spesso come sono riuscito a scrivere tanto. La mia solita risposta è molto articolata. Nella vita non ci si può fermare ai 5 o 6 anni di studi universitari. Sicuramente condizione necessaria, ma non sufficiente per poter portare la professione un po' oltre la normalità.

Nella mia carriera sono stato fortunato a capire l'importanza della sana lettura. Uomini come Tony Robbins, Og Mandino, Napoleon Hill, Esther e Jerry Hicks, Bob Proctor, Joe Vitale e tantissimi altri (non basterebbe una pagina intera per ringraziarli tutti) hanno piantato nella mia mente i semi giusti e indispensabili alla crescita personale e professionale.

Un grazie particolare a Te, che hai tra le mani questo libro. Spero vivamente che la lettura del volume possa instillare qualcosa di positivo alla tua professione.

Se hai necessità o curiosità di entrare in contatto diretto puoi scrivermi su g.albano@calcolostrutture.com. Sarò onorato e fortunato se riuscirò a darti tutte le risposte che cerchi.

Milano, maggio 2019

Dott. Ing. Giuseppe Albano

PREFAZIONE

Le strutture in muratura rappresentano almeno il 70% del costruito sul territorio italiano. Motivo per cui la maggior parte degli interventi su strutture esistenti sono incontrovertibilmente indirizzati verso tale tipologia costruttiva. Dall'altro punto di vista, il “*Laboratorio terremoto*” ha più volte dimostrato che le opere in muratura sono molto vulnerabili alle azioni sismiche.

Il presente testo è il risultato di anni di professione nel ramo “*strutture esistenti*”. Vengono toccati molti argomenti facendo spesso riferimento anche agli Eurocodici da cui, come ben noto, derivano le attuali normative italiane (D.M. 17 gennaio 2018 e Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7).

Il capitolo 1 ***Carichi su costruzioni in muratura*** presenta molti accorgimenti sulle azioni statiche e sismiche che possono investire tali manufatti. Diverse tabelle su pesi di materiali, carichi murari, pesi per unità di volume o di superficie, sono strumenti utili alla pratica professionale. Analisi dei carichi permanenti, variabili, sovraccarichi per solai, coperture e scale, elementi divisorii, variabili per attività industriali, nonché azione sismica, sono riportati nel corso del capitolo con chiari riferimenti alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) del 2018 e Circolare 7 del 2019. Viene chiarito il concetto fondamentale di “*Vita Nominale*” e di tutti i parametri concorrenti per la definizione dell'azione sismica, con diversi casi di esempio e di paragone per la determinazione della stessa.

Il capitolo 2, ***Analisi delle norme tecniche sulle murature***, passa in rassegna discorsi su malte, elementi di murature (naturali, artificiali, di calcestruzzo ecc.), resistenze meccaniche (compressione, taglio, flessione, moduli elastici) anche secondo l'Eurocodice 6. Viene dato spazio a principi fondamentali di progettazione di strutture in muratura, modellazione, concezione e organizzazione strutturale, scatolarità, analisi e verifiche sempre secondo le ultime NTC 2018 e la Circolare 7 del 2019.

Prescrizioni per murature in zona sismica, capitolo 3, offre indicazioni circa la progettazione per azioni sismiche ed i requisiti nei confronti degli stati limite, criteri di progettazione, regolarità degli edifici (in pianta ed in elevazione) ed altre caratteristiche (semplicità strutturale, regolarità di masse e rigidezze). Il tutto facendo riferimento alle norme in vigore. Sono trattati anche gli elementi secondari e quelli non strutturali; sono riportate considerazioni su fondazioni superficiali e su pali, modellazione strutturale, fattori di comportamento, metodi di analisi e verifica. Successivamente si entra nel vivo della trattazione con il paragrafo *Costruzioni in muratura* dove vengono esposti argomenti su regole e principi applicativi, materiali, criteri di progetto, requisiti geometrici, metodi di analisi, ve-

rifiche di sicurezza. Il capitolo continua con la trattazione relativa alla muratura ordinaria e confinata, e alle strutture miste. Sono contemplate le regole di dettaglio per murature ordinarie, armate e confinate; nonché regole specifiche dell'Eurocodice 8 relativamente a: materiali, tipologie, analisi strutturale e criteri di progettazione.

Il capitolo 4, **Costruzioni esistenti**, dopo la prima parte sulle generalità, entra nel merito della valutazione della sicurezza, con tutte le novità delle NTC 2018 e della Circolare 7/2019, della classificazione degli interventi (locali, di miglioramento e di adeguamento), modelli di calcolo, analisi storico-critica, rilievo, caratterizzazione meccanica delle murature. Sono esposti diversi sistemi di recupero delle strutture esistenti attraverso iniezioni di miscele leganti, di intonaco armato ed altri sistemi contemplati nella Circolare 7/2019. Particolare attenzione è posta sui livelli di conoscenza e sui fattori di confidenza. Altri paragrafi sono dedicati alle azioni da considerarsi, ai materiali ed alla progettazione degli interventi circostanziati alle opere in muratura, ben trattati nella Circolare 7/2019.

Il capitolo 5, **Progetti su murature esistenti**, conserva un taglio completamente pratico ove sono descritti cinque interventi su opere in muratura recuperati dalla pratica professionale dell'Autore. Gli interventi proposti derivano anche dalla ricostruzione post-sismica del terremoto denominato "*del Centro Italia*" iniziato il 24 agosto 2016. In particolare sono: caso 1) Miglioramento sismico di un fabbricato in muratura portante in provincia di Macerata; caso 2) Miglioramento sismico di un fabbricato in provincia di Macerata; caso 3) Adeguamento sismico di un casello ferroviario in muratura portante in provincia di Foggia; caso 4) Miglioramento sismico di un fabbricato in muratura portante in provincia di Belluno; caso 5) Nuova costruzione in muratura armata sita in provincia di Grosseto. Ogni lavoro presentato contiene: descrizione dell'intervento strutturale, dati generali sulla pericolosità sismica del luogo e sugli spettri di progetto, analisi della regolarità, rilievo fotografico, risultati di calcolo con mappe, analisi degli interventi strutturali attuati, valutazione della vulnerabilità sismica nello stato di fatto e di progetto, capacità e domanda sismica, indicatori di rischio sismico, accelerazioni sismiche di collasso.

INDICE

PREFAZIONE	5
CAPITOLO 1 - Carichi su costruzioni in muratura	13
1.1 Pesi per unità di volume	13
1.2 Classificazione delle azioni	23
1.3 Analisi dei carichi statici permanenti	25
1.4 Analisi dei carichi statici variabili	28
1.5 Azione sismica	36
1.5.1 Periodo di riferimento	36
1.5.2 Vita nominale di una struttura	36
1.5.3 Classi d'uso	39
1.5.4 Coefficiente d'uso	39
1.5.5 Valutazione del periodo di riferimento V_R	40
1.5.6 Calcolo dell'azione sismica	41
1.5.6.1 <i>Premessa</i>	41
1.5.6.2 <i>Stati limite ultimi</i>	43
1.5.6.3 <i>Stati limite di esercizio</i>	43
1.5.6.4 <i>Probabilità di superamento nel periodo di riferimento</i>	43
1.5.6.5 <i>Categorie di sottosuolo</i>	46
1.5.6.6 <i>Spettro di risposta elastico in accelerazione</i>	47
1.5.6.7 <i>Velocità e spostamento orizzontale del terreno</i>	50
1.5.6.8 <i>Spettri di risposta di progetto per SLD, SLV e SLC</i>	50
1.5.6.9 <i>Spettri di risposta di progetto per SLO</i>	51
1.6 Esempi di calcolo dell'azione sismica	51
1.6.1 Confronto spettri di progetto al variare della categoria di sottosuolo	51
1.6.1.1 <i>Caso 1: suolo di fondazione di categoria A</i>	53
1.6.1.2 <i>Caso 2: suolo di fondazione di categoria B</i>	54
1.6.1.3 <i>Caso 3: suolo di fondazione di categoria C</i>	55
1.6.2 Confronto spettri di progetto al variare del coefficiente di amplificazione topografica S_T	55
1.6.2.1 <i>Caso 4: coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,00$</i>	56
1.6.2.2 <i>Caso 5: coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,20$</i>	57
1.6.2.3 <i>Caso 6: coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,40$</i>	58
1.6.3 Spettri di progetto per struttura non regolare in pianta e in altezza	59
1.6.3.1 <i>Caso 7: struttura non regolare in pianta e in altezza</i>	60
1.7 Bollettino sismico	61

CAPITOLO 2 - Analisi delle norme tecniche sulle murature	63
2.1 Definizioni (§ 4.5.1 NTC)	63
2.2 Materiali e caratteristiche tipologiche (§ 4.5.2 NTC)	63
2.2.1 Malte	63
2.2.1.1 <i>Malte a prestazione garantita</i> (§ 11.10.2.1 NTC)	63
2.2.1.2 <i>Malte a composizione prescritta</i> (§ 11.10.2.2 NTC)	64
2.2.1.3 <i>Malte secondo Eurocodice 6</i>	65
2.2.2 Elementi resistenti in muratura (§ 4.5.2.2 NTC)	65
2.2.2.1 <i>Elementi artificiali</i>	65
2.2.2.2 <i>Elementi naturali</i>	67
2.2.3 Murature (§ 4.5.2.3 NTC)	67
2.2.4 Eurocodice 6, coefficiente parziale γ_M	68
2.3 Caratteristiche meccaniche delle murature (§ 4.5.3 NTC)	69
2.3.1 Valutazione dei parametri meccanici delle murature (§ 11.10.3 NTC)	69
2.3.1.1 <i>Resistenza a compressione delle murature per via sperimentale</i>	69
2.3.1.2 <i>Stima della resistenza a compressione delle murature</i>	70
2.3.1.3 <i>Resistenza a compressione delle murature secondo EC6</i>	71
2.3.1.3.1 Letti di malta non interrotti	71
2.3.1.3.2 Letti di malta interrotti	73
2.3.1.4 <i>Resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali per via sperimentale</i>	74
2.3.1.5 <i>Resistenza caratteristica a taglio</i>	74
2.3.1.6 <i>Resistenza caratteristica a taglio secondo EC6</i>	75
2.3.1.7 <i>Moduli di elasticità secanti</i>	77
2.3.1.8 <i>Proprietà di deformazione della muratura secondo EC6</i>	77
2.3.1.9 <i>Resistenza caratteristica a flessione secondo EC6</i>	78
2.4 Organizzazione strutturale (§ 4.5.4 NTC, § C4.5.4 Circolare)	79
2.4.1 Principi di progettazione per strutture in muratura	80
2.4.1.1 <i>Considerazioni generali</i>	80
2.4.1.2 <i>Scolarità</i>	82
2.4.1.3 <i>Concezione strutturale: generalità</i>	83
2.5 Analisi strutturale e verifiche (§§ 4.5.5 e 4.5.6 NTC, §§ C4.5.5 e C4.5.6 Circolare) ..	84
2.5.1 Resistenze di progetto	84
2.5.1.1 <i>Analisi strutturale secondo EC6</i>	85
2.5.2 Verifiche agli stati limite ultimi (§ 4.5.6.2 NTC)	87
2.5.2.1 <i>Osservazioni</i>	89
2.5.3 Verifiche: stati limite di esercizio e semplificate	90
CAPITOLO 3 - Prescrizioni per murature in zona sismica	93
3.1 Generalità	93
3.2 Progettazione per azioni sismiche (cap. 7 NTC)	93

3.2.1	Requisiti nei confronti degli stati limite (§ 7.1 NTC)	96
3.2.2	Criteri generali di progettazione	100
3.2.3	Ancora sui criteri	102
3.2.4	Regolarità in pianta degli edifici	103
3.2.5	Regolarità in elevazione degli edifici	104
3.2.6	Altre caratteristiche	106
3.2.6.1	<i>Rigidezza</i>	107
3.2.6.1.1	Elementi di grande rigidezza	108
3.2.6.2	<i>Iperstaticità</i>	108
3.2.7	Distanza tra costruzioni	108
3.2.8	Altezza massima dei nuovi edifici e limitazione in funzione della larghezza stradale	109
3.3	Sistemi strutturali (§ 7.2.2 NTC, § C7.2.2 Circolare)	110
3.3.1	Elementi secondari (§ 7.2.3 NTC)	112
3.3.2	Elementi non strutturali	113
3.3.3	Requisiti delle fondazioni (§ 7.2.5 NTC)	114
3.3.3.1	<i>Fondazioni superficiali</i>	114
3.3.3.2	<i>Fondazioni su pali</i>	115
3.3.3.2.1	Zone dissipative	115
3.3.3.2.2	Altre considerazioni	115
3.4	Modellazione strutturale (§ 7.2.6 NTC, § C7.2.6 Circolare)	116
3.5	Metodi di analisi (§ 7.3.1 NTC)	117
3.5.1	Fattore di comportamento	118
3.6	Metodi di analisi e di verifica	120
3.6.1	Analisi lineare dinamica	120
3.6.2	Analisi lineare statica	122
3.6.3	Criteri di verifica agli stati limite	123
3.7	Costruzioni di muratura (§ 7.8 NTC, § C7.8 Circolare)	124
3.7.1	Generalità	124
3.7.2	Materiali e fattori di struttura	125
3.7.3	Criteri di progetto e requisiti geometrici	127
3.7.4	Metodi di analisi	128
3.7.4.1	<i>Analisi lineare statica</i>	128
3.7.4.2	<i>Analisi dinamica modale</i>	129
3.7.4.3	<i>Analisi statica non lineare</i>	129
3.7.4.4	<i>Analisi dinamica non lineare</i>	130
3.7.5	Verifiche di sicurezza	130
3.7.6	Costruzioni in muratura ordinaria	132
3.7.6.1	<i>Generalità</i>	132
3.7.6.2	<i>Verifiche di sicurezza</i>	133
3.7.6.2.1	Pressoflessione nel piano	133

3.7.6.2.2	Taglio	133
3.7.6.2.3	Pressoflessione fuori piano	133
3.7.7	Costruzioni in muratura confinata	134
3.7.8	Strutture miste (§ 7.8.5 NTC, § C7.8.5 Circolare)	134
3.7.9	Regole di dettaglio (§ 7.8.6 NTC, § C7.8.6 Circolare)	135
3.7.9.1	<i>Murature ordinarie</i>	135
3.7.9.2	<i>Murature armate</i>	135
3.7.9.3	<i>Murature confinate</i>	136
3.8	Regole specifiche secondo EC8	136
3.8.1	Materiali	137
3.8.2	Tipologie	137
3.8.3	Analisi strutturali	138
3.8.4	Criteri di progettazione	138
3.8.5	Verifiche di sicurezza	140
CAPITOLO 4	- Costruzioni esistenti	141
4.1	Generalità	141
4.2	Valutazione della sicurezza	143
4.3	Classificazione degli interventi	145
4.3.1	Riparazioni o intervento locale	145
4.3.2	Intervento di miglioramento	146
4.3.3	Intervento di adeguamento	147
4.4	Modello di calcolo	148
4.4.1	Analisi storico-critica	149
4.4.2	Rilievo – Costruzioni in muratura	149
4.4.3	Caratterizzazione meccanica delle murature	150
4.4.4	Livelli di Conoscenza e Fattori di Confidenza	153
4.4.5	Azioni	156
4.5	Materiali	156
4.6	Progettazione degli interventi	157
4.6.1	Costruzioni in muratura	157
4.6.2	Criteri e tipi di intervento	159
4.6.3	Criteri per interventi su edifici in muratura	159
4.6.3.1	<i>Diaframmi di piano</i>	160
4.6.3.2	<i>Connessioni tra pareti e tra pareti e diaframmi</i>	160
4.6.3.3	<i>Connessioni dei paramenti</i>	161
4.6.3.4	<i>Consolidamento delle murature</i>	162
4.6.4	Elaborati del progetto dell'intervento (§ 8.7.5 NTC, § C8.7.5 Circolare)	162

CAPITOLO 5 - Progetti svolti su costruzioni esistenti e nuove	165
5.1 Caso n. 1: miglioramento sismico di un fabbricato vetusto	167
5.1.1 Descrizione dell'intervento strutturale	167
5.1.2 Dati generali	167
5.1.2.1 <i>Regolarità strutturale</i>	169
5.1.3 Rilievo fotografico	170
5.1.4 Risultati (spostamenti)	171
5.1.5 Interventi strutturali	173
5.1.6 Valutazione della vulnerabilità sismica (stato di fatto - stato di progetto)	173
5.1.6.1 <i>Stato di fatto</i>	174
5.1.6.2 <i>Stato di progetto</i>	175
5.1.6.3 <i>Accelerazioni sismiche di collasso</i>	176
5.2 Caso n. 2: miglioramento sismico di un fabbricato recente	179
5.2.1 Descrizione dell'intervento strutturale	179
5.2.2 Dati generali	179
5.2.2.1 <i>Regolarità strutturale</i>	181
5.2.3 Rilievo fotografico	182
5.2.4 Risultati (spostamenti)	183
5.2.5 Interventi strutturali	185
5.2.6 Valutazione della vulnerabilità sismica (stato di fatto - stato di progetto)	185
5.2.6.1 <i>Stato di fatto</i>	186
5.2.6.2 <i>Stato di progetto</i>	186
5.2.6.3 <i>Accelerazioni sismiche di collasso</i>	187
5.3 Caso n. 3: adeguamento sismico di un casello ferroviario	190
5.3.1 Descrizione dell'intervento strutturale	190
5.3.2 Dati generali	190
5.3.2.1 <i>Regolarità strutturale</i>	192
5.3.3 Rilievo fotografico	193
5.3.4 Risultati (spostamenti)	194
5.3.5 Interventi strutturali	196
5.3.6 Valutazione della vulnerabilità sismica (stato di fatto - stato di progetto)	199
5.3.6.1 <i>Stato di fatto</i>	199
5.3.6.2 <i>Stato di progetto</i>	200
5.3.6.3 <i>Accelerazioni sismiche di collasso</i>	200
5.4 Caso n. 4: miglioramento sismico di un fabbricato rurale	203
5.4.1 Descrizione dell'intervento strutturale	203
5.4.2 Dati generali	203
5.4.2.1 <i>Regolarità strutturale</i>	205
5.4.3 Rilievo fotografico	206
5.4.4 Risultati (spostamenti)	207

5.4.5	Interventi strutturali	209
5.4.6	Valutazione della vulnerabilità sismica (stato di fatto - stato di progetto)	212
5.4.6.1	<i>Stato di fatto</i>	212
5.4.6.2	<i>Stato di progetto</i>	213
5.4.6.3	<i>Accelerazioni sismiche di collasso</i>	214
5.5	Caso n. 5: nuova opera	215
5.5.1	Descrizione dell'intervento strutturale	215
5.5.2	Dati generali	216
5.5.2.1	<i>Regolarità strutturale</i>	217
5.5.3	Risultati (spostamenti)	219
5.5.4	Progettazione strutturale	221
5.5.5	Verifiche maschi murari	223
BIBLIOGRAFIA		229
INDICE DELLE FIGURE		230
INDICE DELLE TABELLE		232
INDICE ANALITICO		236



**Pagine non disponibili
in anteprima**



nenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro di risposta elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata, con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule η con $1/q$ (nel caso di analisi lineare, statica o dinamica), dove q è il fattore di comportamento – o di struttura secondo le NTC 2008 –, definito nel capitolo 5 del presente volume o nel Capitolo 7 delle NTC 2018. Nel caso di analisi non lineare il valore η viene assunto pari all'unità, $\eta = 1$. Si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0,2 a_g$.

1.5.6.9 Spettri di risposta di progetto per SLO

Per lo stato limite di esercizio, stato limite di operatività, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata.

1.6 ESEMPI DI CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate nel paragrafo 3.2 delle NTC 2018.

In particolare il procedimento per la definizione degli spettri di progetto è stato il seguente:

- definizione della vita nominale e della classe d'uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla determinazione del periodo di riferimento dell'azione sismica;
- individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_0 e T_C^* per tutti e quattro gli stati limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC): l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio;
- determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
- calcolo del periodo T_C corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.

Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito rispetto al Datum **ED50** corrispondenti al comune di Macerata (MC):

Latitudine	Longitudine	Altitudine
[°]	[°]	[m]
43.301667	13.451667	315

1.6.1 Confronto spettri di progetto al variare della categoria di sottosuolo

Vita nominale	50
Classe d'uso	2
Coefficiente di amplificazione topografica (S_T)	1,00

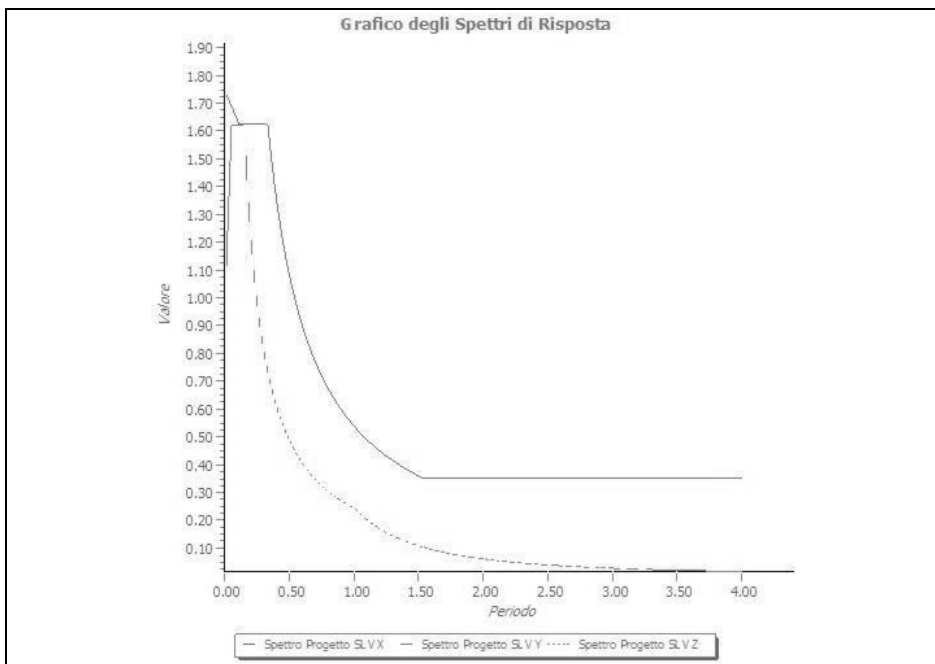
FATTORE DI STRUTTURA (q)	
Fattore di struttura (q_x) per sisma orizzontale in direzione X	2,625
Fattore di struttura (q_y) per sisma orizzontale in direzione Y	2,625
Fattore di struttura (q_z) per sisma verticale	1,50

REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA IN PIANTA	
La distribuzione di masse e rigidezze è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e la forma in pianta è compatta, ossia il contorno di ogni orizzontamento è convesso; il requisito può ritenersi soddisfatto, anche in presenza di rientranze in pianta, quando esse non influenzano significativamente la rigidezza nel piano dell'orizzontamento e, per ogni rientranza, l'area compresa tra il perimetro dell'orizzontamento e la linea convessa circoscritta all'orizzontamento non supera il 5% dell'area dell'orizzontamento.	Si
Il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4.	Si
Ciascun orizzontamento ha una rigidezza nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidezza degli elementi strutturali verticali da potersi assumere che la sua deformazione in pianta influenzi in modo trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi ultimi e ha resistenza sufficiente a garantire l'efficacia di tale distribuzione.	Si

REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA IN ALTEZZA	
Tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza della costruzione o, se sono presenti parti aventi differenti altezze, fino alla sommità della rispettiva parte dell'edificio.	Si
Massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25%, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base.	Si
Il rapporto tra la capacità e la domanda allo SLV non è significativamente diverso, in termini di resistenza, per orizzontamenti successivi (tale rapporto, calcolato per un generico orizzontamento, non deve differire più del 30% dall'analogo rapporto calcolato per l'orizzontamento adiacente); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti (<i>non significativo per le strutture in muratura</i>).	-
Eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengano con continuità da un orizzontamento al successivo; oppure avvengano in modo che il rientro di un orizzontamento non superi il 10% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante, né il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro orizzontamenti, per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.	Si

Per le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (Tab. 3.2.II NTC 2018) si veda la Tabella 1.33 prima riportata.

1.6.1.1 Caso 1: suolo di fondazione di categoria A



Parametri di calcolo per la costruzione degli spettri orizzontale e verticale

Stato limite	a_g/g	F_0	T_c^* [s]	C_c	T_B [s]	T_c [s]	T_D [s]	S_s
SLO	0,0530	2,429	0,272	1,00	0,091	0,272	1,812	1,00
SLD	0,0672	2,423	0,290	1,00	0,097	0,290	1,869	1,00
SLV	0,1778	2,446	0,331	1,00	0,110	0,331	2,311	1,00
SLC	0,2335	2,461	0,339	1,00	0,113	0,339	2,534	1,00

Legenda (pericolosità sismica):

SL [SLC] = stato limite di collasso - [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività.

a_g Accelerazione di picco al suolo.

F_0 Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

T_c^* Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

C_c Coefficienti di amplificazione di T_c^* .

T_B Periodo di inizio del tratto accelerazione costante dello spettro elastico in accelerazione orizzontale.

T_c Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro elastico in accelerazione orizzontale.

T_D Periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

S_s Coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Figura 1.10 - Suolo di fondazione di categoria A: grafico degli spettri di risposta



**Pagine non disponibili
in anteprima**



3.6.2 Analisi lineare statica

Il D.M. 17 gennaio 2018 dà la possibilità di utilizzare, sia per strutture a comportamento dissipativo che a comportamento non dissipativo per le quali la risposta sismica non dipende dai modi di vibrare superiori, l'analisi lineare statica anche definita *metodo delle forze laterali*.

In tale approccio l'azione sismica viene definita attraverso lo spettro di progetto e l'equilibrio è trattato staticamente con analisi di tipo lineare.

Come già previsto nel lontano D.M. 16 gennaio 1996, l'analisi statica lineare consiste semplicemente nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia che scaturiscono dall'azione sismica. Ciò è possibile a condizione che il periodo del modo di vibrare principale (T_1) non superi $2,5 T_C$ o T_D e che siano rispettati i concetti di regolarità in pianta ed in elevazione.

Qualora gli edifici siano inferiori a 40 m di altezza e abbiano una certa regolarità delle masse lungo tale altezza, il periodo fondamentale di vibrazione può essere desunto dalla relazione:

$$T_1 = 2\sqrt{d}$$

“dove d è lo spostamento laterale elastico del punto più alto dell'edificio, espresso in metri, dovuto alla combinazione di carichi [...] applicata nella direzione orizzontale” (§ 7.3.3.2 delle NTC 2018).

La forza i -esima da applicare a ciascuna massa dell'edificio vale:

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot \frac{W_i}{\sum_j z_j W_j}$$

Con i simboli (sempre § 7.3.3.2):

F_h	= $S_d(T_1) W \lambda / g$
F_i	è la forza da applicare alla massa i -esima;
W_i e W_j	sono i pesi, rispettivamente, della massa i e della massa j ;
z_i e z_j	sono le quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse i e j ;
$S_d(T_1)$	è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;
W	è il peso complessivo della costruzione;
λ	è un coefficiente pari a 0,85 se $T_1 < 2T_C$ e la costruzione ha almeno tre orizzontamenti, uguale a 1,0 in tutti gli altri casi;
g	è l'accelerazione di gravità.

Per la valutazione degli spostamenti d_E allo SLV (stato limite di salvaguardia della vita) si applica la formula suggerita dal D.M. 17 gennaio 2018:

$$d_E = \pm \mu_d \cdot d_{Ee}$$

Nella relazione di cui sopra il valore d_{Ee} indica gli spostamenti ottenuti dall'analisi lineare, dinamica o statica.

Mentre:

$$\mu_d = q \quad \text{se } T_1 \geq T_C$$

$$\mu_d = 1 + (q - 1) \cdot \frac{T_C}{T_1} \quad \text{se } T_1 < T_C$$

Con la limitazione che in ogni caso dovrà risultare: $\mu_d \leq 5q - 4$.

Gli spostamenti agli SLC si possono ottenere moltiplicando per 1,25 gli spostamenti ottenuti allo SLV.

3.6.3 Criteri di verifica agli stati limite

Per ogni stato limite richiesto il valore di ogni *domanda* di progetto, definito nella Tabella 3.4, dovrà essere inferiore al corrispondente valore della *capacità* di progetto. Queste verifiche dovranno essere rispettate per:

- elementi strutturali primari;
- elementi strutturali secondari;
- elementi non strutturali;
- impianti.

Tabella 3.4 [NTC Tab. 7.3.III] - Stati limite per elementi strutturali e per classi d'uso

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM ^(*)
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT ^(**)			DUT ^(**)		

(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.
 (**) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

La Tabella 3.4 è interessante al fine di individuare quali verifiche occorrono, per ogni stato limite, in funzione del coefficiente d'uso della struttura esaminanda differenziate per elementi primari (ST), elementi non strutturali (NS), impianti (IM).

Per rendere più agevole la lettura della Tabella 3.4 si esplicitano le sigle:

- SLE stato limite di esercizio;
- SLU stato limite ultimo;
- SLO stato limite di operatività;
- SLD stato limite di danno;
- SLV stato limite di salvaguardia della vita;
- SLC stato limite di collasso;
- CU classe d'uso;
- ST elementi strutturali primari;
- NS elementi non strutturali;
- IM impianti;



**Pagine non disponibili
in anteprima**



4.6 PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

La duttilità svolge un ruolo importante nella definizione della sicurezza in presenza di fabbricati in zona sismica. Si dovrà avere un'ottima conoscenza dei dettagli costruttivi del manufatto, del modo in cui fu costruito, dei materiali adoperati allo scopo di garantire se la struttura potrà ancora sopportare dei cicli di azioni sismiche indotte dal terremoto di progetto.

Spesso, nella pratica professionale, per costruzioni vetuste non si ha a disposizione nulla, nemmeno il progetto di massima strutturale e tanto meno è possibile conoscere la qualità dei materiali utilizzati all'epoca della costruzione o le ipotesi di calcolo, se sono state eseguite calcolazioni.

Quindi il professionista si trova di fronte ad un grosso punto interrogativo a cui si potrà dare risposta solo e soltanto con delle prove di laboratorio eseguite da enti qualificati ed autorizzati; prove che possono essere, a volte, anche distruttive, ma che sono indispensabili allo strutturista al fine di conoscere il più possibile su un'opera eseguita da altri ed in tempi diversi. Pertanto, il consiglio è quello di organizzare un team di esperti per la classificazione dei livelli di conoscenza della struttura.

4.6.1 Costruzioni in muratura

Nelle strutture in muratura in zona sismica si possono verificare dei meccanismi locali o globali. Quelli locali sono spesso caratterizzati dalla mancanza di cordolo in c.a. avente lo scopo di ammorzare le pareti ai solai e di definire, come precedentemente detto, la scatola del fabbricato. Altri effetti locali possiamo notarli in corrispondenza delle aperture, tipiche fessurazioni diagonali dovute all'alternarsi delle azioni taglianti del sisma.

I meccanismi globali, invece, sono quelli che interessano l'intero fabbricato impegnando i pannelli murari nel loro piano. Ovviamente, la sicurezza dovrà essere valutata nei confronti di entrambi i meccanismi sopra descritti e riportati dal D.M. 2018.

Per l'analisi sismica dei meccanismi locali si può far ricorso ai metodi dell'analisi limite dell'equilibrio delle strutture murarie tenendo conto, anche se in forma approssimata, della resistenza a compressione, della tessitura muraria, della qualità della connessione tra le pareti murarie, della presenza di catene e tiranti. Con tali metodi è possibile valutare la capacità sismica in termini di resistenza (applicando un opportuno fattore di struttura) o di spostamento (determinando l'andamento dell'azione orizzontale che la struttura è progressivamente in grado di sopportare all'evolversi del meccanismo).

L'analisi sismica deve essere eseguita su un modello strutturale quanto più possibile reale, con particolare attenzione alla rigidezza e resistenza dei solai, e all'efficacia dei collegamenti degli elementi strutturali.

In proposito le nuove NTC fanno riferimento alla cosiddetta unità strutturale (US) sulla quale bisogna valutare le azioni che vi derivano dai fabbricati contigui.

L'US deve avere alcuni requisiti che di seguito si sintetizzano in:

- continuità dalle fondazioni al tetto;
- deve essere delimitata o circondata da spazi aperti, separata da giunti strutturali;
- se gli edifici attigui sono di tipologia diversa la delimitazione dell'US è garantita.

Si dovranno valutare gli effetti di spinte generate da solai sfalsati di quota sulle pareti in comune con le US adiacenti, come pure devono definirsi le mutue azioni derivanti da prospetti non allineati e da US adiacenti di differente altezza.

La verifica di una US costituita da solai rigidi può eseguirsi con l'analisi statica non lineare verificando separatamente ogni interpiano dell'edificio e trascurando l'effetto dell'azione sismica sulla forza assiale dei maschi murari.

Il par. 8.7.1 delle NTC 2018 specifica inoltre che:

Con l'esclusione di US d'angolo o di testata, così come di parti di edificio non vincolate o non aderenti su alcun lato ad altre unità strutturali, l'analisi potrà anche essere svolta trascurando gli effetti torsionali, nell'ipotesi che gli orizzontamenti possano unicamente traslare nella direzione dell'azione sismica considerata. Nel caso invece di US d'angolo o di testata è comunque ammesso il ricorso ad analisi semplificate, purché si tenga conto di possibili effetti torsionali e dell'azione aggiuntiva trasferita dalle US adiacenti applicando opportuni coefficienti maggiorativi delle azioni orizzontali.

La Circolare 7/2019 prova ad elencare dei passi metodologici per meglio esplicitare la valutazione della sicurezza di un fabbricato esistente.

La risposta del fabbricato alle azioni statiche è la primissima cosa da eseguire. Si procede con l'analisi dei meccanismi di dissesto locale per azioni sismiche, come ad esempio il ribaltamento fuori piano medio delle singole pareti. Si analizzano tutte le situazioni di criticità che possano minare la stabilità dell'opera.

Successivamente si può procedere all'analisi sismica globale del fabbricato. La ripartizione dell'azione sismica sulle pareti portanti dipende da:

- rigidità dei solai nel proprio piano (infinitamente rigidi, di rigidità finita o di rigidità trascurabile);
- dal grado di adeguatezza dei collegamenti tra murature attigue.

La ripartizione ottimale delle forze orizzontali in funzione della resistenza e rigidità delle pareti portanti si ha con solai considerabili infinitamente rigidi e ben ammortati alle murature.

La Circolare fa un elenco quasi esaustivo, basato su esperienze di passati eventi sismici, relativamente alle cause attivanti meccanismi di dissesto (§ C8.7.1):

- assenza di connessioni, soprattutto in sommità, tra le diverse pareti di muratura;
- assenza di connessioni efficaci tra pareti ortogonali;
- assenza di connessioni trasversali tra i paramenti murari di una parete;
- muratura comunque poco coesa e facilmente disgregabile;
- presenza di elementi spingenti (archi, volte, cupole, puntoni di copertura) la spinta dei quali non sia efficacemente trasferita a elementi strutturali adeguatamente resistenti;
- presenza di orizzontamenti voltati di limitato spessore e soggetti a significativi spostamenti delle imposte (in particolare ai piani alti dell'edificio);
- coperture e/o solai male organizzati e/o mal collegati alle pareti;
- presenza di pareti eccessivamente snelle;
- presenza, ai piani alti, di masse di entità significativa (anche dovute a sopraelevazioni successive);
- presenza di fenomeni di degrado nei materiali;
- presenza di elementi non strutturali non adeguatamente ancorati o di per sé fragili e poco resistenti (cornicioni, timpani di facciata, camini, elementi di decoro, serbatoi, apparecchiature impiantistiche ecc.);
- presenza di corpi di fabbrica di differente altezza.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



5.4 CASO N. 4: MIGLIORAMENTO SISMICO DI UN FABBRICATO RURALE

5.4.1 Descrizione dell'intervento strutturale

Miglioramento sismico di un fabbricato rurale in muratura portante sito in provincia di Belluno.



Figura 5.19 - Stato di fatto

Interventi di progetto previsti:

- consolidamento della muratura con iniezioni di malta;
- miglioramento del sistema di fondazione mediante ringrossi di sezione in c.a.;
- ricostruzione di parte del solaio d'interpiano, consolidato tramite soletta collaborante in c.a. e connettori in acciaio;
- apertura vani in muratura portante e calcolo delle cerchiature in acciaio necessarie al fine di non variare significativamente la rigidezza e la resistenza dei maschi murari oggetto di intervento;
- realizzazione cordolo sommitale in c.a.;
- rifacimento della copertura in legno esistente con nuove travi uso fiume in legno massiccio.

5.4.2 Dati generali

Posizione geografica

Provincia	Belluno
Zona sismica	2

Parametri di pericolosità sismica

Terreno di fondazione	Categoria E
Classe d'uso	2
Vita nominale della struttura	50 anni
Coefficiente d'uso	1
Periodo di riferimento azione sismica	50 anni

Tabella 5.10 - Spettri di progetto (SLU-SLD)

Stato limite	T_R	a_g / g	F_0	T^*_C	C_C
Stato limite operatività	30	0.0653	2.499	0.240	2.04
Stato limite di danno	50	0.0891	2.440	0.260	1.97
Stato limite salvaguardia vita	475	0.2530	2.410	0.330	1.79
Stato limite prevenzione collasso	975	0.3427	2.400	0.350	1.75

Stato limite	T_R	T_B	T_C	T_D	S_S
Stato limite operatività	30	0.163	0.488	1.861	1.60
Stato limite di danno	50	0.171	0.512	1.956	1.60
Stato limite salvaguardia vita	475	0.197	0.591	2.612	1.33
Stato limite prevenzione collasso	975	0.204	0.613	2.971	1.10

Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1
Coefficiente di amplificazione topografica	T_1	1

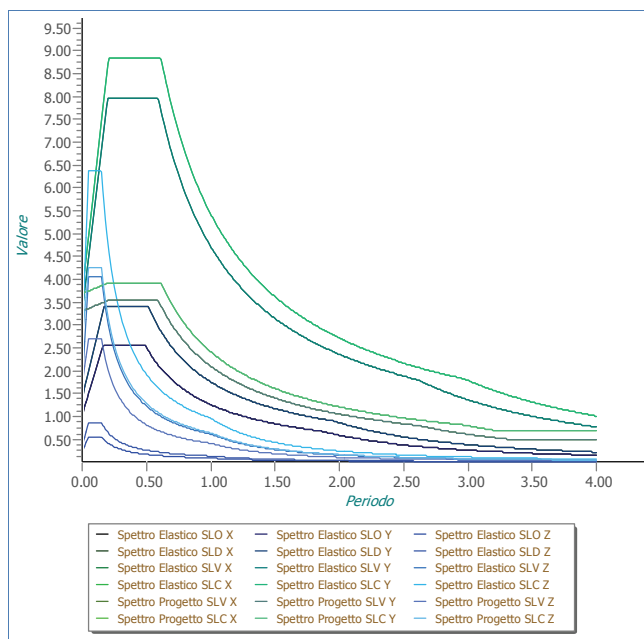


Figura 5.20 - Spettri di risposta

Per la definizione degli spettri di risposta, oltre all'accelerazione (a_g) al suolo (dipendente dalla classificazione sismica del Comune) occorre determinare il fattore di struttura (q).

Fattore di struttura (q_x) per sisma orizzontale in direzione X	1.875
Fattore di struttura (q_y) per sisma orizzontale in direzione Y	1.875
Fattore di struttura (q_z) per sisma verticale	1.500