

Claudio Ciavattini

Apertura Vani

**IN PARETI PORTANTI
IN ZONA SISMICA**

PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI RINFORZO E CONSOLIDAMENTO

- **Progetto degli interventi locali**
- **Calcolo rigidezza, resistenza e deformabilità di una parete**
- **Dimensionamento delle cerchiature dei vani con telai sia metallici che in c.a.**
- **Verifica agli S.L. del telaio in c.a.**
- **Verifica agli S.L. del telaio metallico e dei collegamenti**
- **Verifica agli S.L. delle architravi sia metalliche che in c.a.**
- **Redazione della relazione tecnica e di calcolo**

QUINTA EDIZIONE

Aggiornata alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617

 **GRAFILL**

Claudio Ciavattini

APERTURA VANI IN PARETI PORTANTI IN ZONA SISMICA

ISBN 13 978-88-8207-448-7

EAN 9 788882 074487

Software, 58

Quinta edizione, marzo 2012

Ciavattini, Claudio <1961->

Apertura vani in pareti portanti in zona sismica / Claudio Ciavattini. – 5. ed. –
Palermo : Grafill, 2012.

(Software ; 58)

ISBN 978-88-8207-448-7

1. Edifici – Consolidamento – Zone sismiche.

690.24 CDD-22

SBN Pal0240162

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 marzo 2012

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

1. INTRODUZIONE	p.	7
1.1. Aspetti normativi	"	7
1.2. Percezione dell'indebolimento strutturale	"	9
1.3. Evoluzione della normativa.....	"	14
2. COMPORTAMENTO DI PARETI IN MURATURA	"	17
2.1. Calcolo della rigidezza	"	17
2.1.1. <i>Caso di parete con aperture</i>	"	19
2.2. Calcolo della resistenza	"	22
2.2.1. <i>Fascia di piano</i>	"	24
2.2.2. <i>Maschi murari</i>	"	25
2.3. Identificazione del livello di conoscenza.....	"	30
2.3.1. <i>La geometria</i>	"	30
2.3.2. <i>I dettagli costruttivi</i>	"	31
2.3.3. <i>Le proprietà dei materiali</i>	"	31
2.4. Livelli di conoscenza e caratteristiche dei materiali.....	"	35
2.5. Comportamento dei maschi murari	"	38
Esempio 1	"	40
Esempio 2	"	43
3. REALIZZAZIONE DI NUOVE APERTURE	"	51
Esempio 3	"	52
3.1. Verifica della rigidezza	"	54
Esempio 4	"	56
3.1.1. <i>Dimensionamento della cerchiatura</i>	"	58
Esempio 5	"	60
3.2. Verifica della resistenza	"	62
Esempio 6	"	66
3.3. Posizione dell'apertura nella parete	"	70
3.4. Rinforzo dei maschi murari con FRP.....	"	73

Esempio 7	p.	80
3.5. Rinforzo dei maschi murari con tecniche tradizionali	"	82
4. VERIFICA DEL TELAIO METALLICO DI CERCHIATURA E DELL'ARCHITRAVE	"	87
4.1. Classificazione delle sezioni	"	88
4.2. Verifica del telaio	"	90
4.2.1. Verifica di resistenza agli SLU dei piedritti e del traverso	"	94
4.2.2. Verifica di deformabilità del traverso superiore (SLE)	"	95
4.2.3. Verifica delle unioni e dei giunti	"	96
4.3. Verifica dell'architrave	"	104
4.3.1. Verifica di resistenza allo SLU – collasso per formazione di cerniera plastica...	"	105
4.3.2. Verifica di deformabilità (SLE)	"	107
4.3.3. Verifica della muratura per carichi concentrati	"	107
5. VERIFICA DEL TELAIO IN C.A. E DELL'ARCHITRAVE	"	111
5.1. Verifica del telaio	"	111
5.1.1. Verifica a presso flessione dei piedritti e del traverso	"	112
5.1.2. Verifica a taglio dei piedritti e del traverso	"	118
5.1.3. Verifica di deformabilità del traverso	"	119
5.1.4. Verifica delle tensioni di esercizio	"	119
5.2. Verifica dell'architrave	"	120
5.2.1. Verifica a flessione	"	120
5.2.2. Verifica delle tensioni di esercizio	"	121
6. ESEMPI APPLICATIVI	"	123
6.1. Modifica delle aperture senza necessità di opere di rinforzo/consolidamento	"	124
6.1.1. Progetto dell'architrave in acciaio	"	134
6.1.2. Progetto dell'architrave in c.a.	"	140
6.2. Modifica di aperture con inserimento di telaio metallico	"	147
6.3. Modifica di aperture con inserimento di telaio in c.a.	"	168
6.4. Calcolo della forza sismica agente sul telaio	"	182
7. ESEMPI	"	185
7.1. Esempio 1. Apertura vano porta in parete portante	"	185
7.2. Esempio 2. Apertura finestra su prospetto	"	201
7.3. Esempio 3. Ampliamento apertura esistente	"	206
□ APPENDICE LEGISLATIVA	"	219
Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008		
Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (<i>stralcio</i>).....	"	221

Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 settembre 2005	
Norme tecniche per le costruzioni (<i>stralcio</i>)	p. 229
Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 16 gennaio 1996	
Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche (<i>stralcio</i>)	" 233
Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617	
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 (<i>stralcio</i>)	" 241
Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274	
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica	" 244
□ GUIDA ALL'INSTALLAZIONE E ALL'UTILIZZO DEL SOFTWARE	" 247
Contenuti del cd-rom allegato al volume	" 247
Requisiti minimi hardware e software	" 248
Procedura per la richiesta della password utente	" 248
Procedura per l'installazione del software	" 248
Primo avvio e registrazione del software	" 249
Guida all'utilizzo del software	" 250
□ BIBLIOGRAFIA	" 259
□ LICENZA D'USO	" 263
□ SCHEDA DI REGISTRAZIONE	" 264

Capitolo 1

Introduzione

1.1. Aspetti normativi

Gli interventi sugli edifici esistenti sono regolamentati dal punto 8 delle Norme Tecniche sulle Costruzioni (d'ora in avanti NTC) emanate con decreto ministeriale 14 gennaio 2008 e dalla Circolare n. 617/CSLLPP del 2 febbraio 2009 contenente le "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" pubblicata sulla G.U.R.I. 26-02-2009, n. 47 – s.o..

Gli interventi vengono distinti in:

- interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle norme;
- interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle norme;
- riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Tale classificazione era già presente nelle precedenti norme tecniche (decreto ministeriale 16 gennaio 1996, punto C9 – decreto ministeriale 14 settembre 2005, capitolo 9); tuttavia le definizioni date per i sopraelencati interventi nelle varie norme tecniche che si sono succedute nel corso degli anni non sono esattamente corrispondenti fra di loro.

Intervento di adeguamento

Costituisce obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, quando si prevede di:

- a) *sopraelevare la costruzione;*
- b) *ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;*
- c) *apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%; resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;*
- d) *effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente.*

Intervento di miglioramento

Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate.

È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni che rendono obbligatorio l'intervento di adeguamento.

Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Riparazione o intervento locale

In generale, gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura e interesseranno porzioni limitate della costruzione. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Il progetto di interventi su edifici esistenti dovrà comunque, di norma, comprendere le seguenti attività:

1. Rilievo plano-altimetrico della costruzione;
2. Rilievo strutturale, comprese le strutture di fondazione;
3. Rilievo dello stato fessurativo e/o distorsivo della struttura;
4. Analisi dell'evoluzione storica-costruttiva della costruzione;
5. Studio geologico e analisi geotecnica, ove necessario;
6. Indagine sismica del sito, ove necessario;
7. Indagini sui terreni sulle strutture di fondazione, ove necessario;
8. Indagini sui materiali e valutazione dello stato di conservazione e di resistenza residua, da definire con prove sperimentali;
9. Rilievo dei dissesti, cause, entità;
10. Valutazione delle condizioni di sicurezza della struttura nello stato ante-intervento;
11. Relazione motivata dell'intervento di miglioramento previsto;
12. Verifica della sicurezza della struttura consolidata nello stato di post-intervento e nel corso delle fasi esecutive; giudizio di incremento della sicurezza.

Nelle analisi e verifiche strutturali si dovranno prevedere adeguati “fattori di confidenza” che modificano i parametri meccanici in funzione dei “livelli di conoscenza” raggiunti nella fase di indagine pre-progettuale in riferimento a: indagine storica; rilievi geometrici; dettagli costruttivi; caratterizzazione dei materiali (si veda punto 2.3).

La tipologia d'intervento da prendere in considerazione nel caso dell'apertura di nuovi vani in pareti portanti (o la modifica di quelli esistenti) è certamente quella della “riparazione o intervento locale”.

Questo è confermato anche dalla Circolare n. 617/CSLLPP del 2 febbraio 2009 contenente le "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" dove al punto C8.4.3 recita: *“Infine, interventi di variazione della configurazione di un elemento strutturale, attraverso la sua sostituzione o un rafforzamento localizzato (ad esempio l'apertura di un vano in una parete muraria, accompagnata da opportuni rinforzi) possono rientrare in questa categoria (riparazione o intervento locale) solo a condizione che si dimostri che la rigidità dell'elemento variato non cambi significativamente e che la resistenza e la capacità di deformazione, anche in campo plastico, non peggiorino ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali”*.

Tuttavia, in funzione dell'entità dell'intervento, potrà essere considerato, l'intervento di “miglioramento sismico” o addirittura (per casi particolari) quello di “adeguamento sismico”.

A maggior ragione si considera l'intervento di miglioramento nel caso in cui l'edificio faccia parte del patrimonio culturale vincolato ai sensi del Codice dei Beni Culturali (D.L. n. 42/2004) dove all'articolo 29 si legge: *“... nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale”*.

1.2. Percezione dell'indebolimento strutturale

In sostanza, intervenendo su parti limitate di strutture murarie, non si modifica il comportamento d'insieme della fabbrica a meno che, per una sfortunata e/o sconsiderata sommatoria di interventi parziali non coordinati si danneggi fortemente la struttura muraria privandola dei requisiti essenziali ad assolvere la funzione statica e sismoresistente. Infatti, spesso nelle ristrutturazioni di singoli appartamenti, non si tiene conto delle modificazioni complessive che l'edificio subisce a causa dei singoli interventi realizzati dai vari proprietari.

Per esemplificare meglio tale concetto si riporta l'esempio seguente.

Si tratta di un edificio in muratura composto da piano terra, piano primo e piano secondo con tre committenti diversi (uno per piano) che decidono, in tempi successivi, di intraprendere lavori di ristrutturazione interna prevedendo modifiche nelle aperture nei muri portanti.

Si ipotizza di individuare tre fasi distinte, nel corso delle quali si compiono i lavori ai vari appartamenti:

- Fase 1: al tempo t_1 vengono realizzati i lavori di ristrutturazione dell'appartamento posto al piano terra;
- Fase 2: al tempo t_2 vengono realizzati i lavori di ristrutturazione dell'appartamento posto al piano secondo;
- Fase 3: al tempo t_3 vengono realizzati i lavori di ristrutturazione dell'appartamento posto al piano primo.

L'edificio in oggetto è rappresentato, in sezione, nella figura 1.1 che di seguito si riporta.

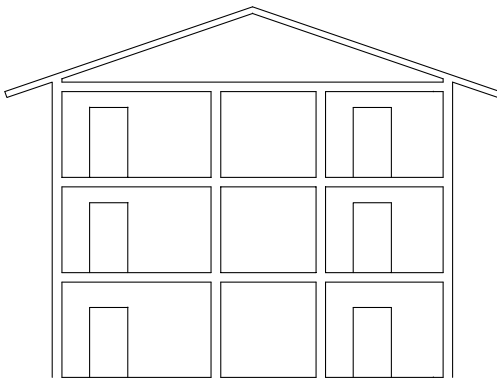


Figura 1.1.

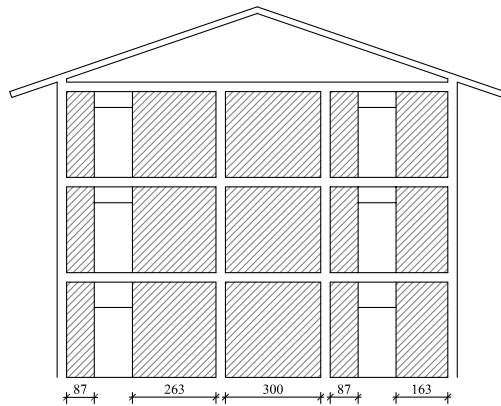


Figura 1.2.

Per ciascuna fase sono state calcolate, ai vari piani, le aree resistenti della parete considerata, tenendo conto che, quelle sismoresistenti devono avere continuità fino al suolo.

È possibile individuare una Fase 0 corrispondente allo stato iniziale dell'edificio, ossia la sua conformazione strutturale originaria, al momento della sua progettazione.

Le porzioni di muratura tratteggiate (figura 1.2) indicano i maschi murari sismoresistenti, ossia quelli che hanno continuità strutturale fino alle fondazioni.

Supponendo uno spessore dei muri pari a 30 cm si ha che l'area resistente ad ogni piano equivale a 2,7 m² come meglio si evince dalla seguente tabella.

Fase 0

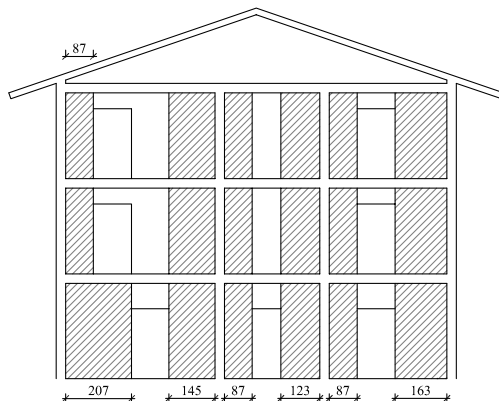
p. terra, primo, secondo	Lunghezze maschi murari (m)					
	0,87	2,63	3	0,87	1,63	
	L tot (m)	9				
	Spess (m)	0,3				
Area (m ²)	2,7					

Fase 1

Sono stati eseguiti lavori di ristrutturazione del piano terra, che hanno portato alla realizzazione di una nuova apertura nella maglia centrale e lo spostamento verso destra dell'apertura già presente nella maglia di sinistra (figura 1.3). Il nuovo assetto strutturale pertanto risulta essere variato.

Di seguito si riportano le aree resistenti ad ogni piano e la riduzione percentuale di queste rispetto allo stato originario.

- P. T.: $A = 2,44 \text{ m}^2$ riduzione del 10%
 P. 1.: $A = 2,08 \text{ m}^2$ riduzione del 23%
 P. 2.: $A = 2,08 \text{ m}^2$ riduzione del 23%

**Figura 1.3.**

Si riassumono di seguito, le caratteristiche geometriche della muratura sismoresistente, per ogni piano, relativamente alla fase considerata.

Fase 1

p. secondo	Lunghezze maschi murari (m)					
	0,87	1,45	0,87	1,23	0,87	1,63
	L tot (m)	6,92				
	Spess (m)	0,3	Area/Area iniziale		Riduzione di area %	
Area (m ²)	2,08	0,77		23		

p. primo	Lunghezze maschi murari (m)					
	0,87	1,45	0,87	1,23	0,87	1,63
	L tot (m)	6,92				
	Spess (m)	0,3	Area/Area iniziale		Riduzione di area %	
Area (m ²)	2,08	0,77		23		

p. terra	Lunghezze maschi murari (m)					
	2,07	1,45	0,87	1,23	0,87	1,63
	L tot (m)	8,12				
	Spess (m)	0,3	Area/Area iniziale		Riduzione di area %	
	Area (m ²)	2,44	0,9		10	

Fase 2

Sono stati eseguiti lavori di ristrutturazione del secondo e ultimo piano, che hanno portato allo spostamento verso destra dell'apertura già presente nella maglia di sinistra e all'ampliamento e spostamento della porta nella maglia di destra (figura 1.4). Il nuovo assetto strutturale pertanto risulta essere variato.

Di seguito si riportano le aree resistenti ad ogni piano e la riduzione percentuale di queste rispetto allo stato originario.

- P. T.: $A = 2,44 \text{ m}^2$ riduzione del 10%
 P. 1.: $A = 2,08 \text{ m}^2$ riduzione del 23%
 P. 2.: $A = 1,48 \text{ m}^2$ riduzione del 45%

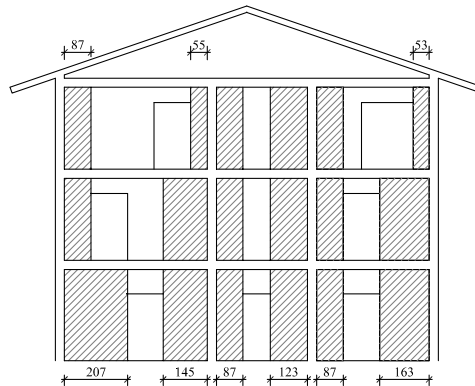


Figura 1.4.

Si riassumono di seguito, le caratteristiche geometriche della muratura sismoresistente, per ogni piano, relativamente alla fase considerata.

Fase 2

p. secondo	Lunghezze maschi murari (m)					
	0,87	0,55	0,87	1,23	0,87	0,53
	L tot (m)	4,92				
	Spess (m)	0,3	Area/Area iniziale		Riduzione di area %	
	Area (m ²)	1,48	0,55		45	

p. primo	Lunghezze maschi murari (m)					
	0,87	1,45	0,87	1,23	0,87	1,63
	L tot (m)	6,92				
	Spess (m)	0,3	Area/Area iniziale		Riduzione di area %	
	Area (m ²)	2,08	0,77		23	

p. terra	Lunghezze maschi murari (m)					
	2,07	1,45	0,87	1,23	0,87	1,63
L tot (m)	8,12					
Spess (m)	0,3	Area/Area iniziale		Riduzione di area %		
Area (m ²)	2,44	0,9		10		

Fase 3

Sono stati eseguiti lavori di ristrutturazione al piano primo, consistenti nell'ampliamento delle porte nelle maglie di sinistra e destra, e la realizzazione di una nuova porta nella maglia centrale (figura 1.5).

Il nuovo assetto strutturale pertanto risulta essere ulteriormente variato.

Di seguito si riportano le aree resistenti ad ogni piano e la riduzione percentuale di queste rispetto allo stato originario.

P. T.: $A = 2,44 \text{ m}^2$ riduzione del 10%

P. 1.: $A = 1,57 \text{ m}^2$ riduzione del 42%

P. 2.: $A = 0,97 \text{ m}^2$ riduzione del 64%

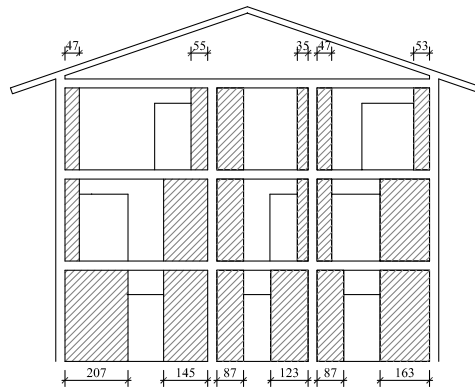


Figura 1.5.

Si riassumono di seguito, le caratteristiche geometriche della muratura sismoresistente, per ogni piano, relativamente alla fase considerata.

Fase 3

p. secondo	Lunghezze maschi murari (m)					
	0,47	0,55	0,87	0,35	0,47	0,53
L tot (m)	3,24					
Spess (m)	0,3	Area/Area iniziale		Riduzione di area %		
Area (m ²)	0,97	0,36		64		

p. primo	Lunghezze maschi murari (m)					
	0,47	1,45	0,87	0,35	0,47	1,63
L tot (m)	5,24					
Spess (m)	0,3	Area/Area iniziale		Riduzione di area %		
Area (m ²)	1,57	0,58		42		

p. terra	Lunghezze maschi murari (m)					
	2,07	1,45	0,87	1,23	0,87	1,63
	L tot (m)	8,12				
	Spess (m)	0,3	Area/Area iniziale		Riduzione di area %	
	Area (m ²)	2,44	0,9		10	

Come si evince da questo semplice esempio, la sommatoria di interventi parziali, porta ad un notevole indebolimento del piano secondo che vede la superficie resistente diventare il 36% di quella iniziale al tempo t_0 , quindi una riduzione di capacità sismoresistente di circa 2/3 (senza inoltre tener conto dell'ulteriore indebolimento per effetto della creazione di maschi murari eccessivamente snelli, che non rispettano il canonico rapporto 1:3 tra base ed altezza).

Intervenendo però singolarmente ai vari piani, in maniera non coordinata ed in epoche diverse, si corre il rischio di fare poi valutazioni errate circa l'indebolimento che si va a creare a quel piano, per effetto delle modifiche alle aperture.

Risulta dall'esempio che l'indebolimento percepito ad ogni singolo piano per effetto dei lavori a quel piano, è sottostimato rispetto all'indebolimento effettivo, che dipende anche dalle modificazioni intervenute per effetto dei lavori eseguiti negli altri piani.

Infatti, prendendo a riferimento il piano secondo, la percezione dell'indebolimento che ci si appresta a conferire all'intera parete, valutato senza considerare che già al piano terra sono state variate le geometrie delle pareti e delle aperture, risulta essere minimo, ossia una riduzione dell'area resistente dei maschi murari pari al 6% (figura 1.6) rispetto a quella originaria, mentre in effetti, considerando che al piano terra sono già variate le condizioni rispetto allo stato originario, la riduzione dell'area resistente risulta essere del 45% rispetto a quella originaria (fase 2 – figura 1.4).

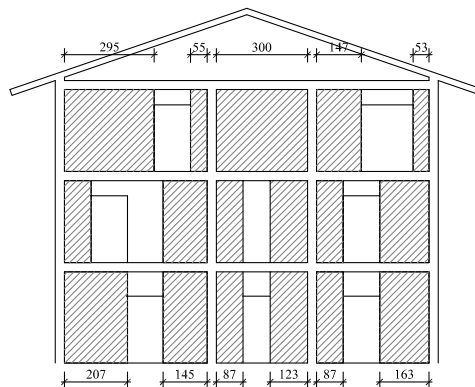


Figura 1.6.

(percezione dell'indebolimento al piano secondo)

Percezione piano secondo

p. secondo	Lunghezze maschi murari (m)					
	2,95	0,55	3	1,47	0,53	
	L tot (m)	8,5				
	Spess (m)	0,3	Area/Area iniziale		Riduzione di area %	
	Area (m ²)	2,55	0,94		6	

Valutare l'indebolimento della parete senza preoccuparsi di analizzare l'intero edificio porta quindi a risultati notevolmente sottostimati.

Questo inconveniente potrebbe essere eliminato adottando, per ciascun fabbricato, l'ormai noto "fascicolo del fabbricato" visto che una grossa percentuale di edifici nei quali viviamo è costituita da strutture portanti in muratura e che sempre più spesso si intraprendono lavori di ristrutturazione interna per adeguare l'immobile alle esigenze di ciascuna famiglia, spesso senza considerare le modificazioni complessive che subisce la struttura del fabbricato.

Il fascicolo consentirebbe quindi di:

1. registrare le modificazioni che si susseguono nel tempo;
2. stabilire la fattibilità degli interventi in tempi successivi;
3. certificare in ogni momento lo stato strutturale.

↳ 1.3. Evoluzione della normativa

In materia di riparazione e rinforzo strutturale degli edifici, le prime norme che definivano in maniera puntuale i modi di valutazione delle resistenze e delle rigidità delle pareti, si ebbero nel 1980 con il DT2 (Documento Tecnico n. 2) emanato dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia per dar seguito alla legge regionale 20 giugno 1977, n. 30.

Il DT2, dal titolo "*Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura*" prevedeva, per la verifica sismica dell'edificio, il metodo di calcolo denominato P.O.R.

La circolare del Ministero dei lavori pubblici 30 luglio 1981, n. 21745 dal titolo "*Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma*" ha ripreso le indicazioni del DT2 ed è stata, per oltre un ventennio, il principale riferimento normativo per tutti gli interventi di rinforzo e consolidamento degli edifici in muratura.

Nella circolare venivano suggeriti (tabella 1.1), in assenza di validi dati sperimentali, i valori massimi di resistenza a taglio e compressione per le varie murature da adottare nelle verifiche sismiche.

Tabella 1.1.

	TIPO DI MURATURA	τ_{k_2} (t/m ²)	σ_{k_2} (t/m ²)
MURATURE NON CONSOLIDATE NON LESIONATE	Mattoni pieni Malta bastarda	12	300
	Blocco modulare (con caratteristiche rispondenti alle prescrizioni decreto ministeriale 3 marzo 1975) (29 x 19 x 19 cm) Malta bastarda	8	250
	Blocco in argilla espanza o calcestruzzo Malta bastarda	18	300
	Muratura in pietra (in presenza di ricorsi di mattoni estesi a tutto lo spessore del muro, il valore rappresentativo di τ_k può essere incrementato del 30%)	2	50
	a) pietrame in cattive condizioni	7	200
	b) pietrame grossolanamente squadrato e ben organizzato c) a sacco in buone condizioni	4	150
Blocchi di tufo di buona qualità	10	250	

	TIPO DI MURATURA	τ_{κ} (t/m ²)	σ_{κ} (t/m ²)
MURATURE NUOVE	Mattoni «pieni» con fori circolari Malta cementizia $R_m \geq 1450 \text{ t/m}^2$	20	500
	Forati doppio UNI rapp. vuoto/pieno = 40% Malta cementizia $R_m \geq 1450 \text{ t/m}^2$	24	500
MURATURE CONSOLIDATE	Mattoni pieni, pietrame squadrato, consolidate con 2 lastre di calcestruzzo armato da cm 3 (minimo)	18	500
	Pietrame iniettato	11	500
	Murature di pietra a secco consolidate con due lastre in cis armato da cm 3 (minimo)	11	300

Per il calcolo della resistenza a taglio della parete si proponeva il criterio di resistenza di Tursek e Cacovic. Veniva considerata essenzialmente, per il pannello in muratura, la crisi a taglio per trazione.

Successivamente il quadro normativo viene completato con l'emanazione delle Norme Tecniche sulle Costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 settembre 2005, che fanno riferimento, quale referenza tecnica essenziale, alla O.P.C.M. n. 3274/2003 successivamente aggiornata dalla O.P.C.M. n. 3431/2005.

L'O.P.C.M. n. 3274, all'allegato 11.E. tratta in particolare dei criteri per il consolidamento degli edifici in muratura. Viene posta l'attenzione sull'esecuzione di interventi su porzioni limitate di struttura, che devono essere opportunamente valutati in termini di rigidezza e di resistenza.

Si impone quindi una valutazione analitica che dimostri, nel caso del miglioramento sismico, un aumento del coefficiente di sicurezza, in particolare nei confronti delle azioni orizzontali; ciò non si ottiene sempre perseguendo il fine del massimo rinforzo. Infatti, un eccessivo aumento della rigidezza di alcune pareti rispetto ad altre (ad esempio per effetto di rinforzo mediante lastre di placcaggio in c.a.), può provocare, in maniera sostanziale, una variazione del comportamento globale del piano e quindi dell'edificio, con conseguente nascita di azioni impreviste (ad esempio effetti torcenti a causa dell'allontanamento del baricentro delle masse da quello delle rigidezze).

Si arriva infine all'aggiornamento delle norme del 2005 attraverso il decreto ministeriale 14 gennaio 2008 e la successiva Circolare n. 617/CSLLPP del 2 febbraio 2009 contenente le "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" pubblicata sulla G.U.R.I. 26-02-2009, n. 47 – s.o..

Capitolo 2

Comportamento di pareti in muratura

↳ **2.1. Calcolo della rigidezza**

Una parete in muratura senza aperture, può essere analizzata considerando il pannello (maschio murario) vincolato con incastro fisso alla base e incastro scorrevole in sommità, dove agisce la forza di taglio F (comportamento alla “Grinter”):

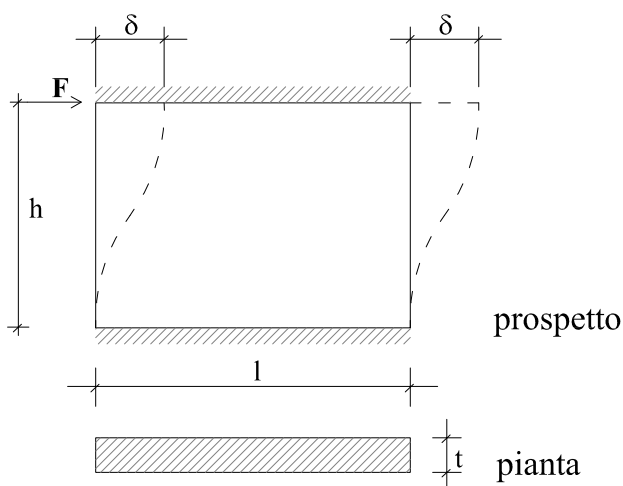


Figura 2.1.

La parete può dunque assimilarsi ad un'asta verticale incastrata ai due estremi.

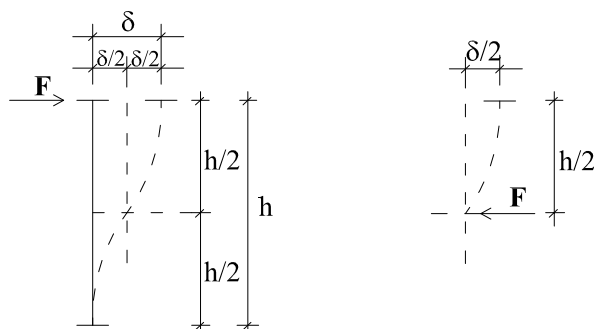


Figura 2.2.

Per effetto della forza F , l'estremo superiore subisce uno spostamento δ , somma di due contributi, quello dovuto alla flessione δ^F e quello dovuto al taglio δ^T :

$$\text{contributo flessionale: } \frac{\delta^F}{2} = F \frac{(h/2)^3}{3EJ} \quad \text{da cui} \quad \delta^F = \frac{Fh^3}{12EJ}$$

$$\text{contributo tagliante: } \frac{\delta^T}{2} = \chi F \frac{(h/2)}{GA} \quad \text{da cui} \quad \delta^T = \chi \frac{Fh}{GA}$$

Lo spostamento totale sarà dato da:

$$\delta = \delta^F + \delta^T = \frac{Fh^3}{12EJ} + \chi \frac{Fh}{GA}$$

$$\text{da cui: } \delta = F \left(\frac{h^3}{12EJ} + \chi \frac{h}{GA} \right) \quad (2.1.1)$$

indicando con K la rigidezza (forza necessaria per ottenere lo spostamento unitario) si ha:

$$K = F/\delta$$

e quindi si determina la formula per il calcolo della rigidezza di una parete soggetta ad azione tagliante orizzontale in sommità, nell'ipotesi di traversi rigidi a flessione (shear type). In questo caso il contributo tagliante non è trascurabile, specie quando siamo in presenza di pareti tozze:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{h^3}{12EJ} + \chi \frac{h}{GA} \right)} \quad (2.1.2)$$

dove:

δ = spostamento;

h = altezza del maschio murario;

l = lunghezza del maschio murario;

A = area della sezione orizzontale del maschio murario;

J = momento d'inerzia della sezione;

E = modulo di elasticità normale;

G = modulo di elasticità tangenziale (tabella 2.1);

χ = fattore di taglio.

Tenuto conto che, per pareti a sezione rettangolare, risulta:

$$A = l * t$$

$$J = t \frac{l^3}{12}$$

sostituendo si ottiene:

$$\chi = 1,2$$

$$K = \frac{1}{\left(\frac{h^3 * 12}{12 * E * t * l^3}\right) + \chi \frac{h}{GA}} \quad (2.1.3)$$

da cui:

$$K = \frac{GAEl^2}{((h^3) G + 1,2 hEl^2)} \quad (2.1.4)$$

Nel caso in cui le strutture orizzontali di piano (fasce di piano) non siano in grado di impedire le rotazioni flessionali alle estremità delle pareti, quest'ultime avranno un comportamento a mensola incastrata alla base, comportamento sicuramente più gravoso rispetto a quello tipo shear type.

In questo caso la rigidezza, tenendo sempre conto del contributo tagliante, diventa:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{h^3}{3EJ} + \chi \frac{h}{GA}\right)} \quad (2.1.5)$$

2.1.1. Caso di parete con aperture

In questo caso occorre valutare attentamente la geometria della parete per individuare correttamente i maschi murari da considerare nel calcolo della rigidezza. In pratica i pannelli di muratura compresi tra le aperture contigue vengono a costituire i ritti della struttura (maschi murari), che sarà poi completata dai traversi orizzontali (fasce di piano), supposti al solito infinitamente rigidi (comportamento tipo shear type).

Nel caso di pareti portanti interne (figura 2.3), le aperture sono normalmente costituite dalle porte cosicché l'altezza dei maschi murari adiacenti coincide con quella della porta (da pavimento ad architrave).

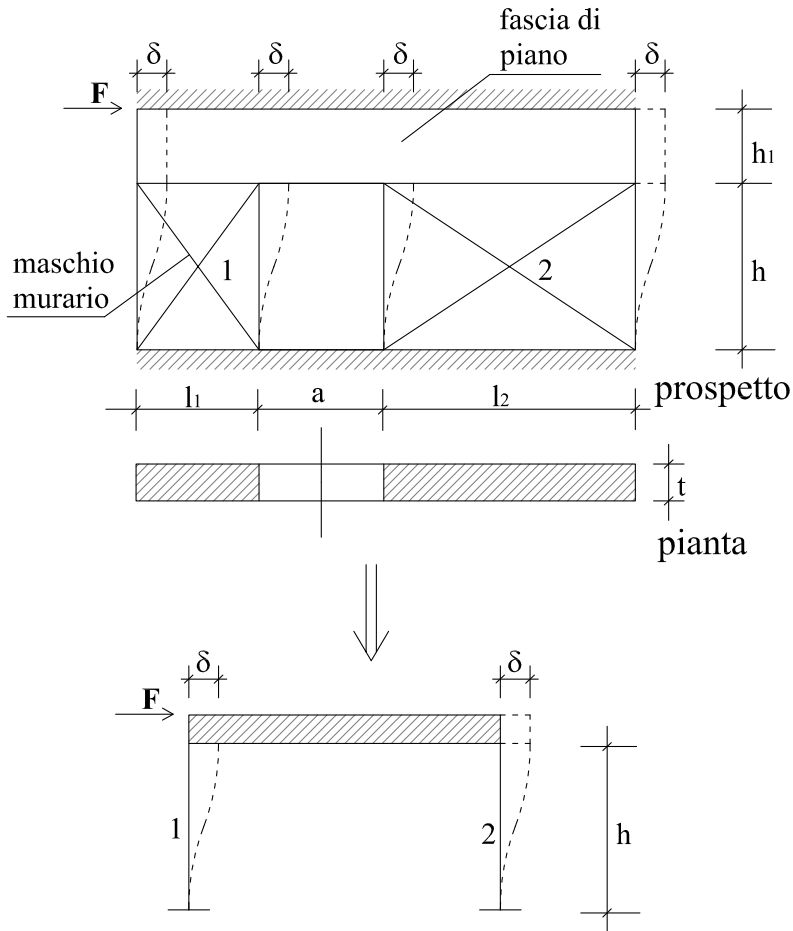


Figura 2.3.

L'ipotesi di travaso infinitamente rigido consente di affermare che ciascun maschio murario subisce il medesimo spostamento δ , corrispondente quindi a quello di piano.

I due maschi murari possono essere assimilati a due molle in parallelo, di costanti elastiche rispettivamente K_1 e K_2 . La rigidezza totale della parete sarà data da:

$$K = K_1 + K_2$$

Nel caso di pareti esterne (di facciata) occorre distinguere tra aperture costituite da vani porta (balconi) e da vani finestra. Per queste ultime poi, occorre valutare la geometria del parapetto, ossia se il parapetto ha lo stesso spessore della fascia oppure se, come spesso accade, ha uno spessore ridotto (ad esempio per far posto ad un radiatore).

Nel primo caso, cioè con parapetto di spessore e tipologia di apparecchiatura muraria uguale a quella della fascia di piano, l'altezza del maschio murario sarà uguale a quella della finestra adia-