

---

# sintesi di tesi di laurea

---

Università di Pisa - Facoltà di Ingegneria

## EDIFICI SISMORESISTENTI OTTENUTI COLLEGANDO IN MODO FRAGILE CORPI DI FABBRICA ELEMENTARI

Laureata in Ingegneria Civile: Martina CARLI

Relatori: Prof. Ing. Natale GUCCI, Ing. Fabrizio SIMONELLI

Data di laurea: 25 Febbraio 2008

*La sismoresistenza degli edifici si ottiene prima di tutto con un'opportuna conformazione della costruzione, cioè con scelte architettoniche che tengano oculatamente conto della distribuzione delle masse, delle rigidità e delle resistenze. Ciò comporta semplicità di forme che condizionano la morfologia degli edifici spesso in modo inaccettabile. La normativa ha cercato di imporre questo tipo di scelte (Ordinanza 3274/03), ma ha dovuto subito dopo mitigare il rigore con prescrizioni di compromesso. D'altra parte la possibilità di progettare edifici articolati componendo corpi di fabbrica elementari, rendendoli indipendenti con separazioni che consentano movimenti mutui in caso di scuotimento sismico, obbligherebbe a inaccettabili soluzioni di continuità in edifici necessariamente unitari.*

*Questa tesi di laurea verifica la possibilità di ottenere tale composizione con giunti che realmente collegano i corpi di fabbrica elementari per le azioni correnti, ma che si rompono in caso di scuotimento sismico intenso consentendo ai singoli componenti di esplicare in modo indipendente la sismoresistenza per cui sono stati ottimizzati per forma, rigidità, resistenza e duttilità.*

*La tesi analizza prima di tutto la possibilità di scomposizione degli edifici in corpi elementari esaminando progetti di edifici depositati al Genio Civile e quindi individua la possibilità di un catalogo di progetti di strutture di corpi di fabbrica elementari dal quale attingere per le progettazioni architettoniche, superando così, una volta per tutte, le complessità analitiche e i conseguenti rischi che la normativa attuale comporta. Viene poi concepito un tipo di giunto per le strutture in cemento armato e ne viene verificata per via analitica la capacità di risolvere il problema della connessione fragile con soluzione costruttivamente e commercialmente plausibile.*

Natale GUCCI

### 1. INTRODUZIONE

Il corretto processo di progettazione consta di una concezione verificata con un processo iterativo, fra le diverse prerogative da conferire all'opera, e iterativo fra concezione e sua verifica.

Questo processo è oggi troppo spesso disatteso nella sua seconda fase perché le prassi correnti, indotte anche da leggi inopportune, non consentono correzioni della concezione in sede di progettazione esecutiva.

Fra le prerogative indispensabili va annoverata la sismoresistenza che dipende fortemente dalle scelte architettoniche. Poiché queste sono operate nella fase iniziale della progettazione e poi verificate nell'ultima, ne consegue che la difficoltà di rivedere le scelte architettoniche condiziona di fatto la sicurezza della costruzione e costringe ad artifici di calcolo per giustificare concezioni sbagliate. Questi artifici sono di fatto favoriti dalle norme le cui pieghe sono funzione della loro complessità, caratteristica che, a sua volta, genera motivi di errore.

Il ritorno alla progettazione secondo le buone regole dell'arte, cioè all'antico processo che, non prevedendo verifiche analitiche non comprendeva il processo iterativo fra concezione e verifica, potrebbe costituire un concreto contributo alla sicurezza e all'economia degli edifici.

Per quanto attiene alla sismoresistenza, in questa tesi viene esaminata la possibilità di fornire un catalogo di progettazioni ottimizzate di corpi di fabbrica elementari da utilizzare in fase di concezione degli edifici e da connettere con giunti capaci di realizzare continuità per le azioni correnti e separazione per quelle sismiche intense.

### 2. L'IDEA: EDIFICIO COMPOSTO DA CORPI DI FABBRICA ELEMENTARI

Come già accennato, per rendere ottimale la progettazione edilizia ordinaria e risolvere le carenze della progettazione moderna sopra espresse, la proposta contenuta in questa tesi è quella di mettere a disposizione dell'"architetto", indipendentemente dal suo titolo di studio, un catalogo ossature di corpi di fabbrica già progettati cui attingere per ottenere, per composizione, geometrie soddisfacenti alla sismoresistenza senza però condizionare le sue scelte formali in modo inammissibile per una buona architettura.

Ciò si può ottenere pensando di scomporre un edificio in corpi di fabbrica elementari, ciascuno ottimizzato nei riguardi della sismoresistenza per forma e struttura, per poi ricomporlo con collegamenti capaci di realizzare continuità in assenza di scuotimenti sismici, ma fragili in fase di terremoto

in modo da consentire a ciascun corpo di fabbrica di muoversi in modo indipendente, esplicitando così la sismoresistenza per la quale è ottimizzato. Lo studio parte da un sondaggio statistico presso gli uffici del Genio Civile delle province di Pisa, Livorno e La Spezia per valutare la possibilità di scomporre gli edifici per civili abitazioni ordinarie, progettati negli ultimi 10 anni circa, in corpi di fabbrica elementari. Il secondo passo è quello di concepire "giunti" da immergere nei casseri delle strutture in c.a. fra orditure indipendenti; detti giunti dovrebbero essere capaci di realizzare continuità per le azioni statiche, per poi frantumarsi in caso di martellamento da scuotimento sismico così da separare i vari corpi di fabbrica come se fossero stati costruiti in modo indipendente, nel rispetto anche della normativa vigente (con distanza tra un corpo di fabbrica e l'altro pari ad 1/100 dell'altezza).

### 3. CONFORMAZIONE DEI CORPI DI FABBRICA E CREAZIONE DI UN CATALOGO

La sismoresistenza di un edificio è fortemente dipendente dalla sua conformazione architettonica.

La nuova Normativa Tecnica, D.M. 14 Gennaio 2008, tratta l'argomento prescrivendo, al punto 7.2.2, per tutte le costruzioni, una regolarità in pianta e in altezza.

Ciò limita fortemente la forma dell'edificio che deve risultare quanto più possibile simmetrica, inscrivibile in un rettangolo non troppo allungato e senza eccessivi rientri o sporgenze. La norma predilige dunque forme elementari che sono sicuramente favorevoli alla buona sismoresistenza dell'edificio, ma che non sono le uniche possibili: conformazioni più elaborate da un punto di vista architettonico possono essere comunque adatte, purché frutto di uno studio consapevole del comportamento della costruzione in fase di scuotimento, di una adeguata distribuzione di masse, rigidzze e resistenze, di una scelta ottimale di sistemi costruttivi, materiali e proporzionamenti.

Il catalogo proposto con questa tesi, suscettibile di continuo aggiornamento, presenta corpi di fabbrica di forma molto regolare, studiati, per dimensione, in funzione della destinazione d'uso, con l'ausilio di indagini su edifici ordinari costruiti nelle province di Pisa, Livorno e La Spezia.

Si accenna in questa sede soltanto ai corpi di fabbrica destinati a vano scale e a un edificio tipo cui sono stati riferiti i calcoli di verifica (fig. 5).

È opportuno collocare la zona del fabbricato adibita a vano scale/ascensore in un corpo di fabbrica indipendente in modo da avere una libertà maggiore nella scelta della sua posizione. Di forma sicuramente rettangolare, presenta dimensioni in pianta variabili in funzione delle scelte progettuali. Si è rilevato che la maggior parte dei progetti depositati riguarda fabbricati costituiti da due piani fuori terra: per questo motivo non si riscontra la presenza di un ascensore, necessario invece in caso di un numero di piani maggiore.

La larghezza minima di un vano scale è di 2,40m e le dimensioni tipiche di un ascensore sono di 2m x 2m: è stata riscontrata la presenza di vani scale di larghezza massima 3 metri, senza previsione di ascensore.

La presenza nel catalogo di corpi di fabbrica di forma quadrata o rettangolare permette una composizione libera dell'edificio, accoppiando i diversi moduli per ottenere la conformazione desiderata.

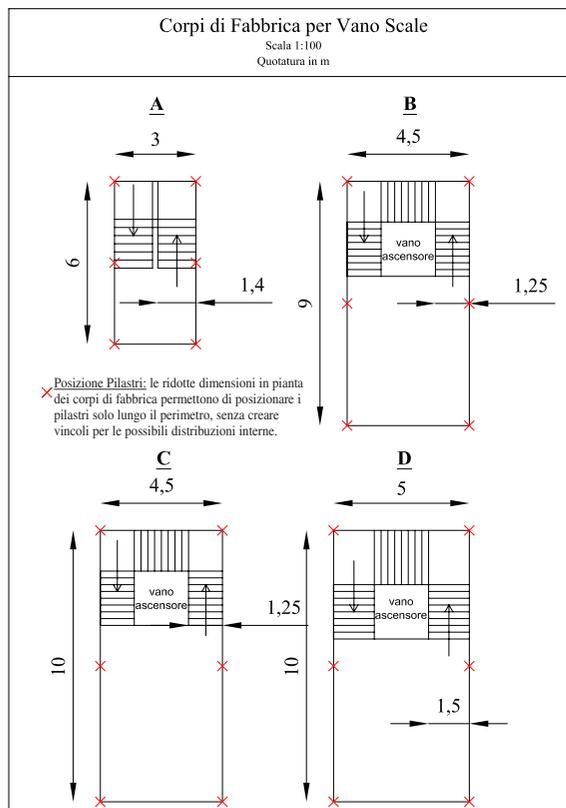


Fig. 1 - Esempi di Corpi di Fabbrica da adibire a vano scale

### 4. TECNOLOGIA DI COLLEGAMENTO

I diversi corpi di fabbrica vengono collegati tra loro da un giunto di materiale plastico fragile ottenuto con barre di produzione industriale e con dimensioni unificate in un catalogo che ne consenta la scelta secondo la distanza voluta fra i corpi elementari e con la possibilità di due classi di resistenza.

La filosofia di funzionamento di tale giunto è esattamente opposta rispetto ai comuni giunti sismici: questi, infatti, sono impropriamente definiti giunti perché realizzano separazioni, mentre la proposta qui esposta ricerca un tipo di vera connessione con particolari caratteristiche di fragilità che, in caso di sisma corrispondente allo Stato Limite Ultimo (Sisma di collasso), lascia le singole parti libere di scuotere al meglio, in ragione della loro forma ottimizzata. In caso di sisma di forte intensità, non vi è dunque apprezzabile dissipazione di energia attraverso il giunto, ma ogni singolo

corpo di fabbrica dissiperà energia scuotendo indipendentemente dagli altri moduli evitando in tal modo martellamenti, grazie al venir meno della connessione. La sismoresistenza rimane così immutata rispetto alla soluzione con corpi separati o addirittura superiore se l'edificio "sceglie" di opporsi al sisma senza rompere alcune delle connessioni fragili.

Il giunto viene dimensionato per resistere a sollecitazioni conseguenti a condizioni di carico ordinarie (Azioni permanenti, Sovraccarico di esercizio, Variazioni termiche) e per un sisma corrispondente allo Stato Limite di Danno.

Sarà poi verificato che il giunto, così ideato, si frantumi in caso di sisma corrispondente allo Stato Limite Ultimo.

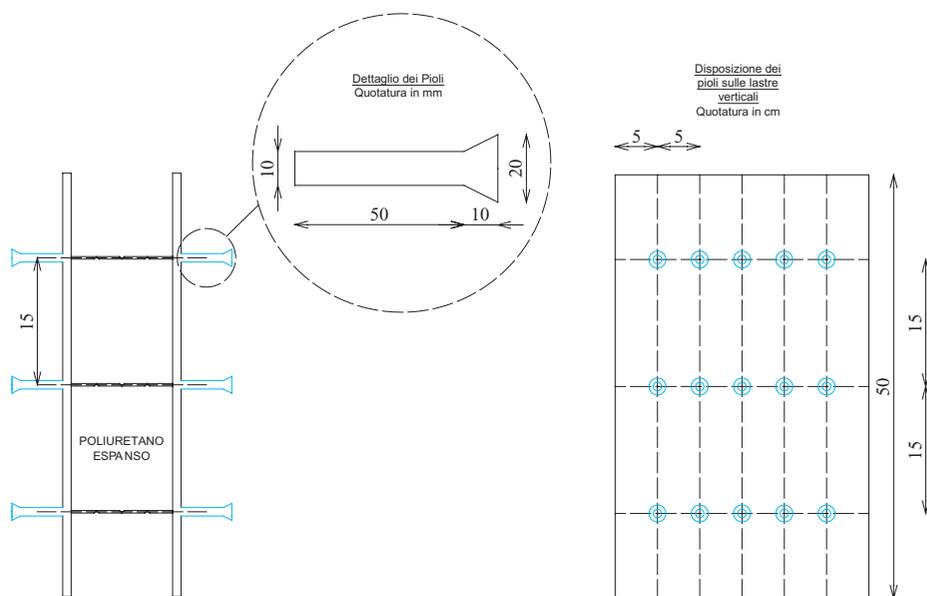


Fig. 2 - Giunto completo, il poliuretano espanso protegge dal getto e consente il taglio per l'adattamento ai casseri

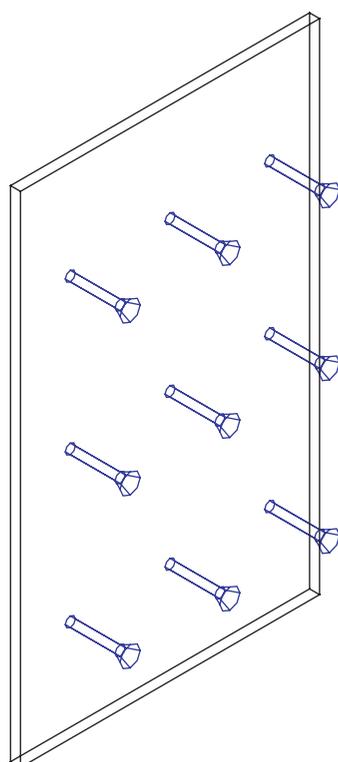


Fig. 3 - Elemento di lastra laterale

Il giunto progettato è costituito da due lastre verticali, distanti tra loro  $1/100 H$ , con  $H$  = altezza dell'edificio, e da una serie di lastre orizzontali, disposte a passo opportuno in funzione della resistenza da conferire al giunto (figg. 2 e 3). Ciascuna lastra orizzontale presenta un intaglio eccentrico con funzione di innesco della rottura (fig.6)

Per ancorare il giunto al cemento armato, questo viene dotato di pioli poco più lunghi del copriferro delle travi o dei pilastri che deve unire (fig. 3), mentre, per impedire il riempimento in fase di getto e consentire adattamenti con tagli, le cavità del giunto vengono riempite con poliuretano espanso.

Il giunto viene prodotto in barre e portato in cantiere pronto per essere tagliato a misura e inserito all'interno del cassero prima del getto.

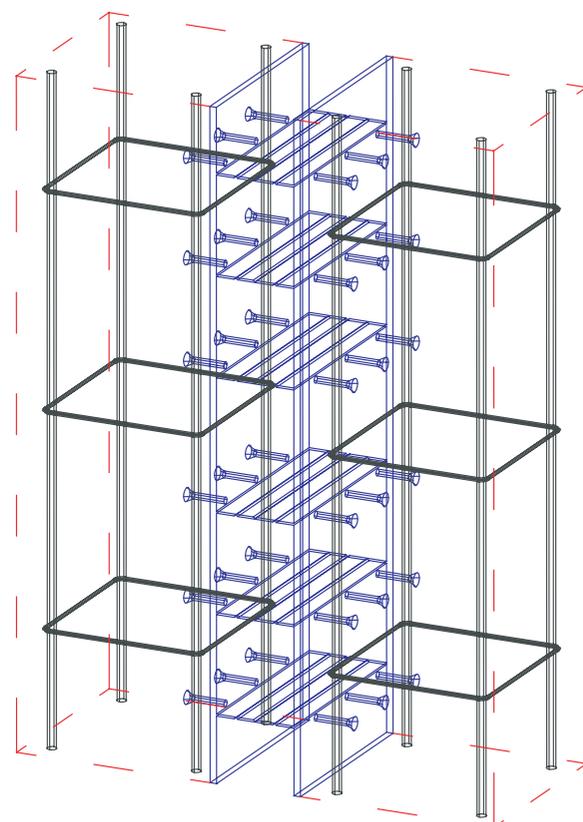


Fig. 4 - Posizione finale fra due pilastri, il giunto viene annegato nei casseri fra due armature indipendenti

Il materiale scelto per la composizione del giunto è il PVC rigido che viene colato allo stato fuso in stampi: si tratta di un materiale economico e comune, caratteristiche indispensabili in vista di una produzione su larga scala.

Le caratteristiche meccaniche del PVC sono le seguenti:

Modulo elastico  $E$  da 24000 a 41000 kg/cm<sup>2</sup>  
Resistenza a trazione da 407 a 517 kg/cm<sup>2</sup>

Per sua natura risulta un materiale abbastanza fragile; inoltre, aggiungendo una percentuale adeguata di carbonato di calcio si può aumentare il modulo elastico, in modo da rendere il giunto più rigido e più adatto ad una rottura fragile e contemporaneamente diminuire la sua resistenza fino al valore necessario.

In commercio si trova già PVC additivato al 30% con carbonato di calcio, già adatto allo scopo.

## 5. PREVISIONI TEORICHE DI FUNZIONAMENTO

Per lo studio del comportamento del sistema corpi di fabbrica-giunto, in fase statica e in fase di scuotimento, è stata condotta un'analisi dinamica modale associata allo spettro di risposta di progetto su un modello di edificio ordinario da noi composto unendo 4 corpi di fabbrica scelti dal ca

**Posizione dei pilastri:** i pilastri vengono disposti lungo il perimetro e ne viene aggiunto uno all'interno del corpo di fabbrica, in posizione centrale. Quest'ultimo pilastro può creare vincoli nella distribuzione interna ma risulta indispensabile.

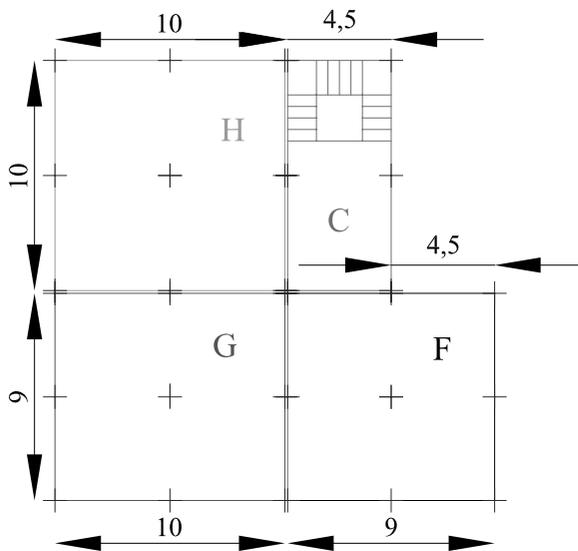


Fig. 5 - Pianta dell'esempio oggetto di analisi, l'edificio risulta composto da 4 piani fuori terra; una possibile distribuzione interna vede i corpi di fabbrica H, G, F occupati, a piano terra, da garage mentre ai piani superiori da 3 appartamenti per ogni piano ciascuno di dimensioni 90 mq circa

Lo spettro di risposta usato per il calcolo è quello relativo alla *zona sismica 2* (a pericolosità media,  $0,25 g > a_g > 0,15 g$ ) in quanto gli edifici ordinari presi a campione sono situati in comuni ricadenti in questa zona.

L'analisi viene condotta su di un modello tridimensionale a travi e pilastri; il giunto che collega ciascun corpo di fabbrica è modellato con bielle soggette a sforzo normale: la conformazione dei piani orizzontali del giunto è studiata in modo tale da permettere la rottura a sforzo normale in zone localizzate in cui la sezione del piano stesso si riduce a 1 mm ed è eccentrica (fig. 6).

In condizioni di Esercizio, l'azione che gioca un ruolo fondamentale ai fini dello studio delle sollecitazioni sul giunto è la variazione termica. Quest'ultima prevale anche sull'azione sismica ricavata dallo spettro di risposta elastico con le ordinate divise per un fattore di struttura  $q$  pari a 2.5, considerata nella combinazione di carico dinamica relativa allo stato limite di danno.

Per lo studio del comportamento del giunto allo stato limite ultimo si considera un'azione sismica data dallo spettro di risposta elastico senza nessuna diminuzione delle sue ordinate.

Dai calcoli effettuati risulta che, in condizioni di Esercizio e allo Stato Limite di Danno (SLD), la tensione di trazione massima sul giunto è di circa  $300 \text{ kg/cm}^2$  mentre allo Stato Limite Ultimo (SLU) raggiunge i  $360 \text{ kg/cm}^2$ : risulta dunque necessaria l'aggiunta di una percentuale opportuna di carbonato di calcio in modo da ridurre la resistenza a trazione del PVC a circa  $350 \text{ kg/cm}^2$  e originare la rottura del giunto allo SLU.

Disponendo in maniera diversa i 4 corpi di fabbrica in modo che il tratto di ancoraggio sia minore rispetto al caso precedente, gli sforzi di trazione ottenuti sono maggiori ( $s_{t,max} \text{ (SLD)} = 406 \text{ kg/cm}^2$ ;  $s_{t,max} \text{ (SLU)} = 466 \text{ kg/cm}^2$ ): è quindi necessaria una resistenza a trazione maggiore che si può ottenere ricorrendo a materiale più resistente, per non modificare in modo costoso la forma degli stampi.

Per gestire la produzione del giunto garantendo il soddisfacimento di diversi livelli di resistenza senza creare giacenze di magazzino si può pensare di produrre il giunto con materiale additivato con percentuali differenti di carbonato di calcio in modo da coprire due intervalli di resistenze da utilizzare in funzione della richiesta. Questa richiesta fa parte della predisposizione del catalogo dei progetti che dovrà contemplare anche l'entità della superficie a contatto fra i corpi di fabbrica e quindi il tipo di giunto necessario.

## 6. CONCLUSIONI

In sintesi, questo studio ha verificato la fattibilità di un'idea rivolta a conferire sismoresistenza agli edifici più ricorrenti nella pratica costruttiva, senza penalizzare drasticamente la scelta delle forme architettoniche e superando le complessità di calcolo, che la normativa attuale impone, con progetti già accuratamente predisposti.

Si può così riportare il processo di progettazione all'unitarietà che aveva in passato ricollegando i vari ruoli attualmente scissi dall'eccesso di specializzazione.

La sicurezza in fase di scuotimento sismico viene così notevolmente migliorata per il venir meno di scelte architettoniche inopportune e per la riduzione della probabilità di errori di proporzionamento conseguenti all'applicazione volta a volta di complesse normative.

In cantiere la tecnica proposta può essere adottata dalle ordinarie maestranze, senza aggravii di costi non compensati dai vantaggi, mentre la rapidità di progettazione favorisce i tempi di realizzazione degli edifici. Anche il controllo dei progetti sarebbe facilitato e gli organi preposti potrebbero limitare i loro interventi alle opere non ordinarie.

Sotto il profilo della pratica professionale, l'operatore strutturista verrebbe così interessato solo per costruzioni o parte di costruzioni che presentino singolarità non comprese nel catalogo dei corpi di fabbrica standard.

La professione dello strutturista riacquisterebbe quindi la sua valenza perché rivolta a costruzioni importanti e di particolare conformazione.

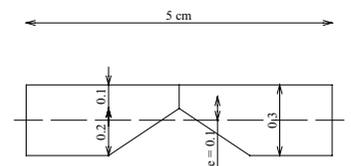


Fig. 6 - Intagli eccentrici nei piani orizzontali del giunto