

Giuseppe Albano

PROGETTAZIONE ANTISISMICA PRATICA

1ª edizione

 Legislazione Tecnica

© Copyright Legislazione Tecnica 2021

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 marzo 2021 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.

*“Qual è una delle tue **aspirazioni**? Può darsi che sia un **sogno** ormai dimenticato, o che hai cominciato ad abbandonare. Se quella **visione** fosse viva ancora oggi, come sarebbe la tua vita attuale? Prenditi un po’ di tempo, ora, soltanto per sognare e per pensare a cosa vuoi davvero dalla tua vita”.*

Anthony Robbins

*“Per evitare di ripetere situazioni **indesiderate**, dovete parlare di situazioni **gradite**. Parlate di ciò che volete e smettete di soffermarvi su esperienze, situazioni, risultati spiacevoli”.*

Esther e Jerry Hicks

*“**Fermati** un attimo e cerca di immaginare la traiettoria che percorrerà la tua vita da ora fin sul letto di morte. Sii onesto. Rimpiangerai il tempo sprecato e ti tormenterai per le cose che non hai fatto? Per i luoghi che non hai visto? La tua vita può essere sintetizzata in “tanta **fatica** ma poche soddisfazioni”? Se quello che vedi davanti a te è solo un’esistenza grigia e spenta che non merita di essere **ricordata**, questa è la tua possibilità di dare una piega diversa ai giorni a venire”.*

M.J. DeMarco

*“Ognuno di noi ha dentro di sé un **potere** infinito. Tutti possiamo risolvere ogni problema semplicemente facendo la **domanda** giusta al nostro IO interiore. Una grande domanda porterà ad una fantastica risposta. Lasciati il tempo per **pensare**. Lasciati lo spazio per **sognare**. Visualizza con tutti i sensi chi o cosa vuoi diventare. Non saprei spiegarti il perché, ma i **pensieri** ripetuti con forte intensità emotiva durante la vita diventano **cose**! È una legge naturale. Inspiegabile come potrebbe essere la legge di gravità”.*

G.A.

RINGRAZIAMENTI

Il 25 febbraio di quest'anno ho festeggiato, a sorpresa, 24 anni dal fatidico giorno di laurea in Ingegneria Civile-Strutture presso il Politecnico di Torino. Ricordo come fosse ieri quando per la prima volta il presidente della commissione strutture antepose la parola "*ingegner*" davanti al mio cognome.

Tante cose sono cambiate da quell'incredibile giorno. Mai avrei pensato di diventare scrittore e relatore in quello che amo, immediatamente dopo la mia famiglia.

Le pubblicazioni sono diventate molte, 48, e molti mi chiedono come ci sono riuscito. Anche perché dedico la maggior parte del tempo alla progettazione strutturale. A questa domanda le risposte sono tante. Quella che più mi piace ricordare è che sono particolarmente veloce nella scrittura su tastiera e bravo ad ottimizzare ogni singola ora lavorativa. Ma, ovviamente, la risposta più importante è: il profondo desiderio di lasciare degli scritti che possano, in parte, raccontare il mio pensiero e la mia "*filosofia strutturale*", come spesso la chiamo. I giovani di oggi spesso si lasciano poco coinvolgere dalla passione per l'ingegneria strutturale ed antisismica. Ho notato che sono stati smarriti i valori intrinseci della professione. Tutto viene prima del loro lavoro: i soldi, l'orgoglio, la saccenteria, il posto fisso, le otto ore lavorative (se riuscissero tutti a chiuderle con profitto!), la fidanzata, le vacanze, il Covid 19, la palestra, il mal di testa... Ogni cosa viene anteposta a quello che dovrebbe essere al primo posto: *l'amore per la professione*.

Grazie a questo ho raggiunto tutti gli obiettivi che mi sono prefissato. Ed ho studiato di tutto per la mia crescita personale e professionale. Nessuno mi ha detto cosa e come fare per avere successo. Ho studiato ogni campo non ingegneristico necessario per migliorare la flessibilità mentale, la quale è stata messa a dura prova durante il corso di laurea.

Ogni cosa è stata fatta con motivazione e con amore verso le strutture. Non ho mai smesso di mettere in pratica un importantissimo concetto della PNL (Programmazione neurolinguistica): il costante e continuo miglioramento.

Voglio ringraziare tutti coloro che mi hanno dato la possibilità di crescere e di applicare le mie conoscenze. Sono veramente tanti per poter essere citati. In particolare vorrei ringraziare colui a cui ho sempre creduto, colui che mi ha sempre dato la possibilità di rialzarmi dopo una caduta, che ha creduto sempre ed ininterrottamente sulle mie capacità e sulla mia voglia di mettermi in discussione, quella persona che ha curato ogni mia ferita, che mi ha asciugato ogni singola lacrima, che mi ha appoggiato in ogni scelta quotidiana. Grazie a lui sono diventato quello che sono e grazie a lui sono sicuro che continuerò a raggiungere ogni obiettivo per i prossimi decenni.

Grazie, in particolare, a te che stai leggendo queste parole. Spero che questo mio nuovo lavoro possa esserti di aiuto nella professione. Se dovessi aver bisogno o se volessi aiutarmi nel correggere eventuali errori presenti nel testo o per qualsiasi altro motivo, puoi contattarmi su g.albano@calcolostrutture.com e sarei onorato di esserti di aiuto, contento di ringraziarti per avermi chiamato (02 37 920 957).

Marzo 2021

Giuseppe Albano
by Calcolostrutture.com s.r.l.



PREFAZIONE

Il fondamentale scopo di questa pubblicazione è chiarire, per quanto possibile, i concetti più importanti da prendere in considerazione nella pratica progettazione strutturale e antisismica di fabbricati nuovi e di strutture esistenti. Come sempre, quando si tratta di libri scritti da me, il volume ha un taglio prettamente pratico. Le considerazioni di natura matematica hanno un valore puramente didattico e il lettore deve cercarle, se ne ha necessità, sui volumi della didattica accademica ed universitaria.

Il capitolo 1, **Concetti base della progettazione antisismica**, esemplifica principi e regole sulla concezione strutturale dei fabbricati. Sono spiegate nozioni sulla semplicità e simmetria strutturale, sulla resistenza e rigidezza bidirezionale, su resistenza e rigidezza torsionale. Altro viene presentato sul comportamento a diaframma dei piani e adeguatezza delle fondazioni. Interi paragrafi sono dedicati ai principi sulla regolarità in pianta e in altezza secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018 (e relativa Circolare applicativa). Non mancano esempi per capire la semplicità strutturale, in cui si evidenziano modelli di paragoni strutturali differenziati, uno dall'altro, per la presenza o meno del vano scale, per la presenza o meno del vano ascensore. Il paragrafo 1.5 è dedicato al *terremoto come laboratorio*: in esso si riportano una serie di foto di dissesti post sisma i quali vengono analizzati e commentati. Ogni foto ha una didascalia in cui si cercano di spiegare le cause che hanno portato a quel definito ed accertato danno strutturale. Il paragrafo 1.6 affronta la parte più importante della progettazione strutturale: la ideazione dell'anatomia strutturale. Essa va studiata con molta attenzione di concerto con il committente e soprattutto con l'architetto o con chi si occupa della forma dell'edificio. Si cerca di estrapolare quali possono essere i principali scopi legati ad una buona concezione delle strutture durante un evento sismico. Regole e principi sono enunciati in relazione al sistema strutturale per quanto riguarda le opere intelaiate, le controventature, le mensole antisismiche. Per quanto attiene alla modellazione strutturale degli edifici, sono analizzati: l'importanza del software di calcolo, gli effetti del secondo ordine, gli effetti torsionali, le membrature sismiche primarie e secondarie, i telai sismo-resistenti e i tamponamenti (con esempi di schematizzazione nella modellazione del software). Il paragrafo 1.9 è dedicato alle verifiche strutturali secondo l'Eurocodice 8 e le NTC2018 allo Stato limite di danno e allo Stato limite di collasso. Rilevanti contenuti sono riservati alla progettazione in capacità, ai meccanismi plastici nei telai, alla sovra-resistenza per i telai resistenti a momento, alle fondazioni, ai giunti sismici, alla distanza tra le costruzioni, all'altezza massima e limitazione negli edifici. Per le costruzioni in muratura,

in particolare, vengono esplicitati i principi base generali. È stato predisposto un paragrafo sulla scatolarità degli edifici in muratura, concetto importantissimo ai fini della resa antisismica di ogni edificio esistente.

Il capitolo 2, **La certificazione del rischio sismico**, passa in rassegna concetti indispensabili per la comprensione della consapevolezza del rischio sismico. Vengono analizzate le classificazioni sismiche dell'Italia sin dal 1984 arrivando alla conclusione che l'Italia è tutta sismica. Un ulteriore aspetto della consapevolezza del rischio sismico è legato al grado di sicurezza di un fabbricato; al riguardo si offrono cenni sulla vulnerabilità dei centri storici e sulle modalità di resistenza al sisma. Il secondo paragrafo spiega l'importanza della Regola dell'arte di costruire le murature legata direttamente alla qualità muraria. Si espongono i sette parametri elaborati dai professori Antonio Borri e Alessandro De Maria per la definizione della Regola dell'arte di costruire e si propongono diversi esempi per l'applicazione del metodo dei sette parametri. Dopo una sintesi di tali parametri della Regola dell'arte si passa alla determinazione numerica degli Indici di qualità muraria (IQM), anche con esempi importanti per la classificazione delle murature e per la determinazione semplificata delle caratteristiche meccaniche delle stesse.

La classificazione del rischio sismico degli edifici è il tema affrontato dal capitolo 3. Si analizzano le linee guida ed i metodi semplificato e convenzionale. Il paragrafo 3.3 presenta esempi di classificazione del rischio sia con metodo semplificato che con metodo convenzionale.

Il capitolo 4, intitolato **Una nuova metodologia per la valutazione del rischio sismico**, descrive il protocollo dell'autore denominato "*Il Metodo Antisismico™*" e le tre fasi costituenti: pre-verifica, verifica e progettazione. Nella relazione metodologica vengono illustrate le varie fasi necessarie alla determinazione dell'Etichetta Soglia Attenzione Sismica™: analisi del terremoto di progetto, analisi della Qualità muraria, analisi dei parametri statici e antisismici, costruzione dell'Etichetta; il tutto arricchito da esempi *step by step* per la definizione dei singoli elementi costituenti.

L'ultimo capitolo, il numero 5: **Pratica strutturale**, è dedicato all'ingegneria pratica, a casi concreti analizzati nel corso della libera professione dell'autore con una rassegna di progettazioni strutturali, di verifiche strutturali e di modellazioni. Sono contemplati diversi casi tipici: struttura nuova in conglomerato cementizio armato; miglioramento sismico di fabbricati in muratura danneggiati dal sisma del 2016 del Centro Italia; nuovo fabbricato in muratura armata e copertura in legno ed acciaio; sopraelevazione con adeguamento sismico di un fabbricato in muratura attraverso strutture in X-Lam e legno lamellare; copertura telescopica per piscina olimpionica con strutture in alluminio; nuova struttura agricola in acciaio.

INDICE

RINGRAZIAMENTI	4
PREFAZIONE	6
1. CONCETTI BASE DELLA PROGETTAZIONE ANTISISMICA	13
1.1 Premessa.....	13
1.2 Concezione strutturale	13
1.2.1 Semplicità strutturale	13
1.2.2 Simmetria strutturale.....	14
1.2.3 Resistenza e rigidezza bidirezionale.....	16
1.2.4 Resistenza torsionale e rigidezza torsionale.....	17
1.2.5 Comportamento a diaframma dei piani	18
1.2.6 Adeguatezza delle fondazioni	19
1.3 Regolarità strutturale.....	19
1.3.1 Premessa	19
1.3.2 Regolarità in pianta secondo l'EC8.....	20
1.3.3 Regolarità in pianta secondo le NTC2018	22
1.3.4 Regolarità in altezza secondo l'EC8	23
1.3.5 Regolarità in altezza secondo le NTC2018.....	25
1.4 Capire la semplicità strutturale con esempi	27
1.4.1 Premessa	27
1.4.2 Principali parametri sismici	27
1.4.3 Regolarità strutturale	28
1.4.4 Modello 3D senza vano scala	29
1.4.5 Modello 3D con vano scala.....	32
1.4.6 Modello 3D con vani scala e ascensore	33
1.4.7 Considerazioni finali.....	35
1.5 Il terremoto come laboratorio	36
1.6 Scopi della progettazione strutturale.....	49
1.7 Il sistema strutturale	52
1.7.1 Strutture intelaiate.....	53
1.7.2 Controventature	55
1.7.3 Mensole antisismiche	58
1.8 Modellazione strutturale degli edifici	62
1.8.1 Considerazioni generali	62
1.8.2 Effetti del secondo ordine	65
1.8.3 Effetti torsionali	65
1.8.4 Membrature sismiche primarie e secondarie	66
1.8.5 Telai sismo-resistenti e tamponamenti	67
1.9 Le verifiche strutturali	71
1.9.1 Generalità	71
1.9.2 Verifiche di Stato limite del danno.....	71
1.9.3 Verifiche di Stato limite ultimo.....	72
1.9.3.1 Premessa	72

1.9.3.2	Progetto in capacità	72
1.9.3.3	Meccanismi plastici nei telai	76
1.9.3.4	Sovra-resistenza telai resistenti a momento	79
1.9.3.5	Fondazioni e progettazione in capacità	79
1.9.3.6	Giunti sismici	81
1.9.3.7	Distanza tra costruzioni secondo le NTC2018	81
1.9.3.8	Altezza massima e limitazione negli edifici secondo le NTC2018	82
1.10	Alcune regole per le costruzioni in muratura	83
1.10.1	Considerazioni generali	83
1.10.2	Scatolarità	84
1.10.3	Concezione strutturale	85
2.	LA CERTIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO	89
2.1	La consapevolezza del rischio sismico	89
2.1.1	L'Italia è tutta sismica	89
2.1.2	Grado di sicurezza di un fabbricato	93
2.1.3	Vulnerabilità dei centri storici	94
2.2	La Qualità muraria	97
2.2.1	Premessa	97
2.2.2	Definizione della Regola dell'arte	98
2.2.2.1	Malta di buona qualità / efficace contatto fra elementi / zeppe	99
2.2.2.2	Ingranamento trasversale / presenza di diatoni	100
2.2.2.3	Elementi resistenti di forma squadrata	101
2.2.2.4	Elementi resistenti di grande dimensione	101
2.2.2.5	Sfalsamento fra i giunti verticali	101
2.2.2.6	Presenza di filari orizzontali	102
2.2.2.7	Resistenza degli elementi	103
2.3.	IQM – Esempi pratici	103
2.3.1	Sintesi dei parametri della Regola dell'arte	109
2.3.2	Determinazione numerica degli IQM	113
2.3.3	Esempi di calcolo dell'IQM	114
2.3.3.1	Premessa	114
2.3.3.2	Esempio n. 1: muratura di pietrame	116
2.3.3.3	Esempio n. 2: muratura di mattoni a 2 teste	118
2.3.3.4	Esempio n. 3: muratura con "occhialoni"	119
3.	LA CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DEGLI EDIFICI	121
3.1	Premessa	121
3.2	Linee guida e metodi	121
3.2.1	Metodo semplificato	122
3.2.2	Metodo convenzionale	126
3.3	Esempi di classificazione del rischio	129
3.3.1	Esempi di metodo semplificato	129
3.3.2	Esempi di metodo convenzionale	131

4. UNA NUOVA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO	141
4.1 Premessa	141
4.2 Il Metodo Antisismico™	142
4.2.1 Fase 1: pre-verifica	142
4.2.2 Fase 2: verifica	145
4.2.3 Fase 3: progettazione degli interventi	146
4.3 Relazione metodologica: Etichetta Soglia Attenzione Sismica™	146
4.3.1 Premessa	146
4.3.2 Step 1: analisi del terremoto di progetto	146
4.3.3 Step 2: analisi della Qualità muraria	149
4.3.4 Step 3: analisi dei parametri statici ed antisismici	150
4.3.4.1 <i>Data di costruzione e relativa normativa di calcolo</i>	150
4.3.4.2 <i>Regolarità in pianta</i>	151
4.3.4.3 <i>Regolarità in elevazione</i>	154
4.3.4.4 <i>Regolarità allineamento delle aperture</i>	156
4.3.4.5 <i>Snellezza delle murature inferiori a 12</i>	157
4.3.4.6 <i>Interpiani inferiori a 5 m</i>	158
4.3.4.7 <i>Copertura non spingente</i>	158
4.3.4.8 <i>Comportamento scatolare</i>	161
4.3.4.9 <i>Distanza tra pareti portanti inferiori a 5 m</i>	164
4.3.4.10 <i>Aperture e nicchie poste ad almeno 1 m da angolate e da altre pareti portanti</i>	164
4.3.4.11 <i>Interazione terreno/struttura</i>	165
4.3.5 Step 4: costruzione Etichetta Soglia Attenzione Sismica™	166
5. PRATICA STRUTTURALE	173
5.1 Premessa	173
5.1.1 Legende	174
5.2 Caso n. 1: struttura nuova in conglomerato cementizio armato e legno	179
5.2.1 Descrizione	179
5.2.2 Dati generali	180
5.2.3 Risultati di calcolo	181
5.2.4 Disegni	185
5.2.5 Classificazione del rischio sismico	186
5.3 Caso n. 2: miglioramento sismico di un fabbricato in muratura danneggiato dal sisma del 2016	188
5.3.1 Caratteristiche dell'edificio	188
5.3.2 Dati generali	189
5.3.3 Risultati di calcolo	190
5.3.4 Disegni	196
5.3.5 Vulnerabilità stato di fatto	197
5.3.6 Vulnerabilità stato di progetto	199
5.3.7 Classificazione del rischio sismico	201
5.4 Caso n. 3: miglioramento sismico di un fabbricato vetusto in muratura danneggiato dal sisma del 2016	202
5.4.1 Caratteristiche dell'edificio	202
5.4.2 Attestazione dello stato di danno	203

5.4.3	Tipologia degli interventi	207
5.4.4	Dati generali.....	209
5.4.5	Risultati di calcolo	211
5.4.6	Vulnerabilità stato di fatto	216
5.4.7	Vulnerabilità stato di progetto	218
5.4.8	Classificazione del rischio sismico.....	220
5.5	Caso n. 4: nuovo fabbricato in muratura armata e copertura in legno/acciaio	220
5.5.1	Descrizione	220
5.5.2	Dati generali.....	221
5.5.3	Risultati di calcolo	223
5.5.4	Accelerazione di collasso	226
5.5.5	Vulnerabilità sismica	227
5.5.6	Classificazione del rischio sismico.....	229
	5.5.6.1 <i>Relazione illustrativa</i>	229
	5.5.6.2 <i>Attestato di classificazione sismica</i>	233
5.5.7	Disegni.....	237
5.6	Caso n. 5: sopraelevazione con adeguamento sismico di un fabbricato in muratura attraverso strutture in X-Lam e legno lamellare	242
5.6.1	Generalità	242
5.6.2	Modelli di calcolo	243
5.6.3	Dati generali.....	245
5.6.4	Risultati di calcolo	246
5.6.5	Disegni.....	256
5.7	Caso n. 6: copertura per piscina olimpionica con strutture in alluminio... ..	263
5.7.1	Premessa	263
5.7.2	Modelli di calcolo strutturale e confronto tra NTC2018 ed Eurocodice.....	265
5.7.3	Modellazione di calcolo.....	268
5.7.4	Materiali e sezioni membrature	272
5.7.5	Grafici sintetici	275
5.8	Caso n. 7: struttura agricola nuova in acciaio	279
5.8.1	Descrizione	279
5.8.2	Modello di calcolo	280
5.8.3	Dati generali.....	281
5.8.4	Risultati di calcolo	282
5.8.5	Particolari.....	285
	BIBLIOGRAFIA	287
	INDICE DELLE FIGURE.....	289
	INDICE DELLE TABELLE.....	294
	INDICE DELLE FOTO	297
	INDICE ANALITICO	301

1

CONCETTI BASE DELLA PROGETTAZIONE ANTISISMICA

1.1 PREMessa

Questo capitolo definisce le regole generali per la progettazione antisismica di edifici aventi tipologie costruttive stabilite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 (d'ora in poi NTC2018) e secondo l'Eurocodice 8 (da ora EC8). Definiremo le principali basi relative alla concezione strutturale di edifici ed alla loro modellazione ed analisi.

1.2 CONCEZIONE STRUTTURALE

Un edificio è in grado di offrire una buona risposta strutturale tanto più facilmente quanto più il suo sistema strutturale possiede caratteristiche attivanti risposte semplici e chiare sotto l'azione di un evento sismico.

Tali caratteristiche fondamentali dovranno essere individuate sin dalla fase di concezione strutturale alla radice del processo di progettazione. I principi sono elencabili come segue:

- semplicità strutturale;
- simmetria strutturale;
- resistenza e rigidezza bidirezionale;
- resistenza e rigidezza torsionale;
- comportamento a diaframma dei piani;
- adeguatezza delle fondazioni.

1.2.1 Semplicità strutturale

Le forze sismiche seguono un percorso all'interno dell'organismo strutturale di ogni fabbricato. Esse sono associate alle masse messe in moto dalle forze di inerzia cinetiche del moto sismico. Quando il fabbricato gode di semplicità strutturale, sarà molto intuitivo stabilire i percorsi di trasmissione delle forze telluriche.

Negli edifici la maggior parte della massa sottoposta ad oscillazioni sismiche è collocata nei singoli piani. Da questo si deduce il motivo, che affronteremo in seguito, per cui i piani devono avere elevata rigidezza. Tale rigidezza garantisce il trasferi-

mento delle sollecitazioni inerziali verso le strutture verticali (pilastri, setti, pareti). Queste dovranno trasferire gli incrementi di carico, causati dalle forze sismiche, alle fondazioni.

Premettendo che azioni derivanti da forti terremoti mettono sempre in evidenza ogni piccolo difetto strutturale, anche del fabbricato molto bene concepito, occorre sottolineare che le strutture semplici sono sempre avvantaggiate nella resistenza, nella modellazione di calcolo, nell'analisi e nel dimensionamento. Inoltre, corpi di fabbrica regolari sono sempre meno soggetti ad incertezze derivanti dagli innumerevoli parametri innescati durante un evento sismico.

1.2.2 Simmetria strutturale

In realtà l'EC8 parla anche di uniformità e ridondanza: sono tutte caratteristiche correlate alla semplicità strutturale.

Il vantaggio dell'uniformità strutturale è di consentire la trasmissione delle forze inerziali attraverso dei percorsi diretti, specifici e brevi evitando inutili, tortuosi andamenti accendenti fenomeni di momenti e tagli parassiti non codificati nella specifica progettazione di quell'elemento.

La simmetria e l'uniformità strutturale dovranno essere ricercate in fase progettuale in pianta ed in elevazione. Spesso è necessario suddividere l'edificio in porzioni uniformi utilizzando dei giunti sismici. Ovviamente i blocchi che si andranno ad organizzare si comporteranno come elementi indipendenti l'uno rispetto all'altro e, in tal caso, occorrerà evitare fenomeni di martellamento (tra un corpo e l'altro) specifici soprattutto in opposizione di fase.

La distribuzione in pianta degli elementi strutturali porta alla determinazione di un centro delle rigidezze. Dall'altra parte si avranno distribuzioni di masse generanti forze di inerzia sismiche; è noto anche il baricentro delle masse. Un compito importante dello strutturista è fare in modo che baricentro delle masse e centro delle rigidezze siano il più possibile vicini al fine di ridurre i momenti torcenti di piano ed altri momenti parassiti. Se le strutture vengono concepite semplici o simmetriche è palese la riduzione della possibilità di momento torcente dato dal prodotto della risultante delle forze di massa (applicata nel relativo baricentro) e la distanza relativa al centro di rigidezza di piano.

Per comprendere bene questo significato è opportuno fare un semplice esempio.

In Figura 1.1 è riprodotta l'immagine 3D di un modello di calcolo di un fabbricato in conglomerato cementizio armato eseguito con un noto software di calcolo agli elementi finiti.

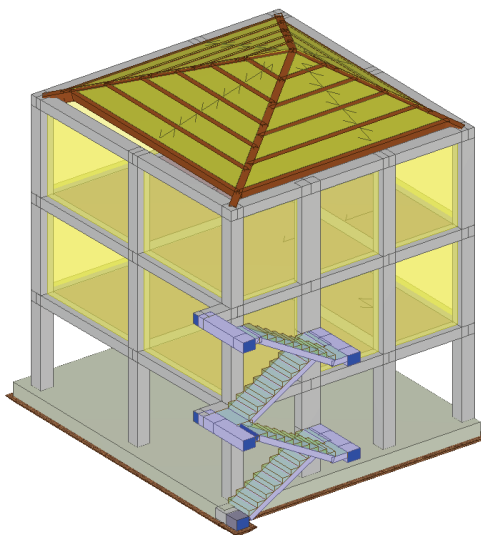


Figura 1.1 - Modello 3D di un fabbricato in c.c.a.

In Figura 1.2 si riporta anche la carpenteria del primo livello.

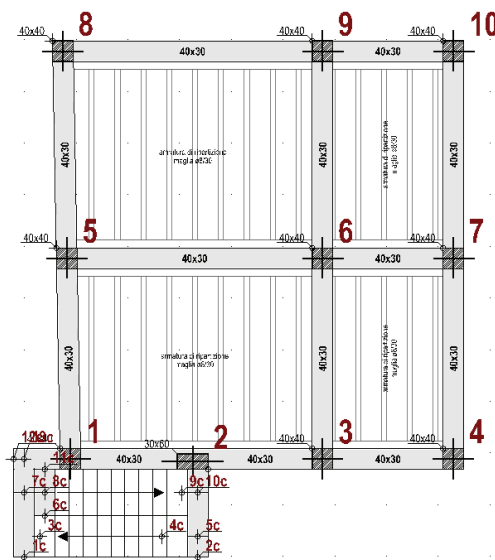


Figura 1.2 - Carpenteria del livello 1

Un osservatore attento è subito in grado di verificare la falsa regolarità in pianta del fabbricato in oggetto. Infatti, in Tabella 1.1 si riportano le coordinate dei due baricentri di cui sopra.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



2.2.2.2 Ingranamento trasversale / presenza di diatoni

Questo requisito impedisce la suddivisione di una parete che ha più paramenti costruiti addossati l'uno all'altro e, inoltre, permette la distribuzione del carico su tutto lo spessore del muro anche in quei casi in cui c'è un carico gravante solo su una parte della sezione (ad esempio, un solaio appoggiato soltanto sul bordo interno).

Il requisito può essere soddisfatto grazie ai diatoni, ossia pietre disposte trasversalmente al piano murario che attraversano tutto (o quasi) lo spessore della parete.

Ugualmente efficaci sono legature con elementi laterizi o di pietra non completamente passanti, ma in grado di interessare gran parte dello spessore della parete e ingranati fra loro (semi-diatoni).

I diatoni sono elementi trasversali che possono o meno passare totalmente la sezione della muratura. Garantiscono la monoliticità trasversale della parete come esemplificato dalla Figura 2.11.

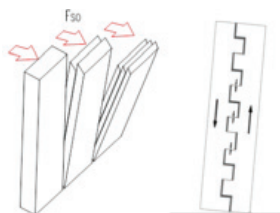


Figura 2.11 - Comportamento diverso per azioni ortogonali

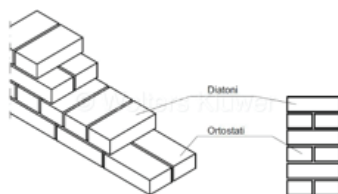


Figura 2.12 - Tipologia detta *opus quadratum* classico

Se il sisma ha la direzione parallela allo sviluppo in pianta della muratura, gli elementi “*ortostati*” indicati hanno migliore comportamento rispetto ai “*diatoni*”. Al contrario, qualora il sisma reagisse nella direzione perpendicolare allo sviluppo in pianta della parete, darebbero migliore resistenza i diatoni.

Ricordando ancora che le murature offrono appieno il loro contributo se sollecitate con azione sismica parallela al loro orientamento (si parla di azioni nel piano), è ovvio che sono molto importanti i diatoni che rendono auspicabilmente migliore la resistenza trasversale.

Alla fine se ne deduce che, per avere un comportamento monolitico, le pareti murarie devono possedere diatoni trasversali, anche in numero non elevato, ma posti in punti nevralgici.

2.2.2.3 Elementi resistenti di forma squadrata

La presenza di facce orizzontali sufficientemente piane assicura la mobilitazione delle forze d'attrito, cui si deve gran parte della capacità di una parete di resistere a sollecitazioni orizzontali ad essa complanari.

Infatti, l'attrito si mobilita principalmente sotto l'effetto della forza peso della muratura sovrastante la superficie di scorrimento. È intuitivo che l'attrito si massimizza per le superfici di scorrimento ortogonali alla forza peso, dunque per superfici di scorrimento orizzontali.

Elementi costituenti le murature che si allontanano dalla forma squadrata riducono il trasferimento delle forze di attrito mobilitanti essenzialmente per contatto di superfici. All'aumentare delle superfici di contatto aumenta tale trasferimento di carichi.

La presenza di pietre o ciottolame arrotondato definisce intrinsecamente l'instabilità muraria contrastabile soltanto dalla malta, sperando che sia di buona qualità.

2.2.2.4 Elementi resistenti di grande dimensione

Rispetto allo spessore del muro assicurano, come i diaconi, un buon grado di monoliticità della parete. Inoltre, proprio in virtù della loro grande dimensione, si tratta di elementi di notevole peso.

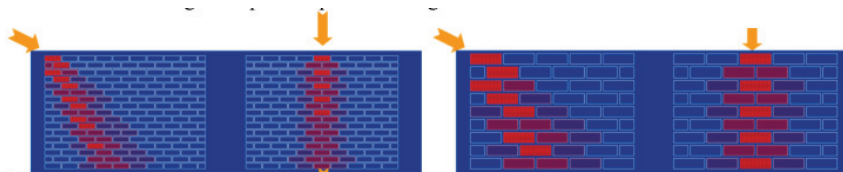


Figura 2.13 - Distribuzione con elementi di grandi dimensioni

Si ricordino le costruzioni romane. Esse erano realizzate con grossi blocchi proprio per il concetto sopra esposto. Più i blocchi sono grandi e più la parete tende al comportamento monolitico.

Il carico verticale concentrato viene meglio distribuito alla base della parete allorché le dimensioni dei blocchi sono maggiori. Pietre di piccole dimensioni sono sinonimo di scarsa qualità meccanica delle murature portanti.

2.2.2.5 Sfalsamento fra i giunti verticali

Tale condizione, insieme alla forma squadrata delle pietre, permette il cosiddetto “effetto catena” che fornisce una (“pseudo”)resistenza a trazione alla muratura.

Inoltre, anche se le pietre non sono squadrate, se si hanno giunti regolarmente sfalsati si mobilita un'altra grande risorsa resistente delle murature: l'ingranamento nel piano della parete fra gli elementi resistenti (detto anche “*effetto incastro*”).

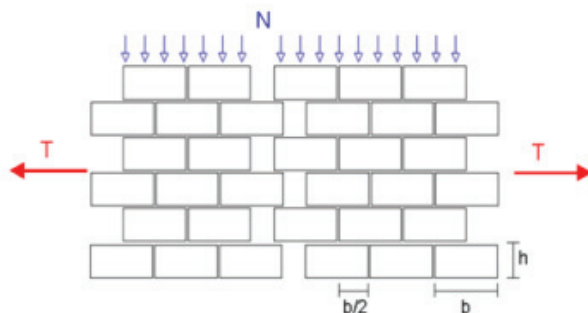


Figura 2.14 - Effetto catena nelle murature (disegno di G. Cangi)

Le murature non hanno resistenza a trazione come le strutture in conglomerato cementizio armato, in acciaio o in legno. Non avendo tale requisito fondamentale in zona sismica, lo sfalsamento dei giunti tende a darne una piccola entità sfatando problemi di dissesti per flessione fuori piano o taglio, almeno nel caso di non forti terremoti. Lo sfalsamento dei giunti genera un aumento della superficie dei blocchi sottoposta all'attrito.



Foto 2.3 - Giunti NR: Non Rispetto Regola dell'arte



Foto 2.4 - Giunti R: Rispetto Regola dell'arte

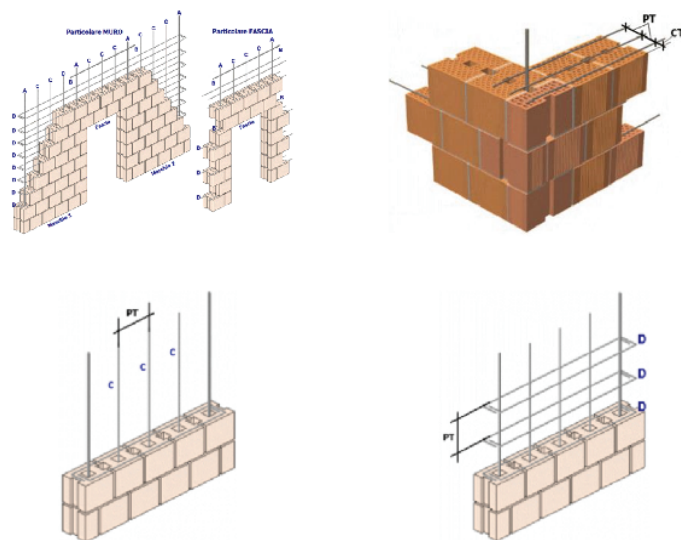
2.2.2.6 Presenza di filari orizzontali

Tale requisito induce una buona distribuzione dei carichi verticali in quanto si ottiene un vincolo di appoggio regolare.



**Pagine non disponibili
in anteprima**





- A: Armatura concentrata verticale (1Ø16/2cm - copriferro 5cm)
 B: Armatura concentrata orizzontale (1Ø16/2cm - copriferro 5cm)
 C: Armatura diffusa verticale (1Ø8/15cm)
 D: Armatura diffusa orizzontale (2Ø8/15cm)

Figura 5.76 - Particolari muratura armata

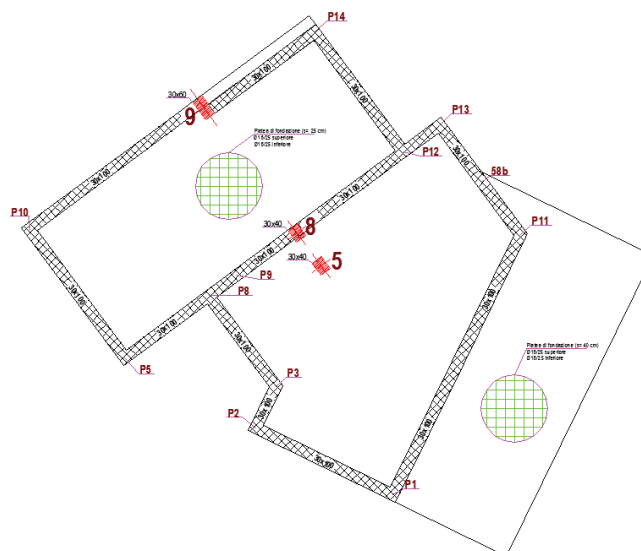


Figura 5.77 - Carpenteria quota fondazioni

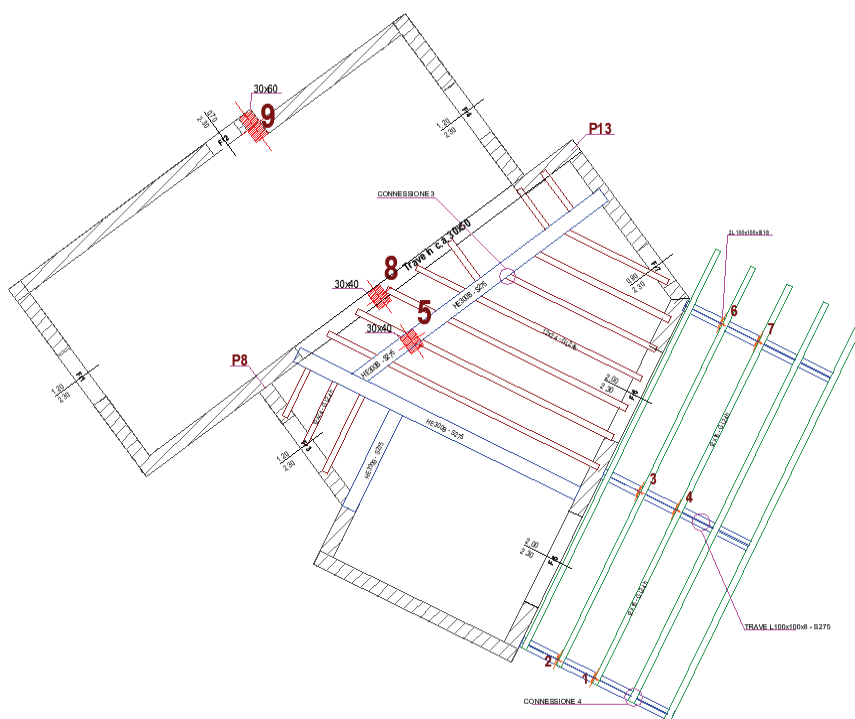


Figura 5.78 - Carpenteria primo livello

5.6 CASO N. 5: SOPRAELEVAZIONE CON ADEGUAMENTO SISMICO DI UN FABBRICATO IN MURATURA ATTRAVERSO STRUTTURE IN X-LAM E LEGNO LAMELLARE

5.6.1 Generalità

Oggetto del paragrafo è l'adeguamento sismico per sopraelevazione di un fabbricato in muratura di pietra tenera. Come tipologia costruttiva sono stati utilizzati il legno lamellare per la copertura ed i pannelli X-Lam per le pareti portanti del piano superiore.

Una serie di figure descriveranno le varie caratteristiche delle strutture esistenti e degli interventi di miglioramento del fabbricato.

5.6.2 Modelli di calcolo

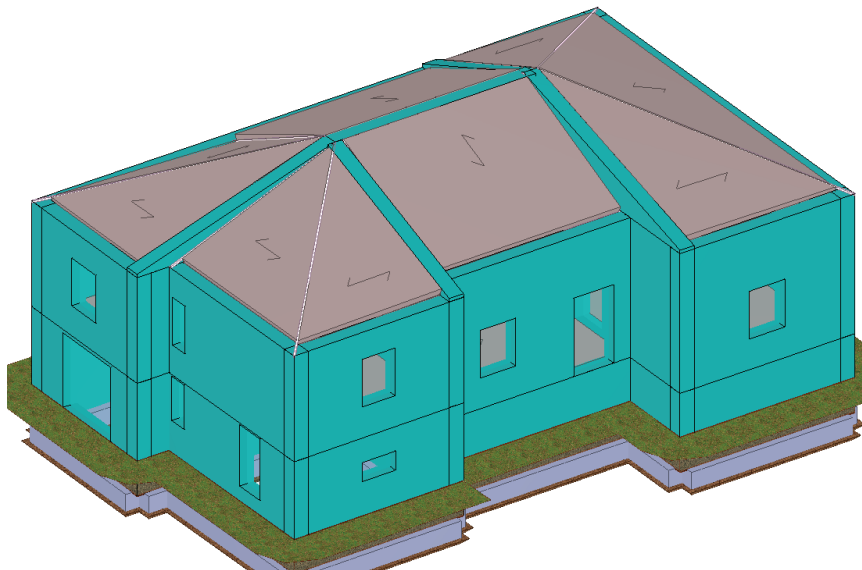


Figura 5.79 - Modello *ante operam*

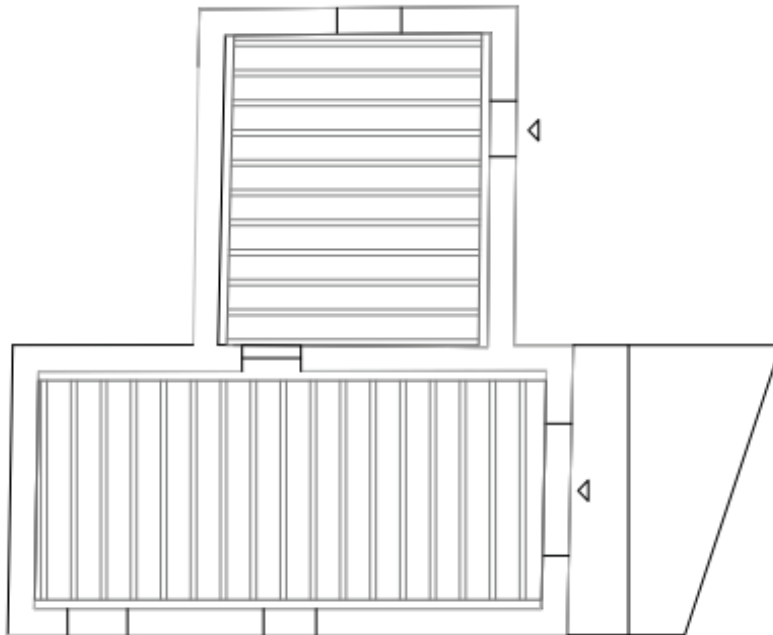


Figura 5.80 - Carpenteria piano seminterrato

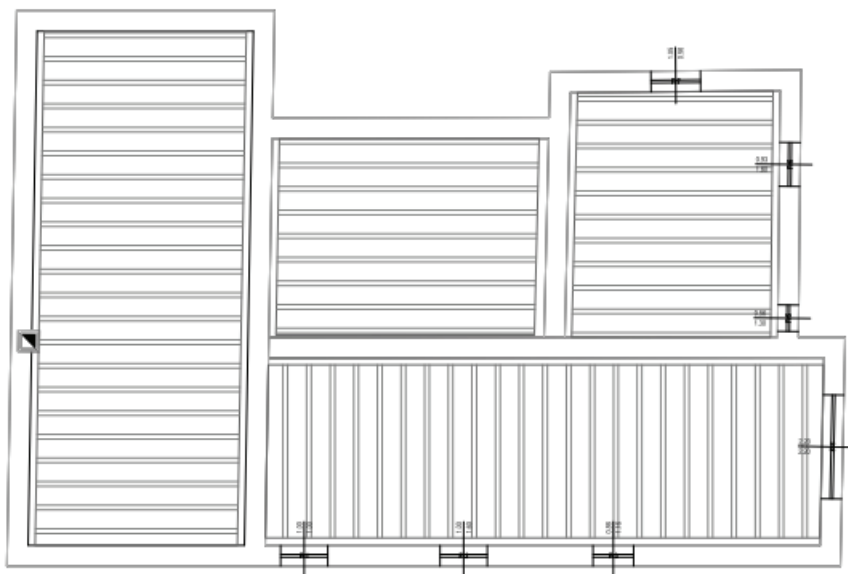


Figura 5.81 - Carpenteria piano terra

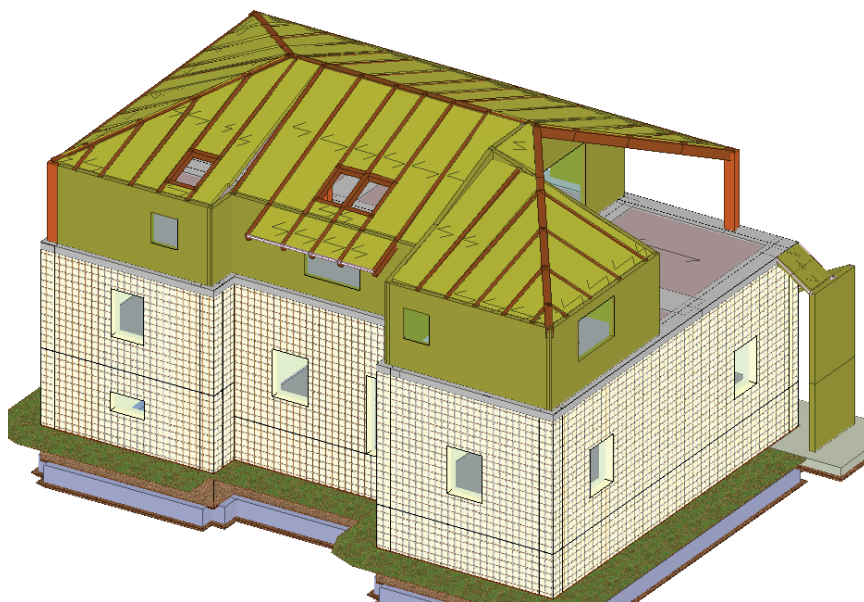


Figura 5.82 - Modello *post operam*

5.6.3 Dati generali

Tabella 5.58 - Parametri analisi sismica caso n. 5

Provincia	Salerno
a_g/g	0.105
Categoria del suolo	B
Amplificazione topografica T_1	1
Classe dell'edificio	2
Vita nominale	50 (anni)
Coefficiente d'uso	1.0
Periodo riferimento azione sismica	50 (anni)
Tipologia strutturale	Muratura
Classe di duttilità	NC
Rispetto gerarchia resistenze	NC
Tipo eccentricità secondaria	Strutture generiche
Coefficiente viscoso equivalente	5%
Fattori di comportamento:	
q Sisma orizzontale	1.875
q Sisma verticale	1.50

Tabella 5.59 - Parametri spettro orizzontale di progetto caso n. 5

Stato limite	T_r	A_g/g	F_0	T_c^*	T_b	T_c	T_d	S_s	C_c
Stato limite operatività	30	0.0375	2.409	0.280	0.132	0.397	1.750	1.20	1.42
Stato limite danno	50	0.0470	2.404	0.326	0.149	0.448	1.788	1.20	1.38
Stato limite salvaguardia vita	475	0.1050	2.607	0.447	0.193	0.578	2.020	1.20	1.29
Stato limite prevenzione collasso	975	0.1299	2.690	0.474	0.202	0.606	2.119	1.20	1.28

Tabella 5.60 - Parametri spettro verticale di progetto caso n. 5

Coefficiente amplificazione stratigrafica S_s	1
Periodo inizio tratto accelerazione costante spettro T_b	0.05
Periodo inizio tratto velocità costante spettro T_c	0.15
Periodo inizio tratto spostamento costante spettro T_d	1.00