



Università Degli Studi Di Padova

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea

Analisi strutturale e valutazione della
vulnerabilità sismica di edifici storici

Palazzo Polcenigo – Cavasso Nuovo (PN)
un caso di studio

Relatore: Ch.mo Prof. Renato Vitaliani

Laureando: Piermarino Francescon

Anno Accademico 2012-2013

Indice

1. INTRODUZIONE	7
2. IL RISCHIO SISMICO	29
2.1 Studio della vulnerabilità sismica.....	32
2.2 Metodologie e livelli di analisi della vulnerabilità.....	33
2.2.1 Metodologie e livelli di analisi della vulnerabilità.....	35
2.2.2 Le scale di intensità macrosismica.....	36
2.2.3 Dati ISTAT.....	41
2.2.4 Metodologia G.N.D.T. di II livello.....	41
2.2.5 Hazus.....	42
2.2.6 Metodologie basate sull'analisi per macroelementi.....	43
3. COMPORTAMENTO SISMICO DI STRUTTURE IN MURATURA	46
3.1 Meccanismi di collasso di strutture in muratura.....	48
3.2 Ruolo delle fasce di piano.....	54
3.3 Comportamento dinamico delle strutture in muratura.....	55
3.4 Regolarità strutturale.....	57
3.5 La scatolarità degli edifici.....	59
3.5.1 Cordolature.....	60
3.5.2 Incatenamenti.....	60
3.6 Vulnerabilità sismica delle costruzioni in muratura.....	61
4. CARATTERISTICHE MECCANICHE	63
4.1 Caratteristiche meccaniche della muratura.....	63
4.2 Le murature in pietra.....	64
4.3 Stati di tensione monoassiali.....	66
4.3.1 Comportamento a flessione e a taglio.....	72
4.3.2 Stati tensionali complessi.....	72
4.4 Deformazioni differite nel tempo.....	75
5. MECCANISMI DI COLLASSO	76
5.1 Meccanismi di collasso fuori dal piano (primo modo).....	76
5.1.1 Meccanismi di ribaltamento semplice.....	77
5.1.2 Meccanismi di flessione verticale.....	79
5.1.3 Meccanismi di flessione orizzontale.....	82
5.1.4 Meccanismi di ribaltamento composto.....	84
5.2 Meccanismi di collasso nel piano (secondo modo).....	90

6. FASI DI CONOSCENZA	91
6.1 Livelli di conoscenza	92
6.1.1 La Geometria	93
6.1.2 Dettagli costruttivi	94
6.1.3 Le proprietà dei materiali	95
6.2 La scansione laser	98
7. TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO	101
7.1 Riferimenti normativi	105
7.2 Strumenti per la valutazione dell'efficacia degli interventi	111
7.2.1 Prove non distruttive	112
7.2.2 Prove debolmente distruttive	115
7.2.3 Prove distruttive	115
7.3 Correlazione tra i risultati delle diverse procedure di prova	116
7.4 Le iniezioni	116
7.4.1 Miscele per iniezioni	117
7.4.2 Modalità esecutive	120
7.4.3 Tecniche di esecuzione	124
7.4.4 Valutazione dell'efficacia dell'intervento	129
7.5 Gli intonaci armati	129
7.5.1 Materiali impiegati	131
7.5.2 Modalità esecutive	131
7.5.3 Tecniche di esecuzione	135
7.5.4 Valutazione dell'efficacia dell'intervento e confronto con la tecnica delle iniezioni	142
7.6 Le iniezioni armate	144
7.6.1 Modalità esecutive	145
7.6.2 Tecniche di esecuzione	146
7.7 Le tirantature metalliche	147
7.7.1 Modalità esecutive	148
7.7.2 Tecnica di esecuzione	151
7.7.3 Valutazione dell'efficacia dell'intervento	153
8. ANALISI STRUTTURALE E VERIFICHE	157
8.1 Analisi e verifica sotto carichi verticali	157
8.2 Azioni nel piano medio	161
8.3 Fessurazione per flessione o pressoflessione	162
8.4 Progettazione per azioni sismiche	162
8.5 Modelli di capacità per le verifiche agli SLU	163

8.5.1	Pressoflessione nel piano	163
8.5.2	Taglio per scorrimento	165
8.5.3	Taglio per trazione.....	166
8.5.4	Azioni ortogonali al piano medio.....	167
8.5.5	Effetti del secondo ordine	170
8.5.6	Edifici esistenti: procedure per la valutazione della sicurezza	171
8.5.7	D.P.C.M. del 09/02/2011.....	173
8.6	Analisi e verifica sotto carichi orizzontali.....	176
8.7	Edifici in muratura soggetti all'azione sismica.....	179
8.7.1	Comportamento ciclico della muratura soggetta ad azioni nel piano	180
8.8	Metodi di analisi delle strutture in muratura.....	183
8.8.1	Metodi basati sull'analisi del singolo piano	184
8.8.1.1	Metodo POR.....	185
8.8.2	Modellazione lineare	193
8.8.3	Modellazione FEM (Finite Element Model)	195
8.8.4	Metodo PEFV.....	196
8.8.4.1	Confronto tra risposta fornita dalla modellazione PEFV e quella fornita dal metodo POR	202
8.8.5	Metodo a telaio equivalente (metodo SAM).....	203
8.8.5.1	Metodo a telaio equivalente: Elemento maschio murario	204
8.8.5.2	Metodo a telaio equivalente: Elemento fascia muraria	209
8.8.6	Metodo RES.....	210
8.8.7	Modelli a plasticità concentrata o diffusa.....	213
9.	CASO DI STUDIO	215
9.1	Generalità e descrizione dell'opera	217
9.2	Normative di riferimento	234
9.3	Descrizione dei materiali.....	234
9.4	Analisi dei carichi.....	237
9.5	Azioni sismiche	240
9.5.1	Fattore di struttura	241
9.5.2	Spettro di risposta	242
9.5.3	Combinazione dell'azione sismica con le altre azioni.....	254
9.5.4	Masse sismiche e inerzie polari	254
9.6	Centro di massa, centro di rigidezza e masse rotazionali.....	267
9.7	Analisi e verifica dei carichi verticali e laterali statici agli SLU.....	292
9.8	Analisi statica lineare	309
9.9	Analisi dinamica lineare.....	332

9.9.1 I modelli strutturali.....	332
9.9.2 Analisi modale.....	339
9.9.3 Sollecitazioni.....	345
9.9.4 Verifiche.....	364
9.10 Analisi pushover.....	380
9.10.1 Criteri di verifica.....	382
9.10.2 Definizione delle cerniere plastiche.....	383
9.10.3 Analisi pushover dell'edificio.....	385
9.10.4 Verifiche.....	389
9.11 Verifica meccanismi locali di collasso.....	391
9.11.1 Analisi cinematica lineare.....	398
9.11.2 Intervento.....	423
9.11.3 Analisi cinematica non lineare.....	442
9.12 Indice di sicurezza sismica e indice di rischio.....	450
10. CONCLUSIONI	455
BIBLIOGRAFIA	456

1. INTRODUZIONE

La particolare posizione della Penisola italiana nel contesto geodinamico mediterraneo (convergenza tra le placche europea e africana, interposizione della microplacca adriatica, presenza della catena appenninica, apertura del bacino tirrenico) fanno dell'Italia uno dei Paesi europei a maggiore pericolosità sismica. Tale pericolosità, associata alla diffusa presenza di elementi esposti (centri abitati, infrastrutture, patrimonio architettonico, artistico e ambientale) e all'elevata vulnerabilità degli stessi, determina condizioni di rischio da elevato a molto elevato per estesi settori del territorio italiano. Le aree a maggiore pericolosità sismica sono localizzate nel settore friulano, lungo la dorsale appenninica centromeridionale (in particolare nei bacini intra-appenninici, lungo il margine calabro tirrenico e nella Sicilia sud-orientale).

Anche se sono passati 37 anni, il terremoto del 1976 in Friuli possiede ancora motivi di interesse poichè alcuni aspetti sismogenetici sono tuttora poco chiari. La sorgente sismica, che fra maggio e settembre generò due scosse disastrose, fu all'epoca collegata da vari autori (Amato et al., 1976; Finetti et al., 1979) a faglie ad andamento dinarico, nella loro intersezione con elementi neoalpini; rimase problematica la spiegazione dell'esclusivo carattere neoalpino dei meccanismi focali, e la comprensione del significato del doppio evento. Si scartò, anche, l'ipotesi di raccordare le evidenze di rotture superficiali (es. Ambraseys, 1976; Bosi et al., 1976; Martinis e Cavallin, 1978) con le strutture responsabili del rilascio energetico, sia per la complessità dell'assetto tettonico, sia per la lunga storia di riattivazione testimoniata dagli elementi strutturali (vedi ad es. Carulli, 2000).

Il sisma del Friuli fu il primo forte terremoto italiano corredato da una rilevante quantità di dati strumentali soprattutto in seguito all'installazione di stazioni temporanee da parte di diversi istituti (Figg. 1.1 e 1.2). Nonostante ciò, tali dati, che presentano non pochi problemi strumentali (p. es. nella sincronizzazione del tempo), non sono mai stati raccolti in maniera sistematica ed elaborati unitariamente, e il passare del tempo rende sempre meno agevole, se non del tutto impossibile, questa operazione. Queste considerazioni valgono soprattutto per il primo anno; dal 6 maggio 1977, infatti, entrarono in funzione le prime stazioni della Rete Sismometrica del Friuli che hanno permesso negli anni successivi una buona raccolta dei dati relativi anche a terremoti di bassa magnitudo.

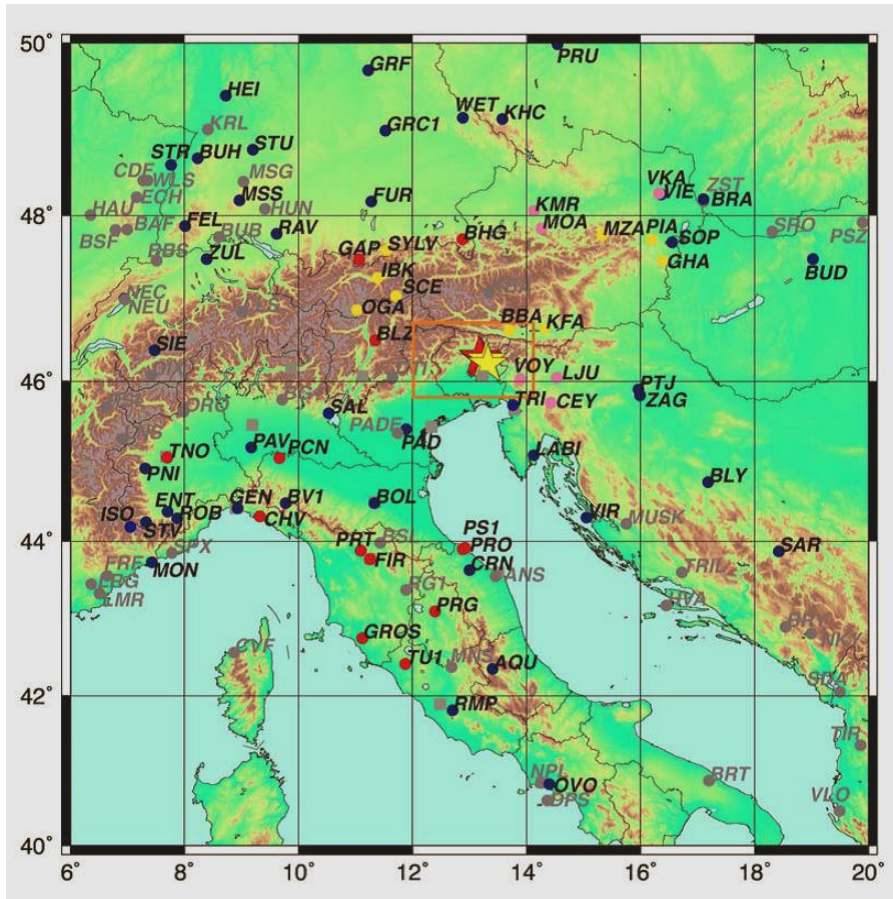


Fig. 1.1 - Localizzazione delle stazioni sismologiche europee operanti negli anni '70: le stelle gialle e rosse indicano gli epicentri dei terremoti della sequenza del Friuli 1976 con magnitudo superiore a 5,0; in grigio stazioni non attive nel periodo 1976-77 analizzato, in blu stazioni i cui dati sono tratti dai bollettini ISC, in colore stazioni per le quali si è provveduto a ricontrollo/recupero dei sismogrammi.

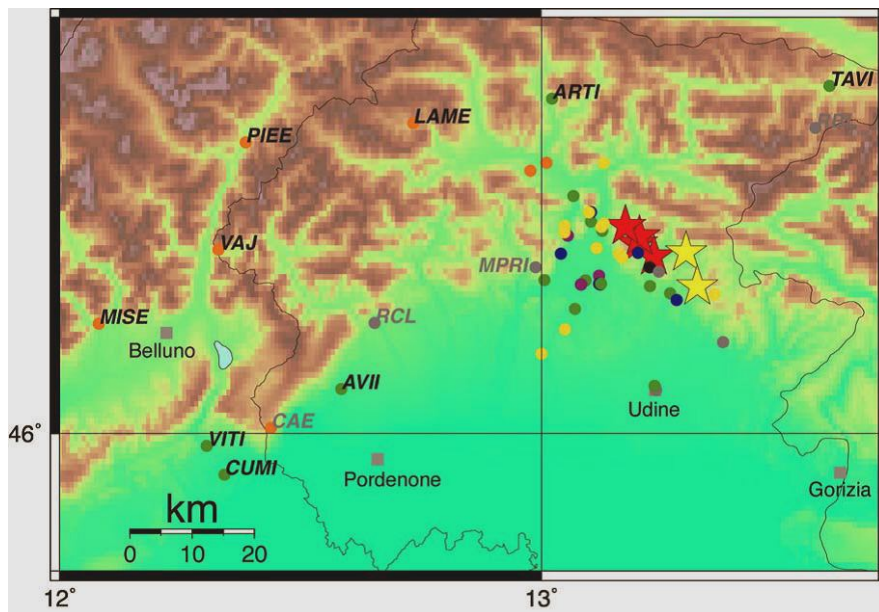


Fig. 1.2 - Localizzazione delle stazioni sismologiche nell'area epicentrale: le stelle gialle e rosse indicano gli epicentri dei terremoti della sequenza del Friuli 1976 con magnitudo superiore a 5,0; in grigio stazioni non attive nel periodo 1976-77, in colore stazioni temporanee e permanenti gestite da varie organizzazioni.

Le interpretazioni della fase "calda" della sequenza si basarono, perciò, su dati raccolti da osservatori sismologici a distanza maggiore di 60 km (Trieste era la più vicina, non considerando le stazioni ENEL situate presso le maggiori dighe), o su periodi limitati di osservazione di stazioni locali. Il primo anno di sismicità dopo la scossa principale rappresenta il cuore della sequenza, in quanto il terremoto del 6 maggio 1976 (magnitudo 6,4) fu seguito da una lunga serie di repliche, fra cui una di magnitudo 5,3 il 9 maggio, e da un periodo di quiete in agosto. Una ripresa di sismicità si verificò in settembre con quattro forti scosse (magnitudo 5,1 e 5,6 l'11 settembre e magnitudo 5,8 e 6,1 il 15 settembre) che causarono ulteriori danni ed alcune vittime soprattutto nell'area di Gemona. Successivamente la sismicità calò notevolmente anche se un evento di magnitudo ragguardevole ($M_L = 5,2$) si verificò il 16 settembre 1977. Recentemente, alcuni lavori (Slejko et al., 1999; Aoudia et al., 2000; Pondrelli et al., 2001) riaprono il dibattito sul significato e sull'interpretazione della sequenza (Fig. 1.3).

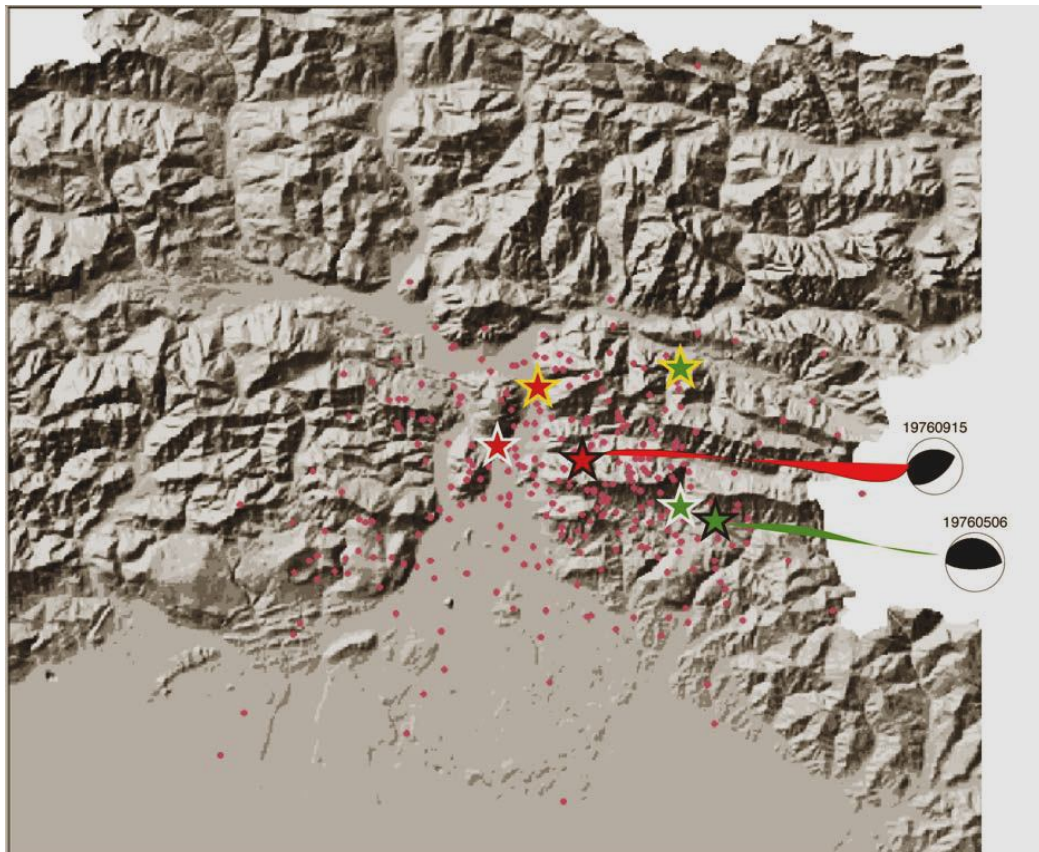


Fig. 1.3 - Confronto delle localizzazioni delle scosse principali nei più recenti lavori riguardanti la sequenza del 1976; le stelle indicano i due principali eventi del 6/5 (verde) e del 15/9 (rosso); bordati in nero i dati di Slejko et al. (1999), da cui sono tratti anche i meccanismi focali; in giallo quelli di Pondrelli et al. (2001); in bianco di Aoudia et al. (2000); i piccoli cerchi rosa sono le rilocalizzazioni per gli eventi minori proposte in questo lavoro.

Il terremoto del Friuli è avvenuto in un particolare momento storico per la sismologia italiana: l'epoca strumentale aveva portato alla presenza di numerose stazioni sul territorio italiano e, più in generale, europeo ma non esisteva ancora una raccolta dati centralizzata nè lo scambio delle informazioni era proficuamente attivo. Tutte le maggiori istituzioni scientifiche disponevano, inoltre, di strumentazione portatile atta a essere installata in zone interessanti. La sequenza sismica fu seguita dalla stazione di Trieste che utilizzò quasi esclusivamente i suoi dati per studiare l'evoluzione del fenomeno. Ulteriori studi furono sviluppati sulla base di dati raccolti ancora da stazioni permanenti o da reti temporanee. Solo in anni recenti il terremoto del 1976 è stato ristudiato a seguito di una dettagliata raccolta dei dati esistenti (Slejko et al., 1999), o tramite l'applicazione di tecniche moderne soprattutto per lo studio della sorgente dei terremoti principali (Aoudia et al., 2000; Pondrelli et al., 2001). I dati pubblicati dall'ISC sintetizzano bene l'informazione tradizionalmente disponibile relativa all'evoluzione della sequenza (Fig. 1.4): sono 426 gli eventi localizzati in Italia nord-orientale fra il 6 maggio 1976 e il 6 maggio 1977: di questi solo 142 scosse dispongono di una stima della magnitudo (ISC, 1976-1977). Per contro, la sola stazione di Trieste aveva localizzato (OGS, 1978) tramite azimuth e distanza 446 eventi con magnitudo superiore o uguale a 2,6; l'Istituto Nazionale di Geofisica, con le sue stazioni temporanee e quelle del CNEN in aggiunta alle stazioni fisse dell'ENEL, riporta ben 1015 sismi di magnitudo superiore o uguale a 1,6 (ING, 1976a; 1976b).

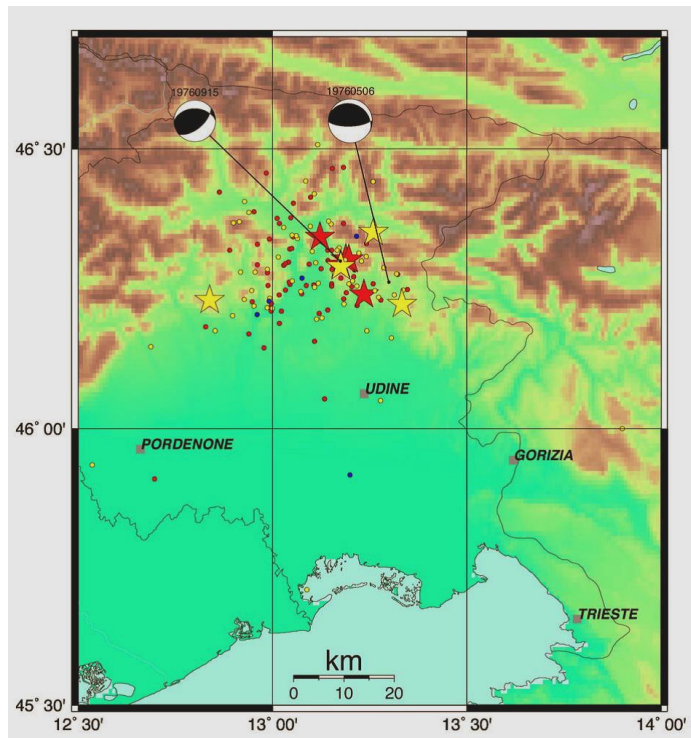


Fig. 1.4 - Mappe epicentrali per il primo anno della sequenza: dati tratti da ISC (1976-1977). Le stelle indicano gli eventi con magnitudo superiore a 5,0, in giallo il periodo maggio-agosto, in rosso settembre-dicembre 1976; in blu gennaio-aprile 1977. Le soluzioni focali dei due eventi principali sono quelle proposte da Slejko et al. (1999).

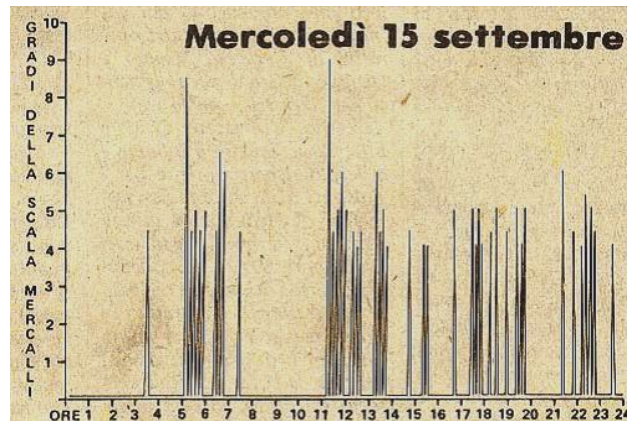
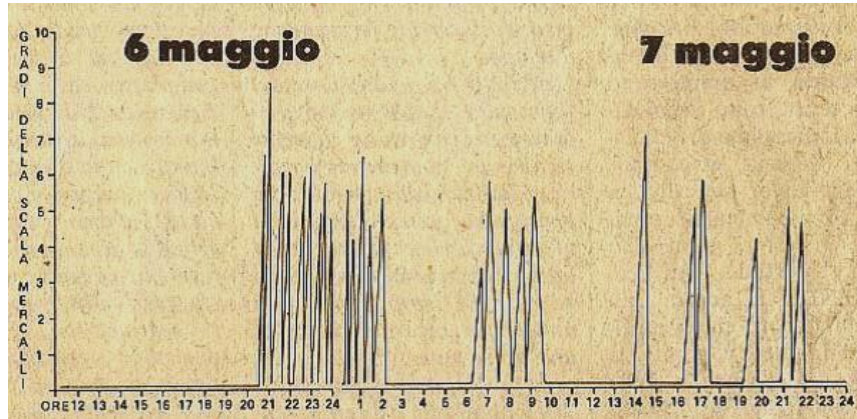
Attraverso una selezione di 700 rilevazioni, l'Osservatorio geofisico ha steso la mappa degli effetti superficiali del terremoto del 6 maggio. Si sono cioè create le isosiste del sistema. Si tratta di linee che si congiungono e che racchiudono le aree dove gli effetti hanno avuto caratteristiche analoghe: decimo, nono, ottavo, settimo grado Mercalli e così via. Si nota a vista che l'espansione della forza d'urto è stata maggiore verso nord, ovest ed est, anziché verso sud (Udine). E' un dato di fatto di rilievo perché considerato non casuale, bensì dovuto alla solida struttura su cui poggia tutta l'area comunale del capoluogo del Friuli.



La scossa principale, la sera del 6 maggio, subito dopo cena, fu preceduta da un unico segno premonitore: una scossa più leggera, ma sempre nettamente avvertibile, del VI grado della scala Mercalli: tale preavviso si verificò un minuto prima della scossa disastrosa; questa arrivò alle 21 mentre una parte della popolazione aveva già abbandonato le proprie case.

La massima energia distruttiva si liberò nella fase intermedia della scossa, durata circa un minuto, e ciò permise lo scampo a molti di quelli che non erano fuggiti dalle case per la prima scossa. In quel minuto interi paesi vennero distrutti; nella zona corrispondente all'epicentro, la pianura ai piedi di Gemona, più del 40% delle abitazioni crollò o fu danneggiata irreparabilmente. Più su, nella valle di Resia, nella parte inferiore del Canale di Ferro e nella zona pedemontana a Sud, andarono distrutte circa un quarto delle abitazioni.

Nell'area più duramente colpita, su poco meno di 140.000 abitanti si ebbero un migliaio di morti e il doppio dei feriti. Poco meno di 60.000 persone restarono senza casa mentre venivano a mancare contemporaneamente tutti i servizi essenziali: l'acqua, l'energia elettrica, i telefoni e le comunicazioni.



A differenza di quanto avviene in caso di bombardamenti bellici, gli effetti del sisma non sono selettivi: massimi nella zona epicentrale diminuiscono via via con la distanza ma interessano tutta l'area colpita.

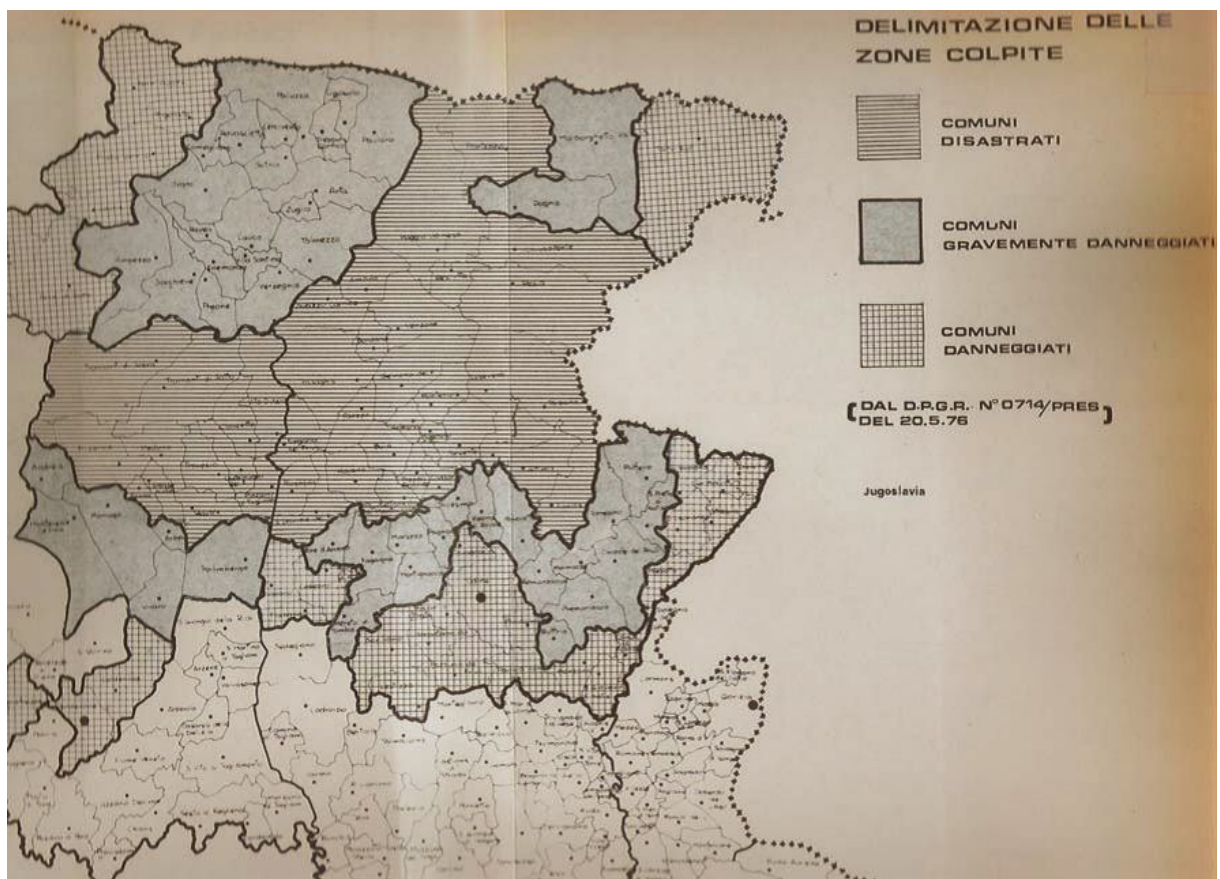
Danni agli edifici si ebbero anche a notevoli distanze e, ad esempio, furono danneggiate delle sottostazioni dell'ENEL a più di 100 Km di distanza.

Fu quindi necessario definire "amministrativamente" la zona dove concentrare le operazioni di soccorso e di assistenza.

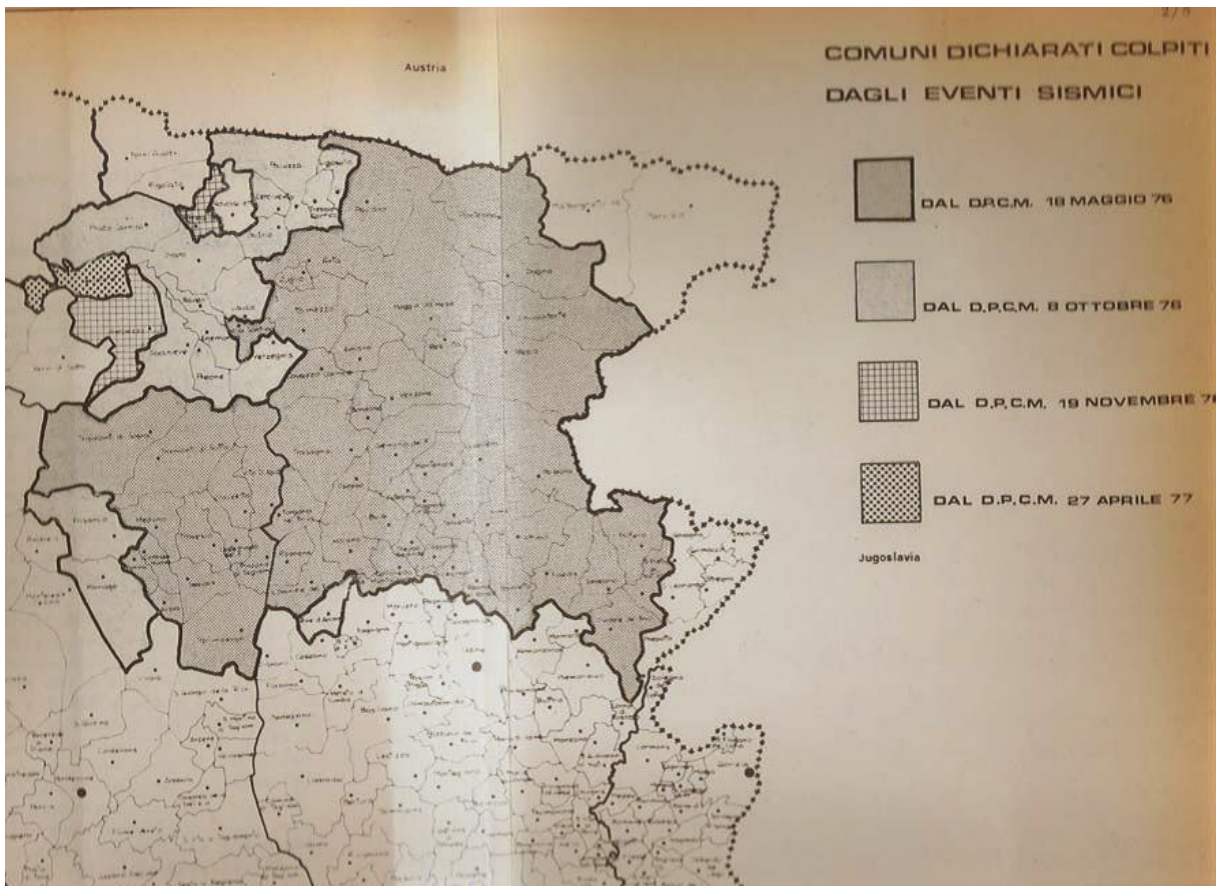
La legge statale n. 336 e la legge regionale n. 15 hanno disposto la delimitazione della zona terremotata: tale delimitazione geografica è stata effettuata con D.P.C.M. del 18 maggio 1976, per parte statale, e con D.P.G.R. del 20 maggio 1976, per parte regionale.

A seguito poi delle scosse di settembre la legge statale n. 730 ha disposto un'ulteriore delimitazione dei Comuni colpiti (non già inclusi nella precedente del maggio) effettuata in tre tempi successivi con i D.P.C.M. dell'8 settembre 1976, del 19 novembre 1976 e del 27 aprile 1977.

Qui di seguito si riportano le carte del Friuli con la delimitazione delle zone colpite dagli eventi sismici: nella prima tavola quelle definite dal D.P.G.R. del 20 maggio 1976;



e nella seconda quelle definite dal D.P.C.M. del 18 maggio 1976 e dalle successive integrazioni.



Come si può vedere, la delimitazione regionale, e quella statale differiscono in modo considerevole. Del resto i criteri di definizione non hanno potuto che essere empirici per entrambi. Così è successo, in diversi casi, che siano risultati inclusi tra i Comuni colpiti località in cui i danni sono stati tutto sommato limitati, mentre non lo siano stati altri che hanno riportato ferite non trascurabili.

Gli effetti delle scosse si fecero sentire soprattutto sui vecchi edifici costruiti in gran parte con murature in ciottoli arrotondati.

La maggior parte dei cedimenti delle strutture si ebbe nelle costruzioni di questo tipo; meglio si comportarono gli edifici in mattoni mentre poche furono i collassi totali di quelle con ossatura in cemento armato, anche se tra questi ultimi bisogna annoverare il crollo completo di due grandi fabbricati d'abitazione multipiano a Maiano che provocarono molti dei 127 morti di questo Comune.

Mentre la maggior parte della popolazione fuggiva all'aperto sia in seguito alla prima scossa che durante la scossa principale, la rovina delle vecchie case negli stretti vicoli dei centri storici causava parecchie vittime tra quanti erano riusciti a lasciare in tempo le abitazioni.

A Montenars, dove l'81% delle case risale a epoche anteriori al 1920 e l'84% a prima del 1945, perirono più del 4% degli abitanti; a Osoppo che aveva il 58% di abitazioni anteriori al 1920 e il 64% costruite prima del 1945, si ebbe pure il 4% delle vittime sul totale della popolazione; a Forgaria, con il 62% delle case anteriori al 1920, i morti furono più del 3% della popolazione.

I senzatetto furono rispettivamente: il 58% degli abitanti a Montenars, il 53% a Osoppo, il 59% a Forgaria. In base ad un rapporto dei Vigili del Fuoco redatto poco più di un mese dopo, i morti furono 976, 31 dei quali militari travolti da crolli avvenuti in alcune caserme della zona. Le stesse fonti stimano i feriti in circa 2.000 e i senzatetto poco meno di 60.000 su una popolazione di 370.000 abitanti.



Coinvolti nel terremoto, oltre agli edifici d'abitazione, furono anche edifici pubblici essenziali per il funzionamento di una comunità, e alcuni di capitale importanza nei momenti di grave emergenza: municipi, ospedali, caserme dell'Esercito, stazioni dei Carabinieri e di Polizia, scuole, chiese. Molti di questi erano vecchie costruzioni spesso di elevato valore artistico e monumentale.

Crollarono o divennero comunque inagibili i municipi dei paesi più colpiti e furono gravemente danneggiati molti archivi comunali.

Gravemente danneggiato fu l'ospedale di Gemona che serviva tutta la zona maggiormente colpita; danneggiati anche quelli di S. Daniele e di Tolmezzo.

Gravi i danni in molte caserme. Il sisma costò all'Esercito Italiano 31 morti. Danneggiato o di difficile recupero parte dell'equipaggiamento di pronto impiego. In particolare furono semidistrutte caserme a Gemona, Moggio Udinese, Artegna e Tarcento e gravemente danneggiate caserme a Venzone, Chiusaforte, Tarcento, Udine e Tauriano.

Distrutti dai crolli, tra le altre attrezzature militari, 18 centralini telefonici e 87 apparecchiature radio, ciò che provocò nei primi momenti gravi difficoltà al sistema delle comunicazioni menomato anche per la perdita di un centro nodale e di un ponte radio.

I Carabinieri ebbero 7 caserme distrutte, 8 inagibili e 24 danneggiate ed anch'essi gravi danni ai sistemi di comunicazione. Gravi danni subì anche la caserma della Polizia Stradale di Chiusaforte.



Gemona.



Venzone.



Gemona.



Gemona.



Gemona.

Comuni terremotati della Provincia di Udine	
Amaro	Disastrato
Ampezzo	Gravemente danneggiato
Arta Terme	Gravemente danneggiato
Artegna	Disastrato
Attimis	Disastrato
Basiliano	Danneggiato
Bordano	Disastrato
Buia	Disastrato
Buttrio	Danneggiato
Campoformido	Danneggiato
Cassacco	Disastrato
Cavazzo Carnico	Disastrato
Cercivento	Gravemente danneggiato
Chiusaforte	Disastrato
Cividale	Gravemente danneggiato
Colloredo di M.A.	Disastrato
Comeglians	Gravemente danneggiato
Corno di Rosazzo	Danneggiato
Coseano	Danneggiato
Dignano	Danneggiato
Dogna	Gravemente danneggiato
Drenchia	Danneggiato
Enemonzo	Gravemente danneggiato
Faedis	Disastrato
Fagagna	Gravemente danneggiato
Flaibano	Danneggiato
Forgaria	Disastrato
Forni Avoltri	Danneggiato
Forni di Sopra	Danneggiato
Forni di Sotto	Danneggiato
Gemona	Disastrato
Grimacco	Danneggiato
Lauco	Gravemente danneggiato
Lestizza	Danneggiato
Ligosullo	Gravemente danneggiato
Lusevera	Disastrato
Magnano in Riv.	Disastrato
Maiano	Disastrato
Malborghetto-Valbruna	Gravemente danneggiato
Manzano	Danneggiato
Martignacco	Gravemente danneggiato
Mereto di Tomba	Danneggiato
Moggio Udinese	Disastrato
Moimacco	Gravemente danneggiato

Montenars	Disastrato
Moruzzo	Gravemente danneggiato
Nimis	Disastrato
Osoppo	Disastrato
Ovaro	Gravemente danneggiato
Pagnacco	Gravemente danneggiato
Paluzza	Gravemente danneggiato
Pasian di Prato	Danneggiato
Paularo	Gravemente danneggiato
Pavia di Udine	Danneggiato
Pontebba	Disastrato
Povoletto	Gravemente danneggiato
Pozzuolo	Danneggiato
Pradamano	Danneggiato
Prato Carnico	Danneggiato
Premariacco	Gravemente danneggiato
Preone	Gravemente danneggiato
Prepotto	Danneggiato
Pulfero	Gravemente danneggiato
Ragogna	Disastrato
Ravaschetto	Gravemente danneggiato
Raveo	Gravemente danneggiato
Reana del Roiale	Gravemente danneggiato
Remanzacco	Gravemente danneggiato
Resia	Disastrato
Resiutta	Disastrato
Rigolato	Danneggiato
Rive d'Arcano	Gravemente danneggiato
S.Daniele	Disastrato
S.Giovanni al Natisone	Danneggiato
S.Leonardo	Danneggiato
S.Pietro al Nat.	Gravemente danneggiato
S.Vito di Fagagna	Danneggiato
Sauris	Danneggiato
Savogna	Danneggiato
Sedegliano	Danneggiato
Socchieve	Gravemente danneggiato
Stregna	Danneggiato
Sutrio	Gravemente danneggiato
Taipana	Disastrato
Tarcento	Disastrato
Tarvisio	Danneggiato
Tavagnacco	Danneggiato
Tolmezzo	Disastrato
Torreano	Gravemente danneggiato

Trasaghis	Disastrato
Treppo Carnico	Gravemente danneggiato
Treppo Grande	Disastrato
Tricesimo	Disastrato
Udine	Danneggiato
Venezia	Disastrato
Verzegnis	Gravemente danneggiato
Villa Santina	Disastrato
Zuglio	Gravemente danneggiato

Comuni terremotati della Provincia di Pordenone	
Andreis	Disastrato
Arba	Gravemente danneggiato
Arzene	Gravemente danneggiato
Aviano	Danneggiato
Barcis	Danneggiato
Budoia	Danneggiato
Caneva	Danneggiato
Castelnuovo del Friuli	Disastrato
<i>Cavasso Nuovo</i>	<i>Disastrato</i>
Cimolais	Danneggiato
Claut	Danneggiato
Clauzetto	Disastrato
Cordenons	Danneggiato
Fanna	Disastrato
Fontanafredda	Danneggiato
Frisanco	Disastrato
Maniago	Gravemente danneggiato
Meduno	Disastrato
Montebelluna	Gravemente danneggiato
Pinzano al Tagliamento	Disastrato
Polcenigo	Danneggiato
Porcia	Danneggiato
Pordenone	Danneggiato
Roveredo in Piano	Danneggiato
Sacile	Danneggiato
S.Giorgio della Rich.	Danneggiato
S.Martino al Tagliamento	Danneggiato
S.Quirino	Danneggiato
Sequals	Disastrato
Spilimbergo	Disastrato
Tramonti di Sopra	Disastrato
Tramonti di Sotto	Disastrato
Travesio	Disastrato

Valvasone	Danneggiato
Vito d 'Asio	Disastrato
Vivaro	Gravemente danneggiato

Comuni terremotati della Provincia di Gorizia	
Cormons	Danneggiato
Dolegna del Collio	Danneggiato
S.Floriano del Collio	Danneggiato

La vicenda del terremoto (meglio dei terremoti) del 1976 in Friuli è generalmente conosciuta per l'insieme di azioni (progettuali, strutturali, logistiche, costruttive, tecnologiche) che si sono sviluppate nei cantieri di ricostruzione. E ancora oggi il tema degli interventi di ripristino e di riorganizzazione del tessuto edilizio messo in atto trenta e più anni or sono nella regione Friuli, coordinata e diretta in primo luogo dalla Segreteria Generale Straordinaria, è fonte di riflessioni e di indicazioni operative per chi studia come affrontare le emergenze e le ricostruzioni dei luoghi colpiti da calamità naturali.

I dati più significativi della immane mole di opere di ripristino edilizio sono sintetizzabili in pochi, ma significativi, numeri: 20.000 edifici ricostruiti e 75.000 edifici riparati, distribuiti su un territorio di 5.700 kmq, comprendente 137 comuni delle province di Pordenone e di Udine, 800 circa professionisti (architetti, ingegneri, geologi, geometri, periti) coinvolti. Accanto a questi va però considerato un altro dato meno conosciuto, ma di grande valore culturale: il recupero di 1.604 edifici superstiti di un ben più consistente patrimonio architettonico caratterizzato da valori storico-ambientali e connotato da specifiche, e spesso uniche, modalità e tecniche costruttive. Un patrimonio, quello recuperato, che a buon titolo si può ritenere il "documento storicizzato" di un passato che, per la vastità e la diffusione del fenomeno, si riconosce quasi esclusivamente in queste testimonianze materiali.

La intuizione che proprio questi campioni di "architettura spontanea" potessero avere un significato per il futuro, e che il recupero di questi edifici potesse diventare il segno tangibile della attenzione che il popolo friulano ha sempre avuto nei confronti delle radici materiali della propria cultura, è presente in un articolo della legge regionale 20 giugno 1977, n. 30. L'articolo 8 (numero questo che diventerà nel corso negli anni un riferimento noto a tutti i protagonisti della ricostruzione del Friuli) stabilisce proprio che «al fine di recuperare e valorizzare, attraverso la corretta esecuzione delle opere di riparazione e di restauro, i principali valori ambientali, storici, culturali ed etnici connessi con l'architettura locale, il Servizio regionale dei Beni ambientali è autorizzato, anche su segnalazione dei Comuni interessati, a compilare, mediante schedatura e catalogazione, elenchi documentati degli

edifici, anche non a uso abitativo danneggiati dagli eventi sismici e rappresentativi dei valori su indicati, ubicati sia all'interno e sia all'esterno delle zone terremotate.

In un certo senso si può affermare che la precarietà dell'architettura spontanea locale caratterizzava tutto il patrimonio esistente e che i sismi del 1976 abbiano solamente messo in evidenza la vastità del fenomeno.

In questo quadro di "svantaggio" (uno svantaggio che fu sicuramente la causa prima delle distruzioni provocate dal terremoto e di tante successive demolizioni, e che tanto dolore arrecò agli abitanti) i provvedimenti promossi con l'articolo 8 della legge 30 ebbero la capacità di "riabilitare" la parte più pregevole del patrimonio edilizio superstite, attraverso operazioni progettuali e tecnico-operative che praticamente non erano mai state applicate prima. Sostenitori di questa iniziativa furono senz'altro i tecnici sloveni che avviarono un'intensa collaborazione con i progettisti locali, e che ebbero il merito di mostrare come era possibile recuperare le strutture esistenti lesionate ma non irrimediabilmente compromesse.

Si è parlato molto di modello Friuli per la ricostruzione delle zone terremotate dell'Abruzzo, volendo con questo riferimento richiamare alcune delle positive linee di evoluzione del processo di ricostruzione del Friuli terremotato, che hanno permesso, a distanza di circa dieci anni dal terremoto, la piena ricomposizione spaziale e reintegrazione funzionale del complesso e articolato territorio e degli insediamenti colpiti dal terremoto del 1976. Un riferimento condivisibile, ma che tuttavia non permette forse di evidenziare la particolare complessità sul piano politico-amministrativo e tecnico-organizzativo che l'opera di ricostruzione del Friuli terremotato ha dovuto affrontare negli oltre dieci anni successivi all'evento sismico. Una ricostruzione che, grazie alla solidarietà della Comunità nazionale, a un'ampia delega amministrativa alle Autorità locali, a un equilibrato rapporto fra indirizzo pubblico e intervento privato, ha saputo peraltro legare l'opera di ricomposizione fisica e funzionale del territorio e del patrimonio edilizio e urbanistico danneggiati dal terremoto del 1976 a una più generale fase di sviluppo regionale che pone oggi il Friuli Venezia Giulia fra le aree più dinamiche, sotto il profilo socio-economico, del nostro Paese.

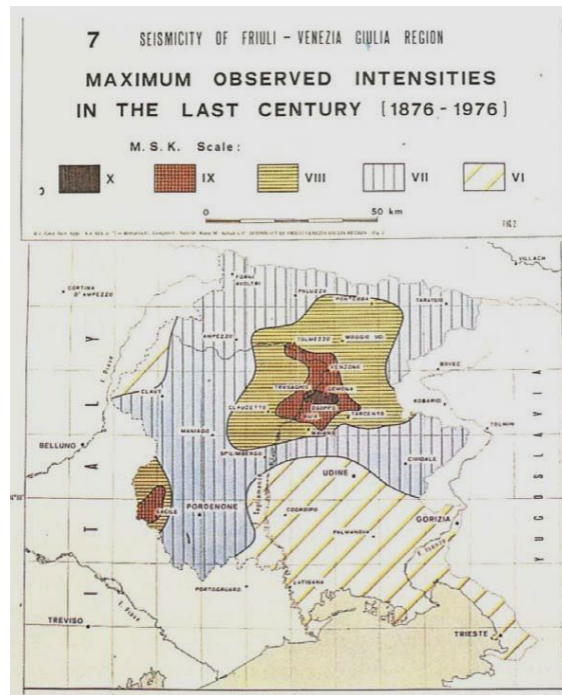
Dal punto di vista geografico, se le maggiori distruzioni agli insediamenti si sono registrate nell'ambito delle Prealpi Carniche e Giulie, gli eventi sismici hanno interessato con pari intensità tutto l'Anfiteatro Morenico a sud, mentre estese distruzioni si sono registrate anche a nord, nell'ambito delle Alpi Tolmezzine e Giulie. Posto a cavallo di grandi unità geologiche aventi caratteri stratigrafici e strutturali differenziati (Alpi meridionali e Alpi Dinariche), il Friuli è stato in passato interessato con regolarità da ripetuti eventi sismici, alcuni di particolare intensità, da imputare principalmente alle caratteristiche tettoniche del relativo territorio. Sono infatti le numerose faglie longitudinali che

attraversano il territorio friulano a essere le principali cause della sua elevata sismicità, con particolare riguardo a quelle interessanti l'alta pianura sepolte sotto i sedimenti quaternari, che rappresentano le più interessanti dal punto di vista geodinamico. Nonostante un'ampia conoscenza della sismicità del territorio regionale, solo pochi comuni risultavano prima del terremoto classificati come zona sismica ai sensi della legge nazionale n.64 del 1974, non essendo pertanto obbligati a rispettare la rigorosa normativa prevista da questa legge per le costruzioni, che avrebbe ridotto sensibilmente il livello di danno alle strutture urbanistiche ed edilizie causato dal terremoto del 1976. Grazie agli studi predisposti, successivamente al 1976, che hanno permesso di acquisire una più approfondita conoscenza delle caratteristiche sismo-tettoniche del territorio regionale, quasi tutta la zona collinare e montana del Friuli è stata classificata come area sismica. Fatto questo che permetterà di affrontare i prossimi terremoti in condizioni di maggiore sicurezza del passato, grazie anche a una articolazione delle strutture della Protezione Civile che ha fatto, negli ultimi anni, nel Friuli Venezia Giulia, sensibili passi avanti sul piano organizzativo e operativo.

Per quanto riguarda gli allineamenti pedemontani ricordiamo: l'allineamento a Est, costituito dai centri pedemontani di Gemona del Friuli, Artegna, Tarcento, Nimis, Attimis sino a Cividale del Friuli; e quello ad Ovest costituito dai centri di Pinzano al Tagliamento, Meduno, Cavasso Nuovo sino a lambire il centro urbano di Maniago.

Per quanto concerne gli insediamenti collinari si ricordano, in particolare, i centri di San Daniele del Friuli, Fagagna, Moruzzo e Tricesimo, corrispondenti alla cerchia morenica più esterna, e i centri di Caporiacco, Colloredo di Montalbano, Treppo Grande, Majano, San Salvatore e Urbignacco corrispondenti alle cerchie moreniche più interne.

Anche se altri centri hanno subito danno dovuti al terremoto del 1976, sono sostanzialmente quelli richiamati, con particolare riguardo a quelli pedemontani e collinari, ad aver subito quelli più gravi con la distruzione pressochè totale degli agglomerati urbani preesistenti. Centri già colpiti in passato da altri terremoti, che hanno conosciuto, ancora una volta gli effetti distruttivi di un terremoto classificato, a maggio, del grado 6,5 della scala Richter, seguito, alcuni mesi dopo, a settembre, da un'ulteriore scossa lievemente inferiore. Una scossa quella di maggio, con epicentro il monte S.Simeone, nei pressi di Venzone. Sono questi alcuni dei dati essenziali che danno un'idea sommaria dei problemi che l'organizzazione della Protezione Civile ha dovuto affrontare a pochi giorni dal primo terremoto.



Se i danni maggiormente pubblicizzati sono stati quelli relativi al patrimonio edilizio e urbanistico degli insediamenti, un settore meno noto che ha registrato danni paragonabili a quelli di altri settori è stato l'assetto idrogeologico delle aree colpite dal sisma. Il terremoto del 1976 ha, infatti, avuto la funzione di accelerare la naturale dinamica dei fenomeni di instabilità, già ampiamente presenti nella zona montana del Friuli, contribuendo a incrementare le gravi condizioni di dissesto idrogeologico presenti nell'area colpita dall'evento sismico. Per quanto gli episodi di più intenso dissesto si sono verificati nelle aree epicentrali, danni rilevanti si sono manifestati anche in aree marginali verso i confini con il Veneto, la Carinzia e la Slovenia. Tutti i versanti montani sono stati infatti interessati da estesi movimenti franosi, valutati alcuni anni dopo il terremoto in oltre 150, ai quali peraltro è necessario aggiungere il dissesto conseguente ai più estesi fenomeni di franosità potenziale.

Il quadro complessivo dei danni al patrimonio edilizio è imputabile a un insieme più complesso di cause, fra le quali quelle idrogeologiche non devono essere certamente messe in secondo piano: le caratteristiche litologiche, morfologiche, la profondità della falda freatica sono tutti elementi che hanno influito in modo non secondario a incrementare l'intensità sismica, determinando, a parità di altre condizioni, un aumento del livello di danno alle strutture edilizie e urbanistiche. Se il danno alle strutture edilizie è quello più noto e citato in tutte le pubblicazioni, meno noto è il danno arrecato alle infrastrutture civili. Il sisma del 1976 distrugge oltre 2000 km di fognature, oltre 4000 km di acquedotti, 500 aule scolastiche, un ospedale, quello di Gemona del Friuli, reso non più agibile e successivamente demolito, 14 ambulatori e 5 case di riposo.

Qualche cenno ulteriore meritano infine i danni al patrimonio di interesse storico - artistico e culturale, ampiamente documentato in occasione del decennale della ricostruzione. Oltre alla distruzione pressoché totale di alcuni centri urbani di eccezionale importanza storico - culturale, quali Gemona del Friuli e Venzone, per indicare i principali, sono rilevanti i danni ai beni architettonici di interesse storico-artistico. Sono oltre trecento gli edifici pubblici, per il culto e gli edifici privati quali castelli, ville, palazzi a subire rilevanti danni, ma sono altrettanto gravi i danni ai beni mobili di interesse storico - artistico. Se il terremoto del 1976 è stato l'occasione per qualche significativo ritrovamento, complessivamente il sisma ha danneggiato, talvolta irreparabilmente, quasi settecento beni mobili, fra affreschi, dipinti, sculture e manufatti lapidei, beni talvolta fra i più rappresentativi della storia e della cultura del Friuli.

I pochi e schematici dati riportati non danno, probabilmente, un quadro completo della vastità e gravità dei danni arrecati al territorio e agli insediamenti dal sisma del 1976; ancora più complesso è sintetizzare in poche pagine quelle che possono essere considerate le linee guida e le articolate fasi della ricostruzione. Una ricostruzione che, se ha impegnato per oltre un decennio l'Amministrazione regionale in un complesso e articolato programma di interventi, ha visto coinvolto a vario titolo tutto il sistema delle Autonomie locali: dalle Amministrazioni provinciali alle comunità montane, ma in modo particolare, le Amministrazioni comunali che sono quelle che hanno svolto un ruolo di primo piano nel lento processo di ricomposizione spaziale e reintegrazione funzionale degli insediamenti colpiti dal terremoto.

Il primo atto legislativo dal quale è possibile desumere quelli che possono essere considerati i primi orientamenti politici che hanno ispirato l'opera di ricostruzione è la legge statale 8 agosto 1977 n.546. dal contesto della legge emerge subito come la ricostruzione sia stata impostata subito, non come una ricostituzione della situazione preesistente al sisma, con finalità prevalentemente risarcitorie del danno, bensì come azione più complessa e articolata tendente a inserire la ricostruzione nell'ambito di un più ampio e articolato programma di *sviluppo regionale*. Un secondo fondamentale orientamento della legge statale è il pieno affidamento di tutta l'opera di ricostruzione alle Autonomie locali, con particolare riguardo all'Amministrazione regionale, alla quale viene conferito tutto l'onere di delineare il quadro legislativo e tecnico-organizzativo finalizzato ad avviare e orientare gli interventi di ricomposizione spaziale e funzionale del territorio terremotato.

Un mese dopo il primo terremoto l'Amministrazione regionale avvia, con la legge regionale n.17 del 7 giugno 1976, successivamente perfezionata nei dispositivi normativi della legge regionale n.30 del 1988, un'ampia azione di recupero statico e funzionale del patrimonio edilizio danneggiato non irrimediabilmente dal sisma. Una iniziativa questa tesa non solo a limitare, con una capillare attività di recupero statico e funzionale del patrimonio edilizio esistente, il fabbisogno di insediamenti

provvisori prima e di nuova edilizia residenziale poi, ma, principalmente, come azione tesa al recupero e salvaguardia di un patrimonio di eccezionale valore storico, testimonianza irripetibile di una identità culturale, la cui ricerca ha rappresentato, nel corso dei venti ormai trascorsi, il principio ispiratore di tutta l'opera di ricostruzione. Già a due anni dal terremoto, grazie a una vasta azione di divulgazione e documentazione delle tecniche di intervento, oltre 15000 abitazioni sono recuperate, contribuendo in maniera determinante a una sollecita reintegrazione funzionale di molti insediamenti danneggiati.

Se questa vasta azione di recupero statico e funzionale del patrimonio edilizio è stata l'iniziativa che ha dato un impulso determinante alle prime fasi della ricostruzione, il provvedimento legislativo che segna il più ampio e concreto avvio dell'opera di ricostruzione è la legge regionale n.63 del 1977. Grazie a questo tempestivo provvedimento legislativo regionale, non solo vengono definite con chiarezza le linee guida di tutta l'opera di ricostruzione, con particolare riguardo all'urbanistica, edilizia, e lavori pubblici, bensì viene delineato, in presenza di un'ampia delega amministrativa agli enti locali, il quadro organizzativo dei livelli di governo nonché degli strumenti tecnico-operativi e finanziari destinato a presiedere per oltre un decennio l'attività di ricostruzione fisica del territorio e degli insediamenti distrutti dal terremoto del 1976. Una ricostruzione concepita sin dalle prime fasi, nell'ambito della legislazione e degli strumenti programmatici adottati dall'Amministrazione regionale, come strumento di rilancio dello sviluppo regionale attraverso: il conseguimento di nuove e più sicure condizioni di equilibrio idrogeologico; un consolidamento e qualificazione della base produttiva; un ammodernamento e razionalizzazione della struttura urbana, attraverso peraltro il massimo recupero possibile del patrimonio edilizio preesistente al sisma; e, infine, il completamento e ammodernamento del sistema infrastrutturale regionale con l'obiettivo di inserire il Friuli nell'ambito delle principali direttrici di sviluppo di scala europea.

Grazie alla legge regionale n° 63/77, già a due anni dal terremoto, non solo molti strumenti urbanistici generali sono in fase di avanzata revisione, mentre oltre 350 piani particolareggiati di ricostruzione sono ormai vicini all'approvazione, ma, in primo luogo, molti interventi di recupero edilizio e di ricostruzione hanno potuto essere avviati grazie alle tempestive decisioni comunali e ai finanziamenti statali e regionali già disponibili.

Se a pochi anni dal terremoto si registra la piena ripresa di tutte le attività produttive, con la completa reintegrazione dei 18000 posti di lavoro andati perduti con il sisma, a metà del 1977 inizia la complessa attività di recupero statico e funzionale degli edifici non irrimediabilmente danneggiati che si conclude fra il 1987 e il 1988. L'attività di ricostruzione vera e propria inizia nei primi mesi del 1978, raggiunge un massimo nei primi anni '80, per concludersi fra il 1988 e il 1989. L'ultima attività, quella relativa al ripristino e recupero delle opere pubbliche comunali, inizia alla fine degli anni '70,

raggiunge molto lentamente un massimo nel 1982, per concludersi altrettanto lentamente verso l'88-'89.

Al termine dell'opera di ricostruzione sono oltre 75000 le abitazioni ripristinate e recuperate, circa 18000 le abitazioni ricostruite o costruite ex novo, ma sono oltre 100000 gli interventi effettuati se si considerano anche quelli relativi alle attività produttive e alle opere pubbliche. Complessivamente l'opera di ricostruzione ha richiesto un investimento di oltre 5000 miliardi di lire del tempo corrispondenti, sostanzialmente, agli stanziamenti effettuati dalle leggi statali, con regolarità e tempestività fra il 1977 e il 1986, che hanno permesso all'Amministrazione regionale di portare a compimento il compito affidatole nel giro di poco più di un decennio.

A completamento, infine, di questo sintetico richiamo delle tappe fondamentali della ricostruzione, non si può non ricordare, per la loro importanza nell'ambito degli interventi per la ripresa e lo sviluppo delle zone terremotate previsti dalla legge statale 546 del 1977: l'istituzione dell'Università degli Studi di Udine, concepita in primo luogo come strumento di rilancio dello sviluppo socio-economico friulano, la realizzazione di importanti infrastrutture quali l'autostrada Udine-Tarvisio e la ferrovia Pontebbana, finalizzata a favorire l'inserimento del Friuli Venezia Giulia nell'ambito delle grandi direttrici di sviluppo di livello nazionale ed europeo.

2. IL RISCHIO SISMICO

Un elemento fondamentale nello sviluppo di strategie di prevenzione e di riduzione del rischio sismico è la valutazione del comportamento strutturale sotto azioni sismiche di intensità distruttiva: per gli edifici esistenti il problema si pone essenzialmente nella valutazione della loro attuale predisposizione al danneggiamento, ossia della loro vulnerabilità.

Le procedure utilizzabili per condurre tali operazioni possono avere vari livelli di dettaglio in funzione della qualità e quantità di informazioni che si acquisiscono per ogni singolo edificio. In un'ottica di mitigazione del rischio sismico, queste analisi vanno condotte su interi ambiti territoriali o urbani e quindi su una pluralità di edifici: ciò porta conseguentemente a ricercare procedure di valutazione della vulnerabilità che, partendo da un'acquisizione il più possibile speditiva di informazioni, permetta di formulare una stima sufficientemente attendibile della danneggiabilità sismica, senza ricorrere a modelli eccessivamente raffinati.

Inoltre, il patrimonio edilizio e, in particolare, il tessuto urbano storico d'Italia, così come in molti altri Paesi a rilevante rischio sismico, sono prevalentemente costituiti da edifici in muratura portante, generalmente costruiti in epoche passate in assenza di normative antisismiche. Le fabbriche tradizionali si possono considerare come assemblaggi di elementi determinati staticamente, vincolati in modo monolatero ed essenzialmente basati sugli accorgimenti dettati dalla cosiddetta "regola dell'arte": tali accorgimenti si trovano effettivamente solo in edifici di una certa importanza, mentre nell'edilizia ordinaria sono piuttosto rari, con conseguente incremento della debolezza statica e sismica. Tali condizioni portano a preferire, ai fini dell'analisi strutturale per la valutazione della vulnerabilità sismica, verifiche di dettaglio di meccanismi elementari di collasso su singoli elementi, ricercando l'eventuale punto debole della costruzione, piuttosto che studi dell'intero edificio che considerino il comportamento ideale di scatola pluriconnessa elastica o elastoplastica.

Infine, un'analisi del territorio che muove la propria scala di indagine dalla singola unità strutturale all'intero centro storico e oltre, non può prescindere dal fatto che il costruito in muratura si trova spesso organizzato in aggregati di edifici interagenti in modo complesso: questo rende ancora più difficoltosi l'approccio, lo sviluppo delle analisi e l'interpretazione dei risultati.

Negli scorsi anni, sono state svolte numerose ricerche che hanno permesso di proporre una metodologia innovativa in rapporto alla complessità dell'edificato storico e versatile sia per analisi predittive e di verifica post-sisma, sia per il progetto di piani di mitigazione. La metodologia, già applicata in diversi centri storici, nei quali sono stati individuati campioni significativi di edifici appartenenti a diverse tipologie costruttive, prevede una imprescindibile fase di conoscenza preliminare di impostazione fortemente interdisciplinare, basata sulla raccolta di dati in sito mediante l'utilizzo di apposite schede e sulla realizzazione di campagne minime di indagini

sperimentali. A partire dalle informazioni disponibili sono state effettuate analisi storico -tipologiche, strutturali, dei meccanismi di danno e degli interventi pregressi e sono state successivamente svolte valutazioni della vulnerabilità sismica dei sistemi edilizi aggregati, mediante l'applicazione di procedure automatiche di calcolo, basate sulla stima della resistenza nel piano e sullo studio di meccanismi locali di collasso fuori piano di macroelementi strutturali: tali procedure di calcolo limite dipendono da pochi parametri geometrici e meccanici, e quindi non richiedono un rilievo estremamente accurato e pesanti oneri computazionali.

Il rischio si definisce per un territorio o per una popolazione di oggetti, costruzioni, beni e persone sulla base dei danni attesi a seguito di possibili eventi naturali o di origine antropica. Come noto, l'entità di tali danni e, quindi, il rischio dipendono da tre ordini di fattori, legati rispettivamente alla natura, frequenza e livello degli eventi attesi, alla natura qualità e quantità dei beni esposti, alla capacità dei beni stessi di resistere alle offese. Per detti fattori è ormai consolidata la seguente terminologia: pericolosità, esposizione, vulnerabilità.

In questa sede viene analizzato il rischio sismico e quindi si tratta di definire la pericolosità sismica, la vulnerabilità sismica e l'esposizione sismica:

- La pericolosità sismica è la probabilità che si verifichi entro una data area ed entro un certo periodo di tempo un evento sismico in grado di causare danni: non essendo possibile prevedere i terremoti o modificarne l'intensità e frequenza, la classificazione sismica del territorio individua la pericolosità e quantifica le azioni di riferimento in ogni zona. Le mappe di pericolosità sismica possono essere definite in termini di intensità macrosismica oppure di accelerazione di picco al suolo (Peak Ground Acceleration – PGA) e accelerazione spettrale (Fig.2.1). L'intensità macrosismica è una misura ibrida dell'input sismico che dipende indirettamente dalla vulnerabilità degli edifici, anche se le moderne scale macrosismiche, come la scala macrosismica europea EMS98, puntano a superare questo aspetto: è un parametro utile in quanto la pericolosità sismica è ottenuta, deterministicamente o probabilisticamente, dalla sismicità storica. La rappresentazione meccanica dell'input sismico è invece data tramite PGA e accelerazione spettrale relativa alla risposta strutturale di un sistema a un grado di libertà equivalente: gli effetti di sito possono essere tenuti in considerazione sia come amplificazione della PGA sia modificando la forma spettrale;
- Per vulnerabilità sismica si intende la propensione al danneggiamento che un edificio o un gruppo di edifici dimostra in occasione di un evento sismico: tali danni possono indurre la momentanea perdita o riduzione di funzionalità dei manufatti e delle strutture o anche una totale irrecoverabilità. È comunque possibile ridurre il danno atteso migliorando le caratteristiche strutturali e non strutturali dei manufatti mediante interventi;

- Per quanto riguarda l'esposizione sismica del costruito (dislocazione, consistenza, qualità e valore dei beni e delle attività presenti sul territorio: insediamenti, edifici storici, ma anche attività economico-produttive, infrastrutture, densità di popolazione, ecc.) è possibile intervenire su condizioni di particolare criticità progettando l'uso del territorio, incidendo su distribuzione e densità abitative, infrastrutture e destinazioni d'uso, oppure aumentando il livello di protezione migliorando i comportamenti in caso di eventi accidentali.

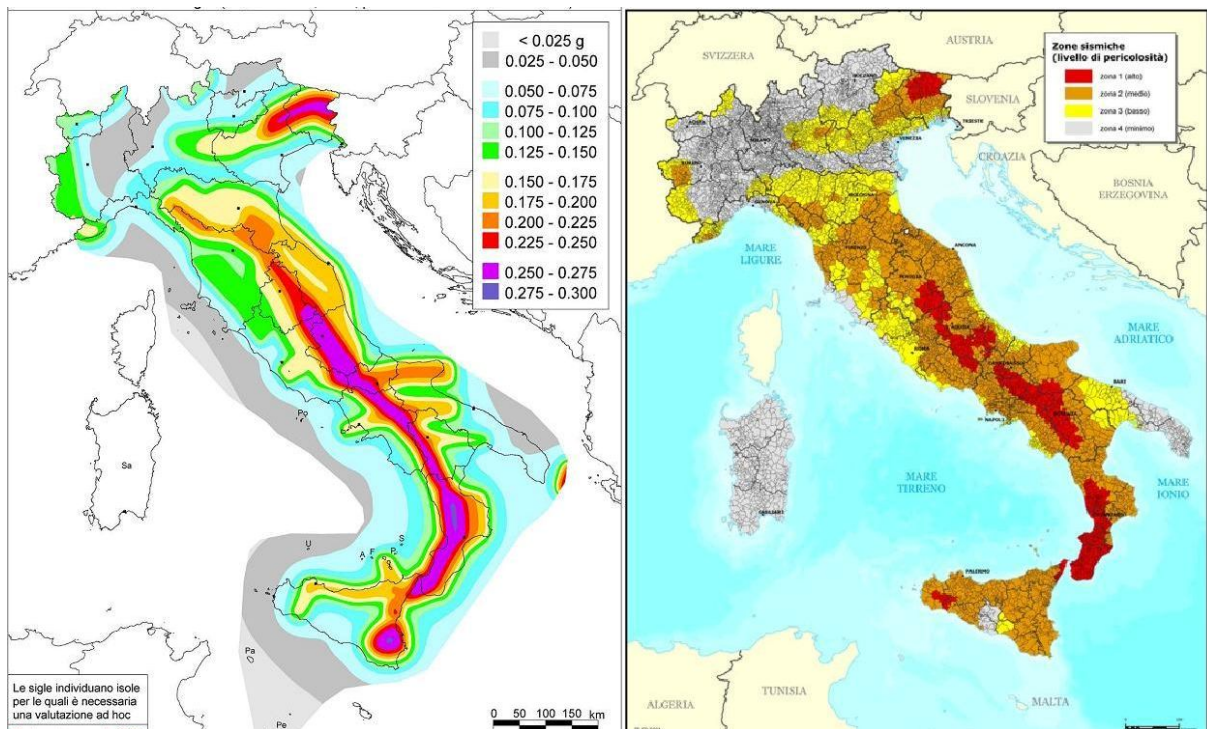


Fig.2.1 Mappa nazionale di stima di pericolosità sismica in termini di ag per probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e mappatura delle zone sismiche.

Quindi per definire il rischio R è necessario considerare tre elementi essenziali: la pericolosità sismica P, la vulnerabilità sismica V e l'esposizione E:

$$R = P \times V \times E$$

La Figura 2.2 presenta un diagramma che illustra le relazioni fondamentali fra i tre elementi che definiscono il rischio sismico considerando i fattori determinanti e le competenze necessarie per lo studio.

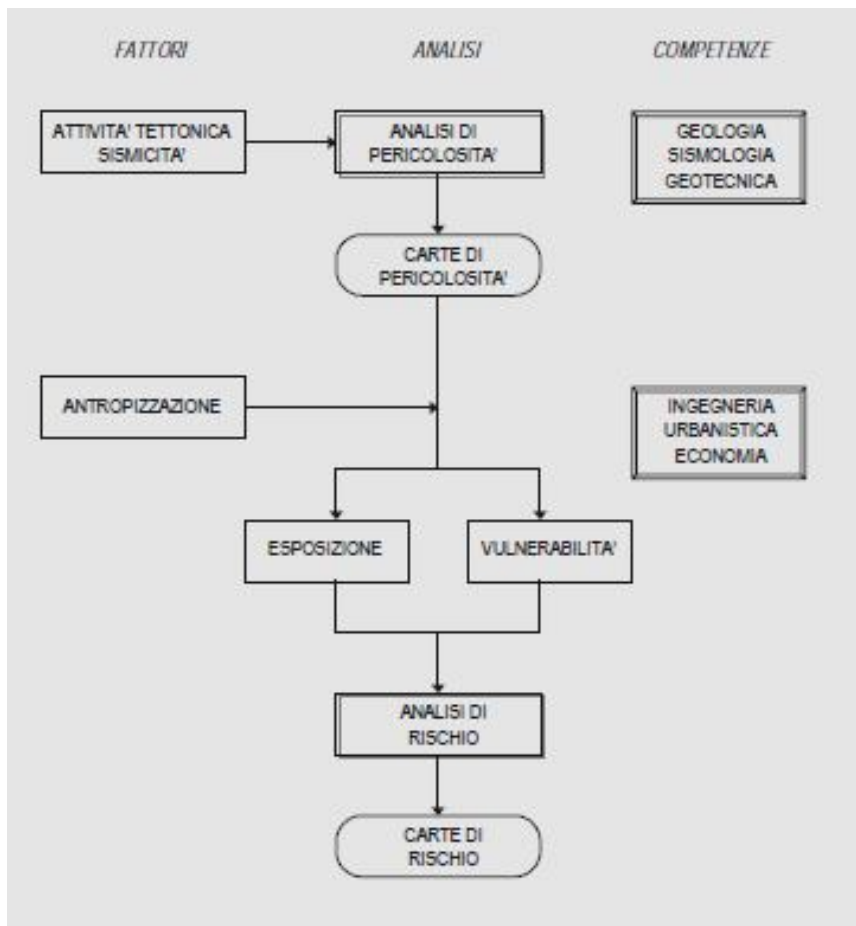


Fig.2.2

2.1 Studio della vulnerabilità sismica

Le prime valutazioni di vulnerabilità in Italia sono state effettuate in seguito al terremoto Campano-Lucano del 23 novembre 1980. Esse hanno utilizzato i rilievi di danno effettuati immediatamente dopo quel terremoto ed hanno portato alla determinazione di matrici di probabilità di danno per tredici classi tipologiche (Braga et al., 1982); successivamente le tredici classi sono state raggruppate e ridotte alle quattro classi utilizzate dalla scala di intensità MSK; le matrici sono state successivamente affinate sulla scorta dei rilievi di danno seguiti al terremoto dell'Italia Centrale del 1984 (Braga et al., 1984).

Eseguire un'analisi di vulnerabilità sismica significa valutare la consistenza del costruito diffuso in una data area, sia in termini quantitativi che qualitativi, e in particolare stimare la sua propensione a essere danneggiato da un terremoto. Una metodologia per l'analisi di vulnerabilità deve quindi precisare come eseguire il censimento, più o meno dettagliato, del costruito e delle sue caratteristiche e definire opportuni modelli che correlino la severità del moto sismico con gli effetti in termini di danneggiamento fisico e di perdite, economiche o intangibili.

Qualora lo studio di pericolosità sia condotto in termini probabilistici, si configura quella che viene denominata un'analisi di rischio. Nel caso invece in cui la sismicità sia studiata su base deterministica, ad esempio estraendo da un catalogo di sismicità storica uno o più terremoti significativi, si esegue un'analisi di scenario, ovvero si valutano gli effetti sul territorio a seguito di uno specifico evento sismico.

La scelta tra analisi di rischio e analisi di scenario dipende dalle finalità dello studio. Nel caso di uno studio del territorio a fini preventivi, l'analisi di rischio è preferibile in quanto fornisce, ad esempio, una valutazione comparabile tra le diverse porzioni di territorio interessate dallo studio. Per analizzare invece gli aspetti di gestione dell'emergenza legati alla Protezione Civile è più significativa un'analisi di scenario, in quanto riproduce una distribuzione realistica degli effetti sul territorio, fatto che consente di elaborare strategie per il post-terremoto; riferendosi però a un unico evento, il rischio in alcune aree dello studio potrebbe essere tuttavia sottostimato.

2.2 Metodologie e livelli di analisi della vulnerabilità

Le analisi di vulnerabilità sul costruito ordinario a scala territoriale comportano valutazioni su campioni di grande numero: l'uso di modelli di calcolo strutturale è improponibile sia per la difficoltà di individuare modelli semplici, ma affidabili, sia per la quantità di dati che sarebbe necessario rilevare sul campo. Le metodologie devono, quindi, basarsi su pochi parametri empirici e la loro validazione non può prescindere dall'osservazione dei danni prodotti da terremoti reali.

I modelli di vulnerabilità dipendono dalle caratteristiche dell'edificio (tipologia, materiali, dimensioni e forma, dettagli costruttivi) e possono essere a gradi di accuratezza differente, a seconda del livello di conoscenza degli elementi investigati. Per quel che riguarda quest'ultimo aspetto, è generalmente condivisa un'impostazione che distingue le metodologie in base all'accuratezza e alla significatività dei dati rilevati e catalogati secondo tre livelli (livello 0,1,2):

- ✓ *Livello 0*: basso livello di informazioni, caratterizzato unicamente dall'inventario degli edifici senza dati specifici, a parte la classe tipologica. L'analisi di vulnerabilità a questo livello può essere utile per una conoscenza preliminare, ma completa del rischio sismico in una grande città o in una regione, in modo da pianificare gli interventi preventivi per la mitigazione del rischio, stabilire le priorità e allocare le risorse finanziarie.
- ✓ *Livello 1*: prevede la raccolta, tramite un rilievo speditivo, di alcune informazioni aggiuntive rispetto alla sola individuazione tipologica e, in particolare, di quei dati che possono essere connessi al comportamento strutturale del manufatto (regolarità, qualità dei materiali, dimensioni, interazione con edifici adiacenti, stato di manutenzione, trasformazioni e

interventi). L'analisi di vulnerabilità a questo livello, permette di individuare liste di priorità all'interno delle stesse classi tipologiche.

- ✓ *Livello 2*: è basato su indagini e rilievi mirati che consentono la raccolta di informazioni approfondite su singoli manufatti e l'osservazione di dettaglio dei danni. Le modellazioni della risposta sismica che possono essere effettuate sulla base di questi dati, sebbene semplificate, consentono di definire la vulnerabilità sismica complessiva di singole strutture.

È importante sottolineare come tutti i livelli precedentemente menzionati siano lontani da uno studio finalizzato alla definizione degli interventi di miglioramento sismico di un edificio (Livello 3): in effetti, questa non rappresenta una delle finalità di un'analisi di vulnerabilità e pertanto è impossibile implementarla all'interno di un'analisi territoriale.

Il quadro delle metodologie di analisi della vulnerabilità è molto articolato e diverse classificazioni sono state proposte (C.N.R.-G.N.D.T.,1993; Dolce et al.,1994). Una prima classificazione si imposta sul tipo di risultato distinguendo tra:

- Tecniche dirette: forniscono in un solo passo un risultato consistente in una effettiva previsione di danni provocati da eventi sismici;
- Tecniche indirette: si articolano in due passi, ciascuno dei quali corrisponde a un risultato. Nel primo passo si determina un opportuno indicatore di vulnerabilità; nel secondo, si istituisce, in funzione dell'indicatore, una correlazione tra terremoti e danni attesi;
- Tecniche convenzionali: il risultato è un indicatore di vulnerabilità, ma non viene e essere associato una previsione di danno. Esse sono sostanzialmente utili per confrontare edifici diversi ubicati in aree di uguale sismicità.

Una ulteriore classificazione concerne l'organismo al quale viene assimilato l'edificio; si distingue pertanto tra:

- ✓ Tecniche tipologiche: concepiscono l'edificio come membro indifferenziato di una classe tipologica, definita in funzione dei materiali, della tecnica costruttiva o di altri fattori. Hanno il pregio di richiedere indagini sul campo piuttosto semplici; inoltre, fruiscono di notevoli basi di dati. D'altro lato, non distinguendo i singoli edifici all'interno di una classe non consentono di operare una graduatoria tra di essi. Sono impiegate per avere informazioni su aree urbane considerate nel loro complesso.
- ✓ Tecniche meccanicistiche: sono le più vicine all'usuale approccio ingegneristico alla valutazione della sicurezza, sostituiscono all'edificio un suo modello teorico. Possono consentire, con gradualità affinamenti, di passare da risultati validi per intere aree territoriali

ad altri risultati validi anche per singole costruzioni. D'altra parte, esse richiedono che nel fabbricato sia individuabile uno schema strutturale sufficientemente chiaro.

- ✓ Tecniche semeiotiche: considerano l'edificio come un organismo la cui vulnerabilità può essere descritta attraverso sintomi. In generale, esse introducono un certo numero di fattori di vulnerabilità, come l'organizzazione generale del sistema resistente, la qualità di detto sistema, la resistenza globale della costruzione alle azioni orizzontali, lo stato di degrado e così via. Per ciascun fattore viene assegnato all'edificio un certo livello: l'incremento dei livelli denuncia un incremento di vulnerabilità. Si tratta di tecniche molto versatili, perché compendiano un grande numero di informazioni sui fabbricati che si esaminano; esse implicano d'altra parte un giudizio soggettivo di esperti in campo e la loro affidabilità dipende dalla esplicitazione di una relazione tra i livelli e i danni sismici attesi.

Metodologie condivise a livello internazionale non sono disponibili, nonostante alcuni studi siano stati fatti in passato, in particolare in Italia, partendo dalla vulnerabilità osservata su un gran numero di edifici danneggiati da eventi sismici. Nei paragrafi successivi sono brevemente descritte, tra quelle disponibili in letteratura, alcune delle metodologie usate per analisi di vulnerabilità sismica, con particolare riferimento agli edifici esistenti in muratura portante.

2.2.1 Metodologie e livelli di analisi della vulnerabilità

Le matrici di probabilità di danno (Damage Probability Matrix – DPM) sono matrici che, per una data classe di vulnerabilità, forniscono in modo discreto la relazione tra grado di danneggiamento, descritto attraverso livelli qualitativi associati all'evidenza di particolari stati lesionativi o di collasso parziale o totale, e intensità macrosismica. Possono essere ricavate dall'elaborazione statistica di rilievi di danno oppure si possono derivare teoricamente dalle scale macrosismiche.

Le DPM stabiliscono, quindi, una corrispondenza diretta tra tipologia edilizia e classe di vulnerabilità. Si tratta di una metodologia tipologica, che in Italia possiede una robusta validazione sperimentale; la distribuzione probabilistica dei danni (istogramma di danno), indicata per ciascuna classe di vulnerabilità per i diversi livelli dell'intensità sismica, è stata ottenuta sulla base dei danni effettivamente rilevati a seguito dei principali eventi sismici che hanno interessato il territorio nazionale, e in particolare del terremoto dell'Irpinia (novembre 1980), il più significativo per quantità dei dati e livelli di intensità sismica. A partire dal terremoto in Irpinia, infatti, sono state utilizzate schede per il rilevamento del costruito ordinario, evolute successivamente nella scheda G.N.D.T. (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) di I livello e poi nell'attuale scheda AeDES (agibilità e Danno nell'Emergenza post-Sismica – Bernardini, 2000), che definiscono le tipologie edilizie sulla

base di una combinazione tra le caratteristiche delle strutture verticali e orizzontali e permettono di attribuire a esse alcune classi di vulnerabilità (generalmente A,B e C).

Alla fine dello scorso secolo, anche il concetto di classe di vulnerabilità ha avuto una interessante evoluzione con la comparsa della scala EMS98. Sono state introdotte 6 classi (A, B, C, D, E, F) a cui sono associate previsioni statistiche del livello di danno fisico apparente in popolazioni di edifici: si tratta pertanto di una misura della vulnerabilità che, anche se ovviamente di carattere convenzionale, contiene implicitamente in sé matrici di probabilità di danno che possono essere esplicitate seguendo diversi approcci. In questo senso, la scala EMS98 costituisce uno strumento molto potente per lo studio della vulnerabilità sismica condotto su base tipologica: tuttavia è indispensabile il confronto con i dati raccolti direttamente durante i rilievi nell'emergenza post-sisma.

2.2.2 Le scale di intensità macrosismica

La misura dell'intensità di un evento sismico può essere effettuata tramite misure strumentali oppure tramite classificazioni empiriche degli effetti del terremoto stesso. Tra le prime si distinguono quantità che rappresentano l' intensità del terremoto alla sorgente e quantità che misurano il moto vibratorio del suolo in un punto a distanza dalla sorgente stessa: per il primo scopo, la grandezza normalmente impiegata è la magnitudo (espressa nella scala Richter), che dipende essenzialmente dall'energia cinetica rilasciata; per il secondo, la misura del moto sismico più adatta a fini ingegneristici è l'accelerazione assoluta del suolo, giacché a questa sono proporzionali le forze d'inerzia che esercitano sulle strutture.

Diverse da queste misure sono le cosiddette classificazioni di intensità macrosismica, introdotte prevalentemente in epoca pre-strumentale e tuttora largamente usate, che forniscono, per ogni intensità, una descrizione locale degli effetti distruttivi provocati dal sisma. L'intensità macrosismica è di importanza fondamentale, costituendo quasi l'unico strumento disponibile per classificare la severità dei terremoti storici. Le scale di intensità macrosismica classificano, dunque, in modo empirico la severità di un sisma, secondo una scala ordinale, espressa in gradi, basata sugli effetti prodotti prevalentemente sulle strutture civili (danni alle costruzioni) e, in misura minore, sull'assetto geomorfologico e geotecnico (danno geologico).

La prima di queste scale, detta scala Mercalli, risale agli inizi del '900. Tale classificazione è stata successivamente perfezionata e sono state redatte la scala Mercalli – Cancani – Sieberg (MCS) del 1923, con la versione definitiva del 1930, e la scala Mercalli modificata (MM) del 1931, aggiornata ed espressa in forma più concisa nella Mercalli modificata del 1956. Sono state poi proposte, a partire

dal 1964, le scale Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK). Più precisamente, è stata proposta la European Macroseismic Scale (EMS98-Grunthal, 1998).

L'osservazione empirica dei danni provocati agli edifici da terremoti di media o alta intensità ha sempre evidenziato come edifici soggetti sostanzialmente alla stessa eccitazione manifestano comportamenti radicalmente differenti, in relazione alla loro tipologia, alle regole costruttive, ai materiali impiegati e allo stato di manutenzione.

Le prime scale di intensità facevano un riferimento molto generico alla distribuzione dei danni osservati per i diversi gradi di severità del terremoto, senza alcuna distinzione nei riguardi della tipologia costruttiva (praticamente il costruito era tutto in muratura) e della qualità strutturale; a partire dalla MCS, però, le scale macrosismiche hanno cominciato a contenere una descrizione sempre più precisa della distribuzione dei danni alle diverse tipologie edilizie. Il concetto di classe di vulnerabilità è stato particolarmente approfondito e chiarito dalla scala EMS98. Essa contempla la definizione di una casistica chiara e dettagliata di tipologie costruttive e della distribuzione dei livelli di danno correlati a ciascun grado di intensità, miranti a rendere il più oggettiva possibile la valutazione dell'intensità locale.

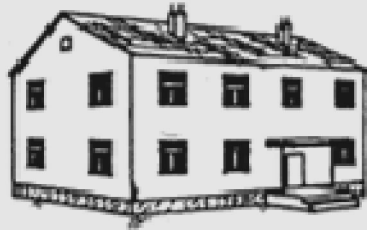
Sono state introdotte sei classi di vulnerabilità potenzialmente in grado di misurare sia gli edifici esistenti non progettati per il sisma, sia quelli esistenti o di nuova costruzione con diversi livelli di protezione antisismica. Nella tabella seguente è possibile notare come la scala di intensità EMS98 associ, a ogni tipologia di struttura (muraria, cemento armato, acciaio e legno), in funzione anche delle tecniche costruttive, una propria classificazione di vulnerabilità, che è individuata da una scala decrescente dalla A alla F.

Tipi di strutture		Classi di vulnerabilità					
		A	B	C	D	E	F
Muratura	Mattone cotto al sole	○					
	Mattone di terra	○	—				
	Pietra semplice	—	○				
	Pietra massiccia		—	○	—		
	Non rinforzata, con elementi di pietra lavorata	—	○	—			
	Non rinforzata, con piano RC (pareti in c.a.)		—	○	—		
	Rinforzata o confinata			—	○	—	
Cemento armato	Struttura senza disegno antisismico (ERD)	—	—	○	—		
	Struttura con moderato livello di protezione sismica		—	—	○	—	
	Struttura con elevato livello di protezione sismica			—	—	○	—
	Pareti senza disegno antisismico (ERD)		—	○	—		
	Pareti con moderato livello di protezione sismica			—	○	—	
	Pareti con alto livello di protezione sismica				—	○	—
Acciaio	Strutture in acciaio			—	—	○	—
Legno	Strutture in legno		—	—	○		

○ classe di vulnerabilità più probabile
 — intervallo probabile
 - - - intervallo di minore probabilità, casi eccezionali

Secondo la scala macrosismica EMS98, quindi, una classe di vulnerabilità non coincide con una tipologia o con un gruppo di tipologie: infatti, edifici della stessa tipologia, ad esempio gli edifici in muratura qui particolarmente considerati, possono appartenere a diverse classi di vulnerabilità, anche se in ogni caso resta identificata una classe centrale particolarmente frequente. Per gli edifici in muratura la classificazione dipende essenzialmente dalla qualità dell'apparecchiatura muraria dei blocchi di pietra naturale o artificiali. Per gli edifici in c.a. dipende, invece, dal sistema strutturale (telai o pareti) e dalla esecuzione e livello di tecniche di protezione antisismica.

L'appartenenza di un edificio o di un gruppo di edifici a una classe di vulnerabilità ha a che fare con la frequenza relativa con cui si manifestano livelli di danno fisico apparente, ben definiti dalla scala su sei livelli, al variare dei gradi dell'intensità macrosismica (dal VI, in cui cominciano a manifestarsi danni agli edifici più vulnerabili, al grado massimo XII).



GRADO 1: danno leggero

Nessun danno strutturale
Danni leggeri a elementi non strutturali



GRADO 2: danno moderato

Leggeri danni strutturali
Danni moderati a elementi non strutturali



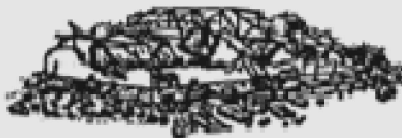
GRADO 3: danno grave

Moderati danni strutturali
Danni pesanti a elementi non strutturali



GRADO 4: danno molto grave

Pesanti danni strutturali
Danni molto pesanti a elementi non strutturali



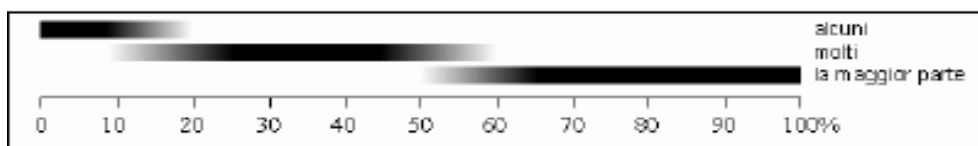
GRADO 5: distruzione

Danni strutturali molto pesanti

VI	Leggermente dannoso	<p>a) Il terremoto viene avvertito dalla maggior parte delle persone all'interno e da molte all'esterno. Alcune persone perdono l'equilibrio. Molte persone si spaventano e scappano all'aperto.</p> <p>b) Piccoli oggetti solitamente stabili possono cadere e i mobili possono essere spostati. In alcuni casi piatti e bicchieri possono rompersi. Gli animali da cortile (anche all'aperto) possono spaventarsi.</p> <p>c) Danni di grado 1 sono subiti da molti edifici di classe di vulnerabilità A e B; alcuni edifici di classe A e B subiscono danni di grado 2; alcuni edifici di classe C subiscono danni di grado 1.</p>
----	---------------------	--

VII	Dannoso	a) La maggior parte delle persone è spaventata e cerca di correre all'aperto. Molti trovano difficoltà a stare in piedi, specialmente nei piani alti. b) I mobili sono spostati e i pensili possono cadere. Gli oggetti cadono dalle mensole in grande numero. L'acqua trabocca dai contenitori, dalle cisterne e dalle piscine. c) Molti edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 3; alcuni di grado 4. Molti edifici di classe B subiscono danni di grado 2; alcuni di grado 3. Alcuni edifici di classe C subiscono danni di grado 2. Alcuni edifici di classe D subiscono danni di grado 1.
VIII	Pesantemente dannoso	a) Molte persone trovano difficoltà a restare in piedi, anche all'esterno. b) I mobili possono essere rovesciati. Gli oggetti quali televisori, macchine da scrivere, ecc. cadono per terra. Le lapidi possono essere occasionalmente spostate, girate o rovesciate. Le oscillazioni possono essere viste su terreni molto soffici. c) Molti edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 4; alcuni di grado 5. Molti edifici di classe B subiscono danni di grado 3; alcuni di grado 4. Molti edifici di classe C subiscono danni di grado 2; alcuni di grado 3. Alcuni edifici di classe D subiscono danni di grado 2.
IX	Distruttivo	a) Panico generale. La gente può essere gettata forzatamente a terra. b) Molti monumenti e colonne cadono o sono ruotati. Le oscillazioni sono visibili su terreni molto soffici. c) Molti edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 5. Molti edifici di classe B subiscono danni di grado 4; alcuni di grado 5. Molti edifici di classe C subiscono danni di grado 3; alcuni di grado 4. Molti edifici di classe D subiscono danni di grado 2; alcuni di grado 3. Alcuni edifici di classe E subiscono danni di grado 2.
X	Molto distruttivo	c) La maggior parte degli edifici di classe di vulnerabilità A subiscono danni di grado 5. Molti edifici di classe B subiscono danni di grado 5. Molti edifici di classe C subiscono danni di grado 4; alcuni di grado 5. Molti edifici di classe D subiscono danni di grado 3; alcuni di grado 4. Molti edifici di classe E subiscono danni di grado 2; alcuni di grado 3. Alcuni edifici di classe F subiscono danni di grado 2.
XI	Devastante	c) La maggior parte degli edifici di classe di vulnerabilità B subiscono danni di grado 5. La maggior parte degli edifici di classe C subiscono danni di grado 4; molti di grado 5. Molti edifici di classe D subiscono danni di grado 4; alcuni di grado 5. Molti edifici di classe E subiscono danni di grado 3; alcuni di grado 4. Molti edifici di classe F subiscono danni di grado 2; alcuni di grado 3.
XII	Completamente devastante	c) Tutti gli edifici di classe di vulnerabilità A e B e, praticamente, tutti gli edifici di classe di vulnerabilità C sono distrutti. La maggior parte degli edifici di classe D, E e F sono distrutti. Gli effetti del terremoto hanno raggiunto i massimi effetti concepibili.

Tale informazione è certamente incompleta: essa precisa per ogni intensità la frequenza del danno maggiore di ogni classe, ma non chiarisce la distribuzione dei danni di grado più basso. Tuttavia, è possibile un ragionevole completamento dei valori linguistici delle frequenze di danno, che possono essere successivamente interpretate numericamente, anche se in modo impreciso: infatti, la stessa scala suggerisce il grado di appartenenza di sottoinsiemi sfuocati dell'intervallo dei valori percentuali (da 0 a 100) che possono essere associati alle definizioni linguistiche e la teoria dei radom sets consente di estrarre distribuzioni cumulative inferiori, superiori e una distribuzione centrale White per le probabilità dei diversi gradi di danno, in funzione dell'intensità macrosismica.



2.2.3 Dati ISTAT

La fonte dei dati sono le pubblicazioni dell'Istituto Nazionale di Statistica di Roma. In particolare si utilizzano i dati sugli edifici residenziali provenienti dai censimenti generali della popolazione che si svolgono ogni 10 anni. Il dato originale dell'ISTAT si riferisce alla singola unità abitativa (alloggio individuale) e contiene informazioni sulle persone residenti, sulla superficie e su alcune caratteristiche dell'edificio a cui appartiene. Dal 2001, l'ISTAT ha realizzato anche il censimento degli edifici in cui le abitazioni sono situate, attraverso un apposito modello di rilevazione: vengono considerati il numero e le caratteristiche degli edifici a uso abitativo e, limitatamente ai centri abitati, quelli destinati a uso non abitativo, come ad esempio chiese, musei, monumenti. Tali dati sono però resi pubblici in modo aggregato a livello di sezione censuaria: essi contengono comunque molte informazioni utili sia per l'attribuzione della tipologia, sia per tenere conto di eventuali modificatori di comportamento. Rielaborando tali dati, è possibile ricavare, a livello di sezione censuaria, gruppi di edifici omogenei per tipologia costruttiva e numero di piani, indicando il numero di edifici, il loro volume e la popolazione residente. I dati relativi a ciascun gruppo nella sezione censuaria possono quindi essere suddivisi percentualmente per classe di età, livello di manutenzione e contesto urbano.

I dati ISTAT consentono quindi di determinare le frequenze di gruppi di edifici omogenei rispetto a un certo numero di parametri rilevati nell'indagine: nel metodo di stima della vulnerabilità a partire da dati ISTAT si valuta inoltre la propensione a subire danno attraverso il calcolo di un indice di vulnerabilità, calcolato attribuendo un "peso" numerico ai vari parametri.

2.2.4 Metodologia G.N.D.T. di II livello

La metodologia di II livello G.N.D.T. è basata su una scheda (Benedetti e Petrini 1984) che raccoglie, sulla base di giudizi esperti, fattori di vulnerabilità legati sia a informazioni tipologiche e costruttive e ad aspetti di regolarità strutturale registrati nel rilievo di ogni singolo edificio in muratura, sia a effettivi calcoli della resistenza ad azioni orizzontali delle pareti murarie; a ciascun fattore è attribuito un peso nel computo totale e differenti punteggi a seconda delle caratteristiche. Mediante una somma pesata, si ottiene, in modo convenzionale, un indice di vulnerabilità, che caratterizza la propensione dell'edificio al danneggiamento: punteggi e pesi sono determinati attraverso analisi statistiche dei dati di danneggiamento raccolti in occasione di terremoti recenti.

Tale indicatore consente la comparazione della vulnerabilità relativa di diversi edifici (e quindi le priorità di operazioni di rinforzo), oppure tramite il rilievo sistematico o campionario del costruito, la costruzione di scenari di danno per le diverse intensità dello scuotimento atteso o prefissato.

Inoltre, attraverso l'analisi statistica dei dati di rilievo su edifici danneggiati in occasione di alcuni terremoti (Friuli 1976 e Italia Centrale 1984), a ogni valore dell'indice è associata una curva, che correla il fattore di danno (rapporto tra il costo dell'intervento di riparazione e il valore dell'opera) al picco di accelerazione dell'input sismico atteso (Guagenti e Petrini, 1989; Garavaglia et al., 2004).

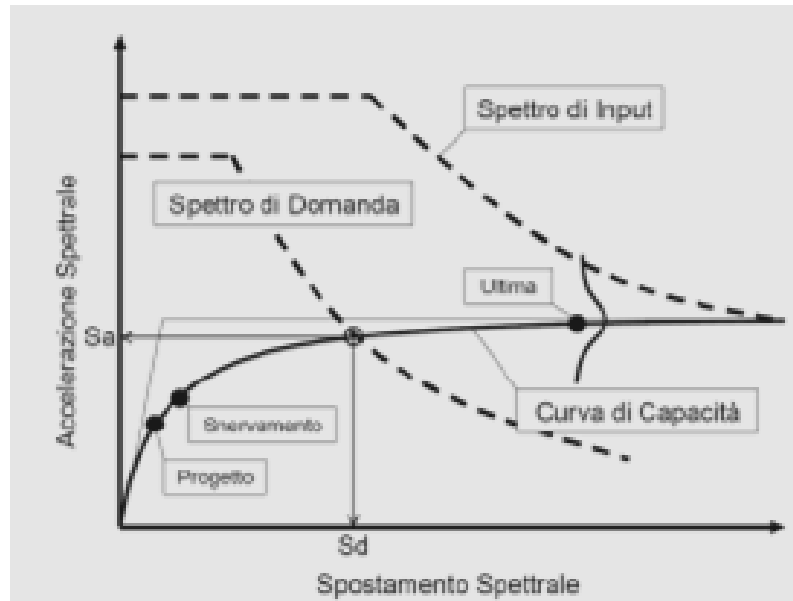
PARAMETRI	CLASSE				PESO
	A	B	C	D	
Tipo ed organizzazione del sistema resistente	0	5	20	45	1.50
Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
Resistenza convenzionale	0	5	25	45	1.50
Posizione edificio e fondazioni	0	5	25	45	0.75
Orizzontamenti	0	5	15	45	VAR
Configurazione planimetrica	0	5	25	45	0.50
Configurazione in elevazione	0	5	25	45	VAR
Distanza massima tra le murature	0	5	25	45	0.25
Copertura	0	15	25	45	VAR
Elementi non strutturali	0	0	25	45	0.25
Stato di fatto	0	5	25	45	1.00

2.2.5 Hazus

Negli Stati Uniti, ma ormai anche in Europa, le tendenze più recenti nel campo dell'analisi di rischio sismico e di scenario portano a operare con modelli meccanici, ancorchè semplificati, in modo da poter utilizzare in modo coerente le moderne valutazioni della pericolosità sismica (PGA, ordinate spettrali, spettri di risposta). In particolare la metodologia Hazus – HAZard in the United States (HAZUS 1999), messa a punta dalla FEMA – Federal Emergency Management Agency, rappresenta ormai lo standard nelle analisi di rischio sismico dell'edilizia corrente per gli Stati Uniti.

La metodologia valuta, attraverso un'analisi incrementale a collasso, curve forza-spostamento normalizzate alla massa sul primo modo di vibrazione (curve di capacità) che rappresentano il comportamento non lineare di edifici, considerati come sistemi equivalenti a un grado di libertà, a fronte di una azione sismica orizzontale. Ovviamente tali curve sono fornite a priori per le diverse tipologie, sulla base di pochi parametri dimensionali e costruttivi; su di esse sono individuati alcuni significativi stati limite di danno. Attraverso l'intersezione della curva di capacità con la domanda del terremoto, espressa in termini di un appropriato spettro di risposta in accelerazione in formato ADRS – Acceleration Displacement Response Spectrum, adeguatamente ridotto in modo da tenere in

considerazione il comportamento anelastico, è possibile ricavare la probabilità di occorrenza di ogni singolo stato di danno e ottenere curve di fragilità.



Per l'applicazione di tale approccio, che può essere considerato quantitativo, sebbene vi sia una componente basata sul giudizio di esperti e su dati euristici, è necessaria una robusta validazione sperimentale, per lo meno sulle tradizionali costruzioni in muratura del territorio italiano (Faccioli e Pessina, 1999; Restrepo-Vélez, 2003; Iervolino et al., 2004).

2.2.6 Metodologie basate sull'analisi per macroelementi

Dall'osservazione dei casi reali si è notato come il collasso sismico di una costruzione storica in muratura avvenga, in genere, a causa della perdita di equilibrio di porzioni strutturali, piuttosto che per superamento di uno stato tensionale limite di resistenza. Pertanto, la capacità ultima dell'edificio dipende innanzitutto dalla stabilità dei suoi macroelementi (Giuffré, 1991).

I macroelementi sono definiti da componenti strutturali (pareti, solai e copertura) isolati o collegati in relazione ai loro reciproci vincoli (potenziali quadri di danno, fessure, discontinuità, ecc.) e confinamenti (ad esempio la presenza di tiranti o di cordoli perimetrali), alle carenze costruttive e alle caratteristiche dei materiali costitutivi. Essi si comportano indipendentemente, senza essere trattenuti da altre porzioni di edificio, seguendo cinematismi, sia fuori piano che nel piano, rappresentando quindi elementi in condizioni di incipiente collasso (Borri et al., 1999).

Una volta che la configurazione strutturale critica è definita, il passo successivo è l'identificazione del meccanismo o dei meccanismi di collasso più probabili che caratterizzano ciascun macroelemento. Gli studi basati su osservazioni in sito a seguito di eventi sismici hanno permesso di creare degli abachi dei danni caratteristici che si verificano nelle varie tipologie costruttive (edifici, chiese), che

hanno portato a una conseguente sistematizzazione dei meccanismi di comportamento (Cardani, 2003; Doglioni et al., 1994).

I meccanismi fuori piano, detti anche collassi di “primo modo”, coinvolgono pareti sottoposte ad azioni orizzontali ortogonali al loro piano. Il ribaltamento di tali pareti è il principale effetto: questo è contrastato dalla possibile presenza di elementi di collegamento (tiranti, cordoli perimetrali) o da meccanismi resistenti intrinseci (ad esempio l'effetto arco nello spessore del muro).

I meccanismi nel piano riguardano pareti parallele all'azione sismica. Sono anche detti di “secondo modo”, perché i relativi danni (fessure di taglio) generalmente non portano la struttura al collasso, in confronto ai meccanismi fuori piano. Le catene cinematiche descrivono rotazioni rigide nel piano di porzioni strutturali resistenti dell'edificio, definite dalle caratteristiche geometriche (dimensioni dei setti, aperture) e dalle condizioni di vincolo (collegamenti, presenza di catene o cordoli), sottoposte ad azioni orizzontali nel piano (Giuffré, 1993).

Con riferimento specifico agli edifici in muratura, sono stati elaborati approcci meccanici di valutazione della vulnerabilità che si basano proprio sull'analisi dei macroelementi più vulnerabili presenti in un edificio o in un gruppo di edifici e del corrispondente meccanismo di collasso. La modellazione di questi comportamenti è però un aspetto di difficile realizzazione (mancanza di omogeneità dei materiali, incertezza sul grado di vincolo tra i diversi elementi strutturali, ecc.) e la disponibilità di modelli costitutivi non-lineari per le strutture in muratura non è molto diffusa (Lourenco et al., 1997). Un possibile approccio è connesso all'applicazione dei teoremi dell'analisi limite dell'equilibrio (Heyman, 1966), basata su una preliminare individuazione del meccanismo di collasso, connesso alla trasformazione della struttura in un cinematismo a seguito dell'introduzione di un numero sufficiente di cerniere o piani di scorrimento. Ogni blocco risulta soggetto ai carichi verticali e alle forze sismiche orizzontali, proporzionali ai carichi verticali.

Le procedure semplificate di valutazione della vulnerabilità sismica basate sull'analisi limite di macroelementi strutturali, si basano generalmente sul calcolo di un coefficiente α_0 che rappresenta il moltiplicatore delle masse sismiche che caratterizza le condizioni di equilibrio limite per l'elemento considerato e individua, quindi l'attivazione del meccanismo locale stesso. Il cinematismo collegato al più basso valore di α_0 è il più fragile e, di conseguenza, è più probabile che si verifichi: i meccanismi nel piano, ad esempio, sono caratterizzati da coefficienti α_0 superiori rispetto a quelli al di fuori del piano.

Tali procedure di calcolo limite, consentendo di modellare solo una singola parte strutturale, dipendono da pochi parametri geometrici e meccanici e, quindi, non richiedono un rilievo

estremamente accurato e pesanti oneri computazionali. Inoltre consentono in modo più agevole una trattazione della inevitabile incertezza della previsione con tecniche adeguate alla mancanza di informazioni statistiche sufficienti per tarare effettivi metodi probabilistici: tale problema rende spesso illusoria la precisione che complessi modelli lineari o non lineari del comportamento pretenderebbero (Bernardini et al., 2006).

3. COMPORTAMENTO SISMICO DI STRUTTURE IN MURATURA

In questo capitolo si analizza la complessità del comportamento dinamico delle strutture in muratura, influenzato dal comportamento di ogni sua singola parte, ma soprattutto dall'interazione tra le parti. In particolare si sottolinea come le caratteristiche geometriche (distribuzione delle masse e delle rigidità) influenzano il comportamento globale della struttura. Inoltre si pone l'attenzione sul funzionamento della struttura in campo non lineare: esso è di fondamentale importanza per fornire, a una tipologia strutturale tipicamente fragile, quella duttilità sufficiente per fare fronte alle deformazioni che il sisma richiede alla struttura.

Per molti secoli, praticamente fino ai primi anni del 900', la muratura è stato il principale materiale da costruzione nel mondo. Pertanto moltissimi edifici esistenti in Italia come nel resto del mondo sono in muratura.

Secondo i dati ISTAT, al 2001 in Italia più del 60% degli edifici a uso abitativo erano in muratura e attualmente si può ritenere che una cospicua parte dell'intero patrimonio edilizio, spesso connotato da valori storico-architettonici, è in muratura.

Bisogna poi considerare che ci sono numerosi centri storici interamente edificati in muratura e che alcune categorie di edifici esistenti, come quelli di culto e più in generale quelli storico-monumentali, si presentano nella quasi totalità dei casi in muratura.

Il danneggiamento o crollo può determinare perdite in termini materiali (perdita di unità edilizie, di infrastrutture, di servizi), umani (perdita di vite umane) e culturali nel caso di costruzioni di valore storico -architettonico.

In molti paesi non industrializzati la muratura rappresenta ancora uno dei principali materiali da costruzione, ma anche nei paesi industrializzati si fa ancora uso della muratura, in particolare per costruzioni di piccole dimensioni, e recentemente sono state riconosciute nuove potenzialità in relazione alla bioedilizia.

Ciò significa che le costruzioni lapidee costituiscono non solo un ingente patrimonio da conservare e mettere in sicurezza, ma potrebbero avere un nuovo sviluppo rivalutandone, rispetto alle costruzioni metalliche o in conglomerato cementizio armato, le seguenti prerogative:

- ✓ buon isolamento termo-acustico (non sono spesso necessari materiali isolanti aggiuntivi);
- ✓ ottima resistenza al fuoco e agli agenti chimici;
- ✓ elevata durabilità;
- ✓ costo contenuto dei materiali;
- ✓ spese di manutenzione contenute;
- ✓ pregio estetico.

Nei limiti delle proprie caratteristiche meccaniche (resistenza a trazione quasi nulla, resistenza a compressione nettamente inferiore a quella di altri materiali come calcestruzzo o acciaio, duttilità limitata, resistenza ridotta in presenza di carichi ciclici) e conseguentemente dimensionali, una struttura in muratura, se ben progettata o opportunamente consolidata, può offrire garanzie di sicurezza in zona sismica al pari di una costruzione realizzata con materiali moderni.

Essendo la muratura un materiale molto antico non si può prescindere da qualche riflessione di carattere storico.

Dall'antichità fino al rinascimento la progettazione di strutture in muratura si fondava essenzialmente su conoscenze empiriche (regole dell'arte) ma non era certamente assistita da criteri scientifici. Il concetto di stabilità era inteso come equilibrio delle parti e si basava sulla Teoria delle proporzioni secondo la quale le dimensioni di un'opera potevano essere variate a piacimento, purchè se ne mantenessero immutate le proporzioni. Successivamente G. Galilei dimostrò l'erroneità di tale teoria che ignorava il concetto fondamentale di resistenza dei materiali: all'aumentare delle dimensioni di un corpo, la resistenza non cresce nella stessa misura del peso e quindi delle sollecitazioni, pertanto pur nel rispetto dell'equilibrio esterno della costruzione (stabilità globale) si può verificare un collasso per superamento della resistenza (equilibrio interno).

Nel corso del 700' furono pubblicati diversi trattati riguardanti la costruzione di edifici civili e militari, si ebbe una notevole diffusione della sperimentazione, furono condotte nuove ricerche sull'equilibrio di elementi strutturali come l'arco, le volte e le cupole. Una pietra miliare nella storia delle costruzioni in muratura fu costituita dal " *Traité de l'art de bâtir* ", scritto tra il 1802 e il 1817 dall'architetto francese Jean-Baptiste Rondelet, nel quale l'autore correlò la stabilità di un muro isolato al rapporto p tra lo spessore s e l'altezza H , e fornì formule empiriche per il calcolo dello spessore dei muri, esterni ed interni, ottenute esaminando oltre 280 edifici italiani e francesi costruiti nell'arco di diciotto secoli.

A partire dal 1820 studiosi come Navier, Cauchy, Poisson, professori all' *École Polytechnique* di Parigi, ponevano le basi della Teoria dell'elasticità e poco dopo il de Saint-Venant espose la Trattazione della trave nella teoria matematica dell'elasticità.

Con questi decisivi contributi in poco tempo nasceva la moderna Scienza delle Costruzioni e l'analisi strutturale. Nel frattempo però il mondo delle costruzioni vedeva entrare in campo e diffondersi sempre più rapidamente nuovi materiali strutturali come la ghisa, l'acciaio e il cemento armato, che bene si adattavano alle ipotesi richieste dalla teoria dell'elasticità e consentivano di superare i limiti dimensionali e di resistenza della muratura, aspirando a divenire materiali "eterni".

Di conseguenza la produzione, la tecnologia e la ricerca si dedicarono con importanti sviluppi quasi esclusivamente alle costruzioni realizzate con i nuovi materiali, mentre per le costruzioni in muratura furono riproposte per anni le formule del Rondelet per il proporzionamento degli spessori dei muri, spesso riportate pedissequamente o al limite con qualche integrazione, e sporadicamente furono proposti metodi, sempre di natura empirica, per la progettazione di pareti in muratura sollecitate da soli carichi verticali.

Solamente verso la metà degli anni 50', ma più intensamente a partire dagli anni 70' e a seguito di disastrosi eventi sismici, è stata avvertita l'esigenza di riprendere attivamente lo studio degli edifici in muratura per costruire su basi scientifiche una Teoria degli edifici in muratura e mettere a punto metodi di calcolo affidabili.

Come ben noto, le murature offrono ottima resistenza ai carichi verticali, ossia al peso proprio e ai carichi variabili, che producono effetti di compressione. I carichi sismici, che si manifestano con azioni orizzontali, possono, invece, indurre sollecitazioni di trazione, incompatibili con la capacità di resistenza del materiale, come è evidente al manifestarsi di crepe che denunciano lo stato di sofferenza della struttura. Quanto detto è alla base del comportamento non lineare delle strutture realizzate in muratura. La risposta di una struttura in muratura sottoposta ad azione sismica deve essere valutata considerando il livello di interazione presente tra gli elementi strutturali costituenti.

In assenza di opportuni collegamenti tra pareti ortogonali (ammorsamenti, catene) e a livello degli orizzontamenti, la risposta della costruzione all'azione orizzontale avviene per parti. Le singole pareti tendono a comportarsi indipendentemente le une dalle altre e a sviluppare meccanismi di collasso fuori dal piano, trasformando la risposta globale della costruzione nella somma delle risposte locali delle singole pareti.

Nel caso invece sia presente un sufficiente grado di collegamento tra le pareti, la ripartizione delle azioni sismiche avviene secondo la rigidezza e la posizione relativa delle pareti mediata dalla rigidezza di piano degli orizzontamenti. In quest'ultimo caso la risposta dipende dal comportamento delle pareti nel proprio piano, le quali collaborano tra loro e fra le quali le azioni sono ripartite seguendo l'evoluzione non lineare del sistema. Si viene così a costituire grazie al collegamento tra elementi verticali (pareti) e orizzontali (solai), che mutuamente vincolati costituiscono l'organismo strutturale, uno schema scatolare.

3.1 Meccanismi di collasso di strutture in muratura

Dall'osservazione del danno che una struttura soggetta a sisma può subire è possibile evidenziare, con gli strumenti della meccanica e della scienza delle costruzioni, come, a differenti caratteristiche

tipologico – costruttive corrisponda una diversità di comportamento della struttura sollecitata dall'azione sismica.

I danni tipici del costruito in muratura possono essere distinti secondo due fondamentali modalità di collasso, detti meccanismi di I e II modo (Giuffrè,1993). Per meccanismi di *I modo* si intendono quei cinematismi di collasso connessi al comportamento delle pareti in muratura fuori dal proprio piano, quindi con comportamento flessionale e ribaltamento (rocking). I meccanismi di *II modo* riguardano invece la risposta della parete nel proprio piano, con tipici danneggiamenti per taglio e flessione. La grande resistenza che una parete offre nel proprio piano è indice della potenzialità che essa ha come elemento strutturale portante e di controventamento in questa direzione. La rottura si manifesta prevalentemente per taglio diagonale o flessione negli spigoli. Fuori dal piano, invece, la muratura non ha capacità resistente apprezzabile e quindi di fatto viene trascurata, inoltre la rottura si verifica prevalentemente per ribaltamento, flessione o instabilità.

L'attivazione di tali modalità di collasso è strettamente dipendente dal comportamento globale dell'edificio che, a sua volta, dipende dalle sue caratteristiche tipologiche e tecnologiche, alcune delle quali sono:

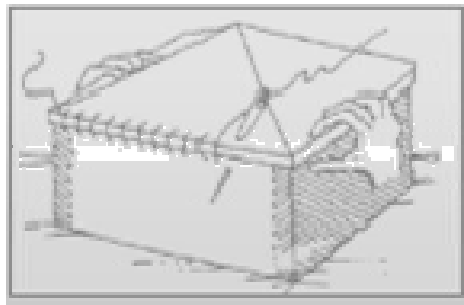
- qualità dei collegamenti delle pareti verticali sia tra loro sia con gli orizzontamenti;
- ruolo della resistenza meccanica delle pareti murarie;
- distanza massima tra le pareti;
- altezza massima d'interpiano;
- rigidità dei solai;
- regolarità in pianta.

Il comportamento globale della struttura nei confronti dell'azione sismica è fortemente influenzato dal grado di connessione presente tra gli elementi strutturali, ancor prima che dalle loro caratteristiche. Carenze nel collegamento di pareti ortogonali sia tra loro sia con gli orizzontamenti fanno sì che la struttura non sia in grado di sviluppare, durante il terremoto, una risposta globale che chiami a collaborare fra loro le diverse pareti e a ripartire tra esse le sollecitazioni indotte. Infatti, si ha una risposta pressoché indipendente della singola parete con una limitata interazione con il resto della struttura. La risposta che la parete tende ad avere è allora dominata dal comportamento fuori piano, esibendo un'evidente maggiore vulnerabilità nei riguardi dei meccanismi di I modo.

La presenza invece di un buon ammorsamento tra pareti o di connessioni anche puntuali, ottenibili ad esempio con l'inserimento di catene metalliche, innesca la collaborazione nella risposta tra le varie componenti della struttura. L'edificio ha, perciò, un comportamento d'insieme che lo induce a dover eventualmente ricorrere alle maggiori riserve di rigidità e resistenza delle pareti nel proprio

piano. La probabilità di insorgenza di meccanismi di ribaltamento fuori piano viene decisamente ridotta dalle diverse condizioni di vincolo delle pareti e può ulteriormente ridursi nel caso queste siano ben collegate agli orizzontamenti. Se si realizza il cosiddetto comportamento scatolare, assume un ruolo fondamentale, ai fini della risposta sismica, la rigidità dei solai nel proprio piano. Ai solai, infatti, è affidato il compito di ridistribuire le forze d'inerzia indotte dal sisma sugli elementi verticali assicurando che gli elementi resistenti collaborino nel sopportare l'azione orizzontale: in particolare, i solai rigidi ripartiscono le azioni in base alla rigidità degli elementi resistenti verticali e alla loro posizione in pianta, favorendo l'instaurarsi di meccanismi di collasso nel piano. Invece se si hanno solai molto flessibili la ripartizione delle azioni sulle varie pareti resistenti avviene in funzione della loro area d'influenza per i carichi verticali, accentuandone il comportamento indipendente.

Un buon ammorsamento del solaio migliora la funzione di interscambio delle azioni tra i vari elementi portanti.



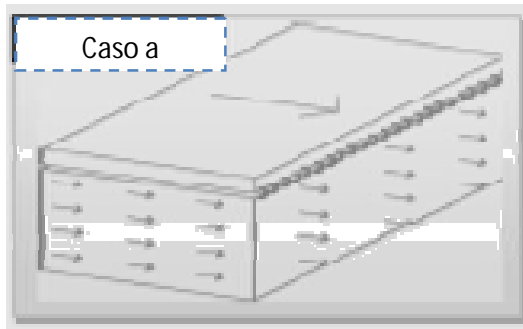
I casi seguenti schematizzano il diverso comportamento strutturale in funzione del diverso grado di collegamento tra le pareti e della differente rigidità dei solai:



Pertanto si possono definire i seguenti casi, con i relativi meccanismi della struttura:

Caso a) Condizioni di vincolo: il solaio è collegato solo con la parete perpendicolare alla direzione del sisma, mentre non esiste ammorsamento tra le pareti e tra il solaio e la parete parallela alla direzione del sisma.

In questo caso si hanno meccanismi di collasso dovuti a collegamenti insufficienti. Il solaio scorre



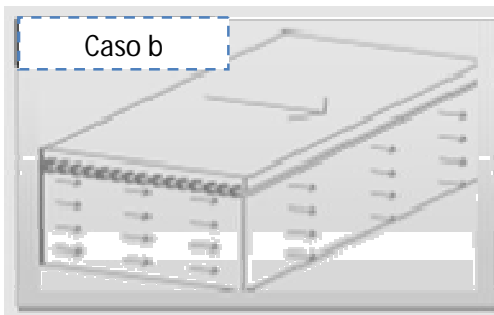
sulla superficie orizzontale scaricando l'intera azione sismica (dovuta alla massa di piano) soltanto sulla parete che risulta ben collegata a esso. In tale circostanza è inevitabile il collasso immediato in quanto la parete è sollecitata perpendicolarmente al piano medio dove la resistenza è molto modesta. La parete (A) collegata al solaio presenta uno schema statico a mensola con

sezione reagente pari allo spessore del muro.

Le pareti (B) scollegate dal solaio presentano anch'esse uno schema statico a mensola ma con spessore pari a tutta la lunghezza della parete.

Queste strutture necessitano interventi di consolidamento per ridurre l'instaurarsi del meccanismo che, determinando facilmente il collasso della struttura, rende superflua l'analisi globale.

Caso b) Condizioni di vincolo: il solaio è collegato solo con la parete parallela alla direzione del sisma e non esiste ammorsamento tra le pareti.



Questo meccanismo è migliore rispetto al precedente, in quanto l'intera azione sismica è supportata dalle pareti tipo (A) che essendo caricate nel loro piano medio possono reagire offrendo la loro massima resistenza. Restano comunque agenti sulle pareti tipo (B) i carichi sismici propri che possono comunque essere fonte di

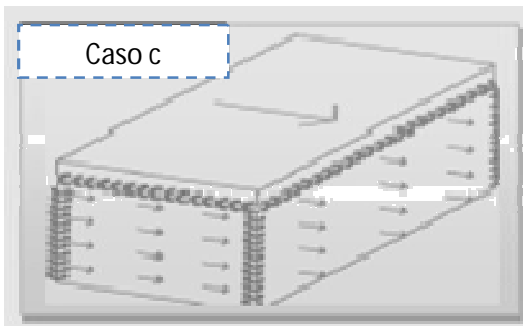
crisi.

Le pareti (A) collegate al solaio conservano lo stesso schema statico, solo che stavolta sono soggette all'azione sismica dovuta alle masse presenti sulla struttura.

Anche le pareti (B) scollegate dal solaio conservano lo schema statico a mensola. Anche queste strutture necessitano interventi di consolidamento per ridurre l'instaurarsi del meccanismo di collasso precoce. In caso di impossibilità di ripristinare il collegamento, prima di effettuare l'analisi globale, è necessario verificare con lo schema statico proposto, la stabilità delle pareti tipo (B).

Caso c) Condizioni di vincolo: il solaio è collegato con tutte le pareti, ammorsate tra di loro; inoltre il solaio è particolarmente flessibile nel suo piano. Questa situazione è facilmente riscontrabile nel caso di solai in legno.

Si ottiene quindi una elevata deformazione del solaio che scarica l'azione sismica nel centro delle pareti perpendicolari alla direzione del sisma (pareti tipo B), invece di convogliarla correttamente verso le pareti tipo (A).

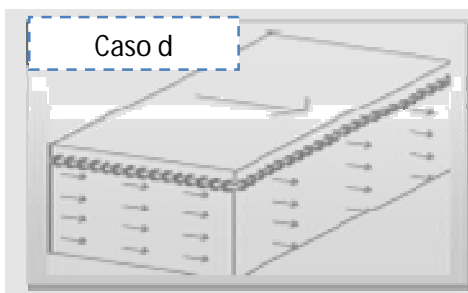


prima dell'analisi globale.

Lo schema statico della parete parallele all'azione sismica (A) è sempre a mensola, mentre le pareti (B), se il rapporto tra lunghezza del muro e altezza non è troppo elevato, assumono lo schema a piastra incastrata su tre lati. Anche in questo caso si ottiene la condizione della parete (B) caricata fuori dal piano, quindi da verificare

E' necessario irrobustire il solaio per evitare il fenomeno di danneggiamento precoce.

Caso d) Condizioni di vincolo: il solaio, sufficientemente rigido, è collegato con tutte le pareti, ma queste non sono ammorsate tra di loro.



da verificare prima dell'analisi globale per il carico sismico dovuto al solo peso proprio della parete.

Lo schema statico per le pareti parallele all'azione sismica (A) rimane quello di mensola incastrata sollecitata, dalle forze sismiche di piano, e reagente su tutta la lunghezza del muro. Per le pareti tipo (B), si può adottare lo schema a trave semplicemente appoggiata. Anche in questo caso si ottiene la condizione della parete tipo (B) caricata fuori dal piano, quindi

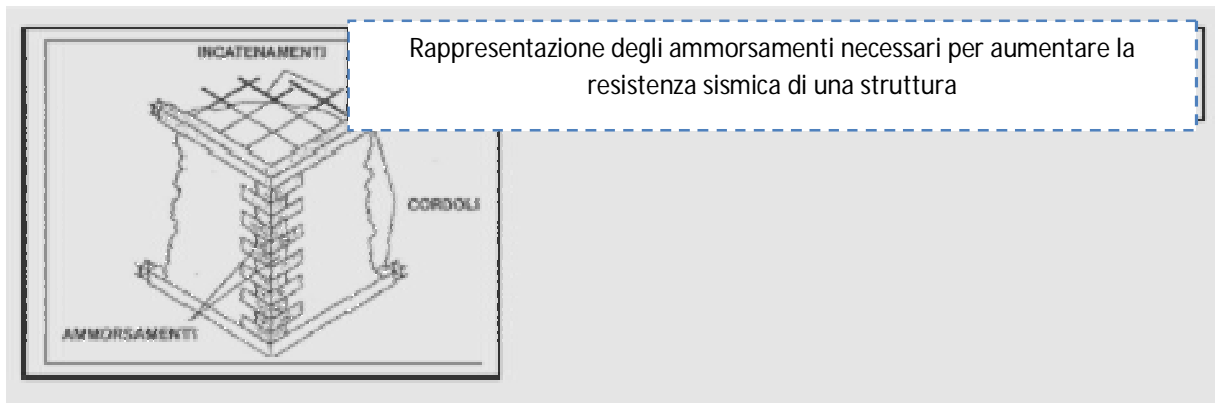
Caso e) Condizioni di vincolo: il solaio, sufficientemente rigido, è collegato con tutte le pareti, e queste sono ammorsate tra di loro.



Si tratta della condizione migliore: i vincoli relativi, ottimizzano la risposta della struttura. Lo schema statico vede le pareti parallele all'azione sismica (A) incastrate alla base e caricate dal carico di piano.

Le pareti tipo (B) come piastre, incastrate su tutti i lati, sollecitate dal carico sismico dovuto al peso proprio.

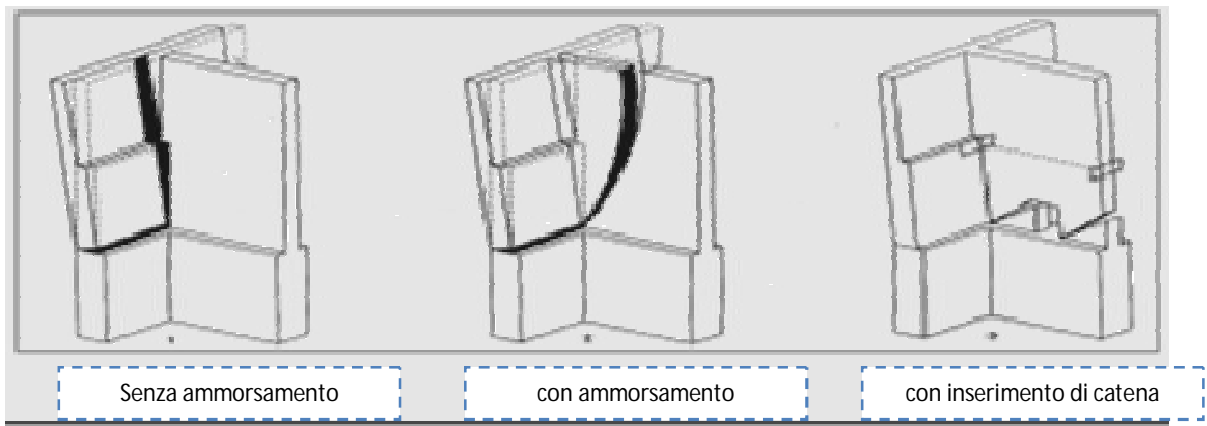
Con opportuni interventi di adeguamento, anche puntuali, è possibile limitare l'insorgere di meccanismo fuori piano, trasferendo ad esempio, la risposta fuori piano della facciata alle pareti di spina, come avviene nel caso e). Per evitare i meccanismi sopra descritti, è necessario che i collegamenti siano efficaci con l'impiego di cordolature, incatenamenti ed un buon ammorsamento della tessitura di elementi murari.

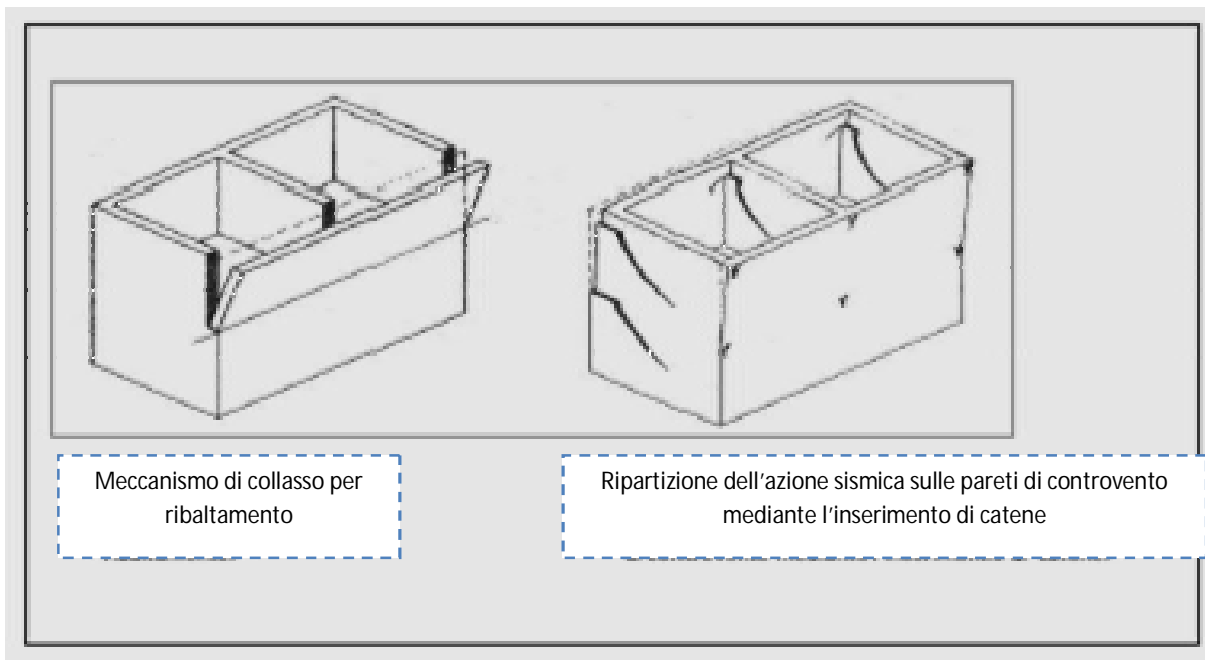


I cordoli di piano costituiscono un vincolo per le pareti soggette a carichi orizzontali e ne ostacolano il meccanismo di ribaltamento fuori dal piano, conferendo un maggior grado di iperstaticità al sistema strutturale. Inoltre provvedono ad irrigidire ulteriormente i solai nel loro piano, migliorando la distribuzione delle azioni orizzontali fra le pareti di controvento complanari: in particolare fra un piano e l'altro.

Le figure di seguito riportate mostrano come anche interventi puntuali possano limitare l'occorrenza di meccanismi di I modo e ridurre la vulnerabilità associata, trasferendo la risposta fuori piano della facciata nel piano delle pareti di spina.

Meccanismi di ribaltamento fuori piano:

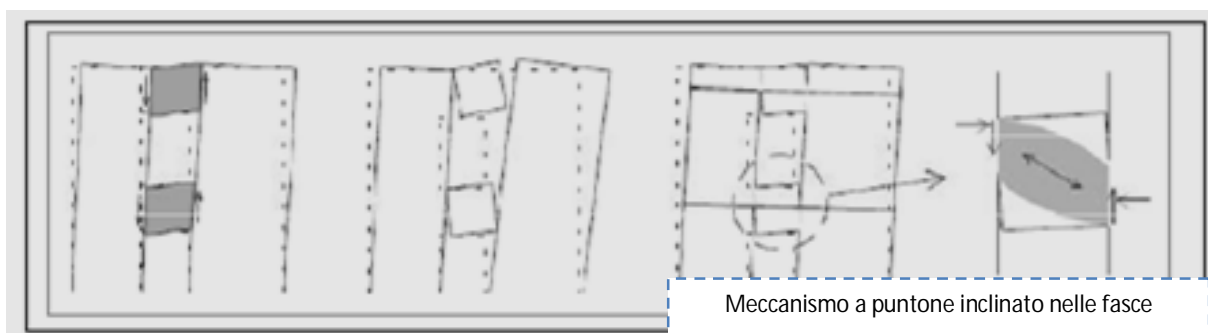




3.2 Ruolo delle fasce di piano

E' necessario sottolineare la funzione strutturale delle travi in muratura (le fasce): quando sussistano le condizioni, possono fornire un'apprezzabile azione d'accoppiamento fra pareti verticali influenzando considerevolmente il meccanismo di risposta di una parete multipiano, in modo tanto più significativo quanto maggiore è il numero di piani dell'edificio.

L'accoppiamento che può essere fornito dalle fasce è principalmente funzione della compressione a cui esse sono soggette in direzione orizzontale, solo questa, infatti, fornisce la resistenza flessionale che impedisce l'attivazione del meccanismo di ribaltamento.



Tuttavia il comportamento delle fasce è condizionato in modo particolare dalle caratteristiche di tessitura della struttura: se una muratura è a tessitura regolare e ben organizzata con blocchi ben ammortati, la resistenza a taglio è principalmente funzione della compressione normale ai letti di malta e, in misura minore, della compressione in direzione parallela ai letti stessi. Essendo nella

sostanza trascurabile la compressione normale ai letti di una trave in muratura al di sotto delle aperture, la resistenza a taglio di una fascia può essere molto bassa ed è principalmente funzione della coesione. Se una muratura è invece di tipo irregolare e mal organizzata, il materiale tende ad avere un comportamento pressoché isotropo, e quindi in linea di principio la trave in muratura può essere trattata come un pannello ruotato di 90°.

Da quanto detto è evidente che la morfologia, la forma e le dimensioni della struttura nel suo complesso e degli elementi che la compongono, sono determinanti nei riguardi dell'attivazione di meccanismi di collasso, globali e locali.

La presenza di irregolarità e/o discontinuità planimetriche e altimetriche è un aspetto di cui è necessario avere considerazione. Infatti, la realizzazione del comportamento scatolare fa sì che per l'edificio si possa definire una vulnerabilità globale; tuttavia, anche in presenza di comportamento scatolare e oltre alla modellazione della struttura finalizzata a una valutazione della sua capacità globale, la normativa impone di tenere in considerazione anche l'eventualità che si verifichino meccanismi locali di collasso, i quali devono essere individuati sulla base di un accurato studio dei cinematismi legati a crisi di I modo su porzioni di parete non vincolate o a richieste di duttilità superiori a quelle disponibili per i meccanismi nel piano locali.

In conclusione si può affermare che con la realizzazione del comportamento scatolare si possa definire una vulnerabilità globale dell'edificio che dipende dalla risposta sismica di tutto il sistema strutturale, governata dalla risposta nel piano delle pareti e dall'azione di collegamento e di ripartizione esercitate dagli orizzontamenti. Risulta dunque fondamentale: analizzare la risposta della parete nel proprio piano, studiare i possibili meccanismi di danneggiamento e valutare l'interazione con il resto della costruzione.

3.3 Comportamento dinamico delle strutture in muratura

Qualora le strutture siano soggette ad un evento sismico presentano un comportamento dinamico estremamente complesso, anche considerando valida l'ipotesi di elasticità lineare. È importante notare che la validità di tale ipotesi risulta molto approssimativa per alcune tipologie di tecniche costruttive, tra cui la muratura, per la quale il comportamento ciclico non lineare del materiale, peraltro molto difficile da cogliere, assume un ruolo fondamentale nella risposta. In particolare il degrado di resistenza della muratura induce una significativa redistribuzione delle forze tra le varie pareti al crescere della severità dell'evento, inoltre l'energia dissipata nei cicli d'isteresi può sopperire talvolta alla limitata capacità duttile dei singoli pannelli. Inoltre il degrado di rigidità durante l'azione di un terremoto, porta la struttura a modificare il proprio modo di vibrare e dunque ad avere una differente richiesta intermini spettrali.

Ulteriori meccanismi di danno, locali o globali, possono poi essere innescati dall'interazione e dal diverso modo di vibrare delle singole parti strutturali: discontinuità murarie, presenza di nicchie o cavità, martellamento dei solai, variazione della spinta, molte volte possono essere fonte di vulnerabilità locali e globali.

Infine, i meccanismi di danno dei maschi murari sono fortemente influenzati dalla componente assiale di compressione, per cui non è a priori trascurabile l'effetto di interazione tra il moto orizzontale e verticale. In particolare alcuni autori (Gambarotta e Lagormarsino, 1996) hanno evidenziato come, nel caso di azione dinamica, benché pareti isolate mostrino una resistenza laterale comparabile con quella fornita nel caso di risposta quasi statica (Magenes et al., 1995), si riscontrino istantanei incrementi o decrementi della resistenza dovuti a variazioni della compressione nelle pareti stesse. La relazione geometrica tra lo spostamento laterale e l'innalzamento dovuto al comportamento non resistente a trazione del modello muratura, induce un accoppiamento tra il moto verticale della parete e quello orizzontale dove le forze d'inerzia verticali determinano condizioni diverse da quelle indotte in prove quasi statiche.

Le sollecitazioni sismiche provocano, alle prime oscillazioni, dei fenomeni lesivi costituiti da fessurazioni, ma se la struttura è dotata di un buon funzionamento scatolare la lesione di uno o più elementi non ne provocano il collasso, ma permettono di smorzare maggiormente le sollecitazioni, aumentandone la deformabilità e accrescendone il periodo proprio. In ogni caso, a parità di accelerazione al suolo, il valore delle sollecitazioni che subisce l'edificio dipende principalmente da fattori che sono caratteristiche proprie dell'edificio in esame, in particolare:

- rigidità globale, a cui è legato il periodo proprio della struttura;
- capacità di smorzamento;
- risposta a sollecitazioni cicliche di ogni singolo elemento.

Queste caratteristiche contribuiscono ad amplificare o a smorzare l'effetto del sisma sulla struttura in termini di oscillazioni e di sollecitazioni, in particolare, nel caso delle strutture in muratura, un basso valore del periodo proprio e una scarsa capacità di dissipazione procurano un'amplificazione dell'accelerazione trasmessa dal suolo alla struttura, provocando sollecitazioni maggiori. Inoltre, la possibilità che i suddetti fattori cambino durante l'evento sismico, contribuisce ad aumentare la complessità del fenomeno dinamico. Perciò solo se la struttura presenta un comportamento globale di tipo scatolare l'organismo strutturale può presentare quella duttilità, seppur comunque ridotta, a cui attingere al fine di adeguarsi alle sollecitazioni, quindi, salvaguardando la vita umana ed evitando i danni strutturali più gravi.

3.4 Regolarità strutturale

Il requisito di regolarità in pianta e in altezza influenza il comportamento degli edifici sottoposti ad azioni orizzontali.

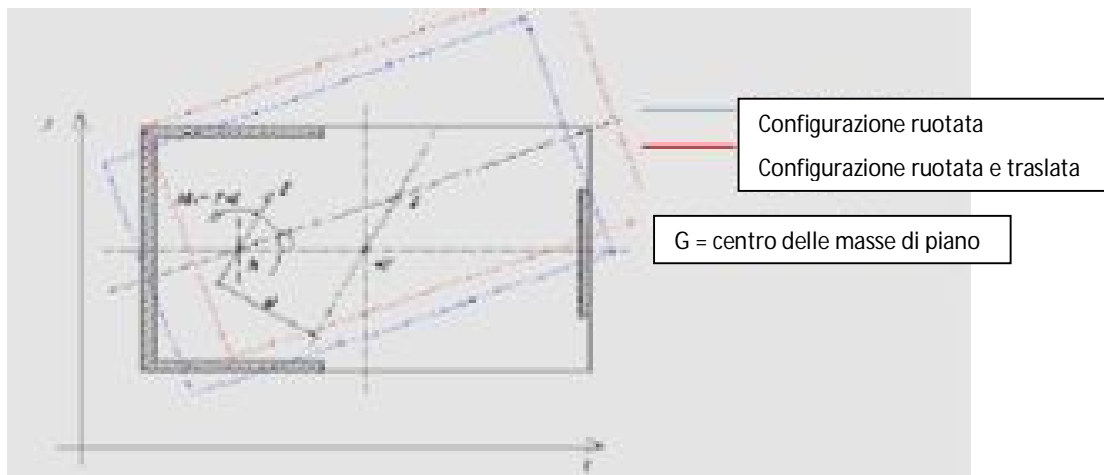
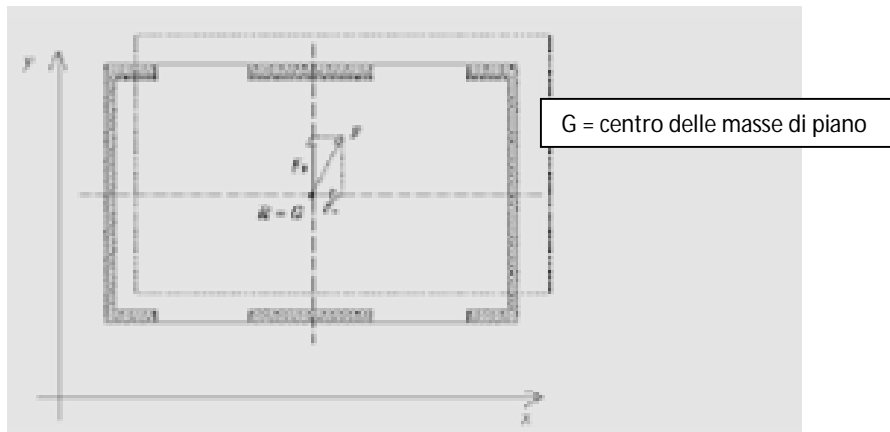
Per fabbricati di altezza modesta quali quelli in muratura, le azioni orizzontali sono limitate agli eventi sismici. Il mancato rispetto di questo requisito da parte della maggioranza degli edifici di vecchia concezione, ha reso necessaria l'introduzione di modelli di analisi più sofisticati che permettono di osservare la formazione di fenomeni di carattere torsionale, quale quello tridimensionale alla base di questo lavoro.

Durante la sua azione, il sisma induce un' accelerazione nella struttura che provoca la nascita di forze d'inerzia orizzontali, rappresentate da forze F agenti a livello di ciascun solaio nel centro di massa (G), dove si può assumere concentrata la massa dell'edificio stesso. Assumendo i solai rigidi nel proprio piano, si ha che le forze orizzontali producono traslazioni e rotazioni rigide di un generico piano della struttura rispetto al piano sottostante. Lo spostamento imposto agli elementi resistenti verticali provocherà la nascita di forze orizzontali resistenti, proporzionali alla rigidezza degli stessi. Il baricentro delle forze di taglio è il centro di rigidezza (R). Gli edifici nei quali il centro delle masse non coincide con il centro delle rigidezze, sono definiti *asimmetrici*, quest'eventualità può essere prodotta non soltanto da una disposizione non regolare degli elementi resistenti ma anche da una distribuzione asimmetrica delle masse al piano.

Premesso ciò, per un sistema di controventamento di tipo spaziale, quale può essere ad esempio l'insieme delle pareti di taglio negli edifici in muratura, si possono fondamentalmente verificare i due casi:

- il sistema ha due assi di simmetria e il centro di massa coincidente con il centro di rigidezza;
- il sistema non è simmetrico e il centro di massa non coincide con il centro di rigidezza.

Nel primo caso, il movimento teorico del piano è puramente traslatorio e, nell'ipotesi di solai rigidi nel piano, tutti i punti dell'impalcato subiscono uguale spostamento. Scomponendo la forza sismica genericamente orientata nelle componenti lungo le due direzioni principali in pianta x ed y , l'analisi può essere condotta in modo indipendente per i due sistemi di pareti lungo le due direzioni principali.

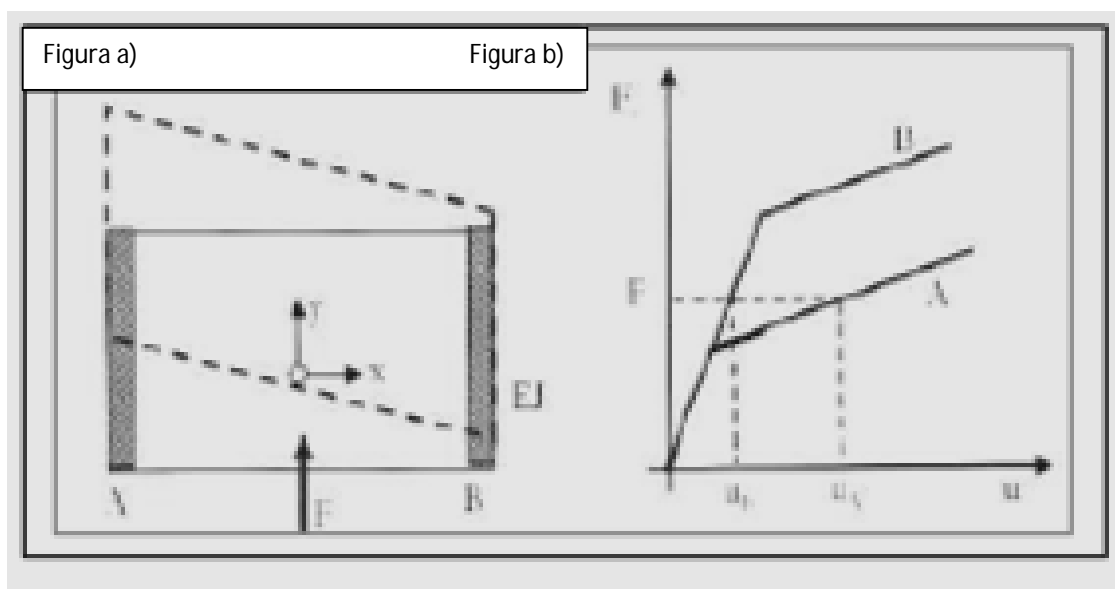


Nel secondo caso, la forza agente e la forza resistente possono equilibrarsi solo con l'introduzione di un momento torcente che produce una rotazione relativa del piano. Lo studio può essere effettuato sovrapponendo agli effetti della forza sismica F , applicata nel centro di rigidezza R , gli effetti del momento torcente $M_t = F \cdot d$, dove d rappresenta la distanza della retta di applicazione della forza F dal centro delle rigidezze. Ciò comporta sia un aumento della forza di taglio su alcuni elementi resistenti sia ulteriori spostamenti di interpiano che possono diventare eccessivi.

In caso di asimmetria, siccome le pareti di taglio generalmente si considerano prive di rigidezza a flessione, si ha lo sviluppo di significative rotazioni attorno al baricentro delle rigidezze e la coppia M_t risulta equilibrata dalle coppie generate dai tagli di piano che agiscono sui vari elementi. E' evidente come in questa circostanza gli elementi si trovino a essere sollecitati in modo assai differente rispetto al caso di struttura simmetrica in pianta e come siano soggetti a spostamenti elevati in prossimità dell'estremo meno rigido.

E' interessante notare che, quando si suppone che tutti gli elementi resistenti alle forze orizzontali abbiano raggiunto ognuno il proprio limite di resistenza, le forze risultano distribuite tra gli elementi della struttura secondo le resistenze e non secondo le rigidezze. Per questo motivo conviene considerare un centro di resistenza piuttosto che un centro di rigidezza e valutare gli effetti torsionali

in funzione della sua collocazione rispetto al centro di massa. Si consideri ad esempio una struttura che, pur avendo il centro di massa coincidente con il centro di rigidezza, abbia elementi aventi resistenze diverse, come la semplice struttura in figura (a) che presenta due pareti parallele all'asse y (A e B) aventi la medesima sezione e curve caratteristiche schematizzabili con un modello elastoplastico con incrudimento (figura (b)).



I due materiali costituenti le pareti hanno la stessa rigidezza iniziale, come si può vedere dal tratto coincidente nel grafico di figura (b), ma diversa forza limite di snervamento. Di conseguenza applicando in modo monotono una forza orizzontale parallela all'asse y si ha inizialmente una traslazione di tutte le componenti della struttura di una quantità proporzionale alla sua rigidezza globale (in campo elastico $R \equiv G$), fino a quando la forza applicata è tale da provocare il superamento del limite elastico del muro meno resistente (muro A). Proseguendo l'incremento di carico si ha che, a parità di carico esterno, i due muri rispondono con spostamenti differenti e si instaura, anche in questo caso, un effetto torsionale che può produrre spostamenti notevoli per il muro A che potrebbero risultare eccessivi. Ciò suggerisce, pur se non richiesto in modo esplicito nelle norme, di verificare in una struttura anche la posizione del centro di resistenza.

3.5 La scolarità degli edifici

Per garantire buon ammassamento, rigidezza estensionale nei solai e massima solidarizzazione fra orizzontamenti ed elementi verticali, sono disponibili diverse soluzioni architettoniche: cordolature, incatenamenti e il rispetto della simmetria planimetrica di cui si è già parlato. Si vogliono illustrare brevemente in questa sede queste soluzioni architettoniche e i benefici che esse apportano al comportamento dell'intera struttura.

3.5.1 Cordolature

Tra le tecniche più adottate, c'è l'introduzione di cordoli, ossia elementi orizzontali, continui, all'altezza dei solai e che percorrono tutta la lunghezza dei muri. Solitamente sono realizzati in cemento armato oppure possono essere sostituiti da armature orizzontali, annegate nei letti di malta, poste all'altezza degli orizzontamenti.

Nel caso più diffuso di cordoli in cemento armato la normativa vigente prescrive che a ogni piano deve essere realizzato un cordolo continuo all'intersezione tra solai e pareti. In particolare, i cordoli devono avere larghezza almeno pari a quella del muro, con un arretramento massimo consentito di 6 cm dal filo esterno, mentre l'altezza minima consentita è pari all'altezza del solaio. L'armatura corrente non deve essere inferiore a 8 cm^2 (corrispondente quindi ad un minimo di 4 barre $\phi 16$), e le staffe devono avere diametro non inferiore a 6 mm ed interasse non superiore a 25 cm.

I cordoli svolgono diverse funzioni:

- irrigidiscono ulteriormente i solai nel loro piano;
- fungono da vincolo per le pareti soggette a carichi orizzontali ortogonali al loro piano medio ostacolando il meccanismo di ribaltamento fuori dal piano;
- permettono una opportuna distribuzione delle azioni orizzontali fra le pareti di controvento complanari, in particolare fra un piano e l'altro;
- procurano maggiore stabilità alla struttura e iperstaticità al sistema resistente.

L'iperstaticità ha come conseguenza, infatti, la ridistribuzione degli sforzi tra gli elementi costituenti la struttura: quando un elemento della struttura è soggetto a un carico tale da superare la sua soglia di resistenza, gli sforzi vengono ripartiti fra gli altri elementi adiacenti; si evita, così, che l'eccessiva sollecitazione di un elemento sia causa immediata di crisi per l'intera struttura.

3.5.2 Incatenamenti

Un'altra soluzione architettonica atta a garantire la scolarità della struttura, è costituita dagli incatenamenti. Si tratta di barre metalliche poste a livello di solaio, che collegano fra loro le pareti parallele della struttura; sono ancorate ai cordoli opposti e sono disposte ortogonalmente ai muri da collegare.

Talvolta sono le armature dei solai stessi che assolvono la funzione di incatenamento, ma deve esserci un perfetto ancoraggio tra queste armature e i cordoli; inoltre, ulteriori barre metalliche sono indispensabili nella direzione ortogonale all'orditura dei solai. La funzione degli incatenamenti è duplice: quando collegano le pareti sollecitate da sollecitazioni orizzontali ortogonali al loro piano medio, essi forniscono un vincolo per le pareti, in modo da evitare ogni rischio di inflessione fuori dal

piano con conseguente ribaltamento. Gli incatenamenti tra le pareti di controvento (pareti disposte lungo la direzione del sisma), invece, migliorano la distribuzione dei carichi orizzontali tra di esse.

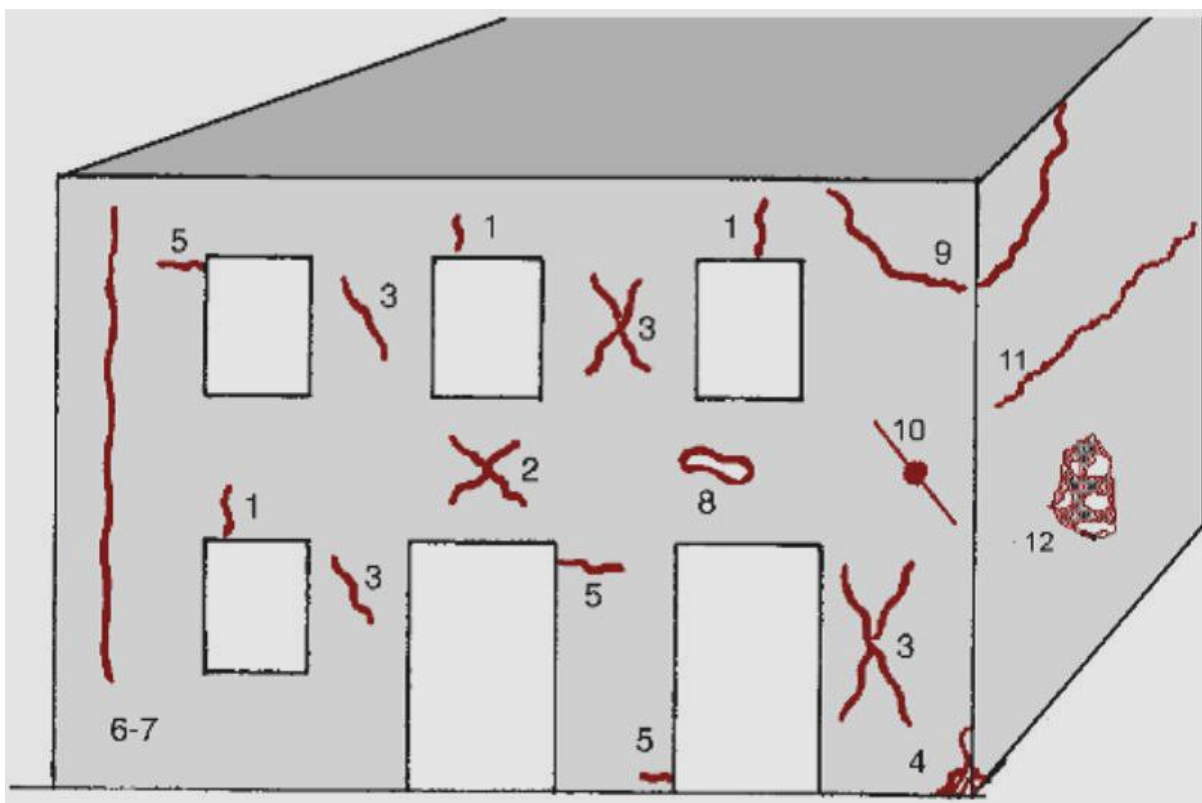
3.6 Vulnerabilità sismica delle costruzioni in muratura

Per poter esprimere un giudizio di vulnerabilità sismica ed eventualmente intervenire correttamente su un edificio esistente, il punto di partenza è acquisire il miglior livello di conoscenza possibile.

La vulnerabilità sismica dipende infatti principalmente dalla tipologia strutturale, ma anche dalla natura e dalla qualità dei materiali e poi dalla situazione di fatto in cui si trova la struttura, definita dalle eventuali condizioni di dissesto fisiologico e/o patologico conseguenti a eventi di varia natura subiti nel tempo.

È importante ricordare che dopo un terremoto di bassa/media intensità, ovvero che non ha portato l'edificio al crollo, non sempre è facile l'interpretazione corretta del quadro fessurativo. In particolare, dissesti preesistenti (quali ad esempio schiacciamenti localizzati, fessurazioni sulle piattabande, lesioni di distacco nelle croci di muri, etc.) vengono spesso ascritti al sisma, che al più li ha acuiti, o, viceversa, si attribuiscono a cedimenti fondali danni che invece sono provocati dall'incapacità delle strutture di elevazione a sopportare l'azione del terremoto.

La figura seguente rappresenta uno schema di riferimento, definito dal GNDT del CNR, relativo ai più comuni tipi di lesioni che si possono presentare dopo un evento sismico.



1. lesioni ad andamento pressoché verticale sulle architravi di aperture
2. lesioni ad andamento diagonale nelle fasce di piano (parapetti di finestre, architravi)
3. lesioni ad andamento diagonale in elementi verticali (maschi murari)
4. schiacciamento locale della muratura con o senza espulsione di materiale
5. lesioni ad andamento pressoché orizzontale in testa e/o al piede di maschi murari
6. lesioni ad andamento pressoché verticale in corrispondenza di incroci fra muri
7. come 6 ma passanti
8. espulsione di materiale in corrispondenza degli appoggi di travi dovuta a martellamento
9. formazione di cuneo dislocato in corrispondenza della intersezione tra due pareti ad angolo
10. rottura di catene o sfilamento dell'ancoraggio
11. lesioni ad andamento orizzontale in corrispondenza dei solai o del sottotetto
12. distacco di uno dei paramenti di un muro a doppio paramento

4. CARATTERISTICHE MECCANICHE

La muratura a rigore non può essere considerata un materiale, ma va riguardata come una struttura nella struttura, ovvero come un sistema di elementi di varia natura la cui interazione a livello micromeccanico ne determina il comportamento macroscopico. Dal punto di vista morfologico, la muratura può definirsi come un aggregato di elementi lapidei, naturali o artificiali, generalmente legati da malta (ci sono anche numerosi esempi di murature "a secco").

Il modo di assemblare questi elementi è estremamente variabile, per cui esiste una vasta rassegna tipologica classificabile sulla base di:

- composizione (assortimento di elementi lapidei e malta);
- tessitura (disposizione ed organizzazione delle pietre);
- tecniche costruttive (tipiche delle varie epoche e aree geografiche).

Inoltre con riferimento a una stessa costruzione, si può riscontrare un'estrema variabilità non solo da muro a muro, ma anche tra due punti vicini della stessa parete e ciò rende conto del carattere artigianale di realizzazione e della stratificazione nel tempo degli edifici esistenti in muratura.

Nel seguente capitolo verranno analizzate le principali caratteristiche meccaniche della muratura, sia per quanto riguarda gli elementi che fanno parte di essa (mattoni) sia per quanto riguarda l'interazione mattone – giunto di malta.

4.1 Caratteristiche meccaniche della muratura

Le più importanti caratteristiche della muratura dal punto di vista del comportamento meccanico sono:

- ✓ la disomogeneità
- ✓ l'anisotropia
- ✓ l'asimmetria di comportamento rispetto al segno delle sollecitazioni (compressione-trazione)
- ✓ la non – linearità del legame sforzi – deformazioni.

La disomogeneità è dovuta al fatto che gli elementi e la malta di cui è costituita la muratura possono avere caratteristiche meccaniche fortemente diverse. Inoltre, spesso non è sufficiente conoscere le caratteristiche dei materiali componenti presi singolarmente per prevedere il comportamento meccanico dell'insieme, in quanto un ruolo fondamentale è giocato dall'interfaccia ovvero dall'unione fra i componenti, che per particolari fenomeni chimico – fisici tende a sviluppare un comportamento meccanico non necessariamente riconducibile a quello dei singoli componenti. Il comportamento meccanico macroscopico della muratura può quindi essere considerato come il risultato dell'interazione meccanica fra gli elementi e la malta, attraverso la loro interfaccia.

L'anisotropia è dovuta alla direzionalità intrinseca della muratura, legata alla forma e alle proporzioni degli elementi e al modo con cui essi vengono disposti, nonché all'eventuale presenza di fori e alla loro direzione. La quasi totalità delle murature moderne presentano elementi regolari disposti per corsi orizzontali, con giunti orizzontali di malta continui, laddove i giunti verticali sono invece sfalsati per legare meglio la muratura.

L'asimmetria di comportamento meccanico è la diretta conseguenza del fatto che sia gli elementi, sia la malta, sia l'interfaccia malta – elemento presentano un comportamento asimmetrico nei riguardi della trazione e della compressione. Un particolare ruolo in questo fenomeno è giocato dall'interfaccia, che in molti casi presenta una resistenza a trazione più bassa di quella dei singoli componenti. La muratura viene quindi considerata nelle modellazioni come materiale non reagente a trazione.

Infine, la non linearità, che può essere vista in parte come un risultato di alcune delle caratteristiche sopra elencate, caratterizza in modo marcato il comportamento della muratura sia in compressione, sia in trazione, sia in stati di sollecitazione composti. Nella modellazione di strutture in muratura si dovrà quindi tenere in conto dell'effettivo comportamento non lineare della muratura.

4.2 Le murature in pietra

Le murature in pietra sono caratterizzate da un'estrema variabilità tipologica, diversificata geograficamente in relazione all'impiego di materiali di facile approvvigionamento e della tradizione costruttiva del luogo. Esse sono irregolari per geometria, sia in tessitura che in sezione, ed eterogenee per composizione. Gli inerti possono essere di varia natura (pietra di cava, ghiaia di fiume, laterizio) e di diverse forme e dimensioni (elementi ricavati da operazioni di taglio, ciottoli, zeppe), e può esservi presenza di terra, argilla, sostanze organiche, etc.; le malte sono generalmente di scarsa qualità e spesso non circondano gli inerti completamente. Spesso, inoltre, la loro conformazione è assimilabile a un muro multistrato (con paramenti esterni di conci di pietra e nucleo pressoché incoerente, che può costituire anche la maggior dello spessore), il cui collegamento trasversale, realizzato essenzialmente dalla malta tra i conci è carente o addirittura mancante. Lo strato di riempimento è generalmente caratterizzato dalla presenza di vuoti, distribuiti disordinatamente insieme a inerti e malta.

La diffusione di queste murature è particolarmente estesa nell'edilizia minore, sia in Italia (Umbria, Toscana, Veneto, Friuli), che in Europa (Slovenia, Grecia), in zone tipicamente soggette a calamità sismiche. In tale contesto la tipologia più vulnerabile è rappresentata dalle murature multistrato, in special modo quelle a tre strati con nucleo interno eterogeneo.

I recenti sviluppi del lavoro svolto principalmente nell'ambito di progetti CNR-GNDT (Consiglio Nazionale delle Ricerche – Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) (GNDT, 1993) (GNDT, AA. VV., 2000) propongono una catalogazione delle murature secondo la loro tessitura, distinguendola in irregolare, sbazzata e regolare, e considerando la presenza o meno di ricorsi in laterizio.

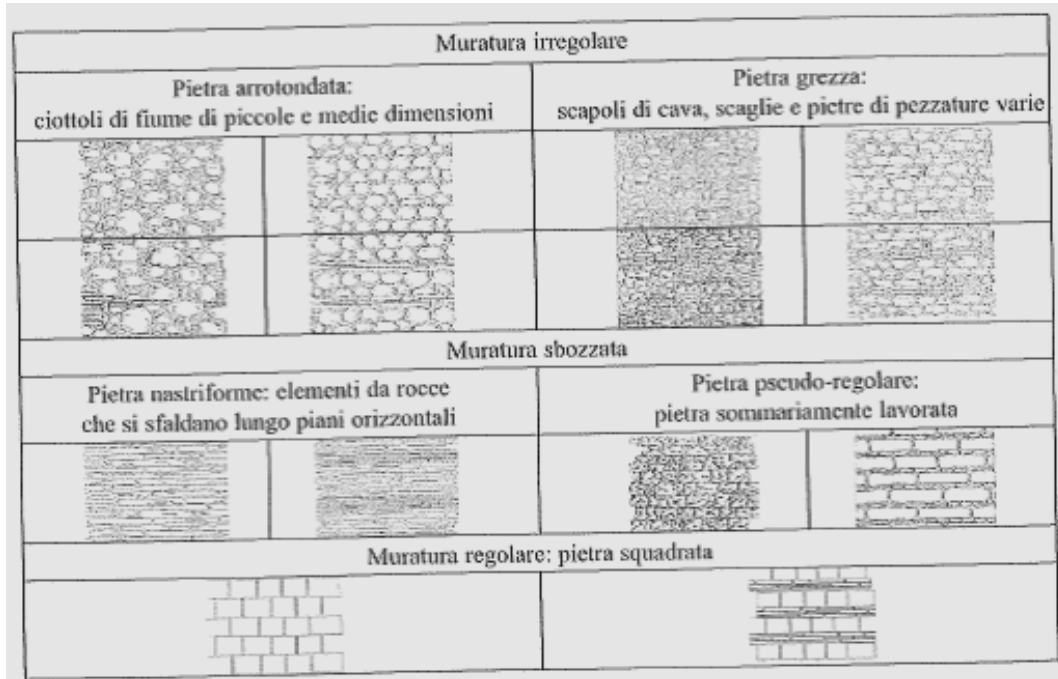


Fig.4.1 Abaco delle murature basato sul paramento esterno (GNDT, AA.VV., 2000)

Studi sistematici delle tipologie presenti in varie Regioni Italiane (Umbria-Marche, Lunigiana-Garfagnana, Liguria, Friuli, zone del Bellunese e del Trentino) hanno evidenziato l'insufficienza della catalogazione delle murature con solo riferimento alla tessitura osservabile in facciata; a una più o meno evidente regolarità in facciata può corrispondere, infatti, una forte irregolarità in spessore (stratificazione, grado di ammorsamento), e tale conformazione influenza fortemente il comportamento meccanico dell'intero muro.

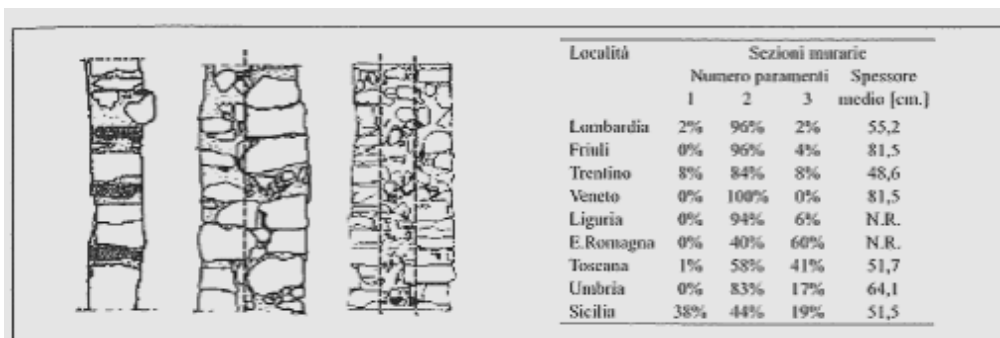


Fig.4.2 Tipiche sezioni a uno, due e tre paramenti: morfologia e dimensioni dei paramenti di sezioni rilevate sul territorio italiano.

La maggior parte delle murature sono a due paramenti; tuttavia, le sezioni a tre paramenti, scarsamente presenti solo nell'area del Nord Est, nel resto del paese rappresentano percentuali consistenti, variabili dal 6% al 60%.

I problemi strutturali delle murature in pietra sono da annoverare principalmente nella scarsa portanza (malta inconsistente o mancante, eccessiva presenza di vuoti, etc.), e nella debole connessione trasversale dei paramenti, che tendono a sviluppare meccanismi di collasso "anticipati" rispetto alla rottura per raggiungimento della resistenza limite del materiale (compressione e taglio), per fenomeni di uscita dal piano sia sotto carichi verticali (per instabilità dei singoli paramenti) sia sotto i carichi orizzontali (per espulsione localizzata di uno strato in presenza di carichi verticali elevati).

A tali aspetti peculiari si aggiunge l'influenza sulla sicurezza di altri parametri, legati al comportamento globale degli edifici, quali lo stato di manutenzione e di degrado, la connessione tra gli elementi verticali, e di questi con gli orizzontamenti (solai e coperture). È importante ribadire che i meccanismi sopra menzionati, pur potendo agire solo a livello locale, possono provocare un danneggiamento grave per la struttura, che può spingersi fino a pregiudicarne la stabilità stessa. Essi sono, infatti, particolarmente deboli, ossia possono verificarsi per sollecitazioni anche molto limitate, e in presenza di condizioni che normalmente assicurano la stabilità globale di un edificio.

Alcuni esempi significativi delle carenze costruttive proprie degli edifici sono stati evidenziati dal terremoto Umbria - Marche del 1997.

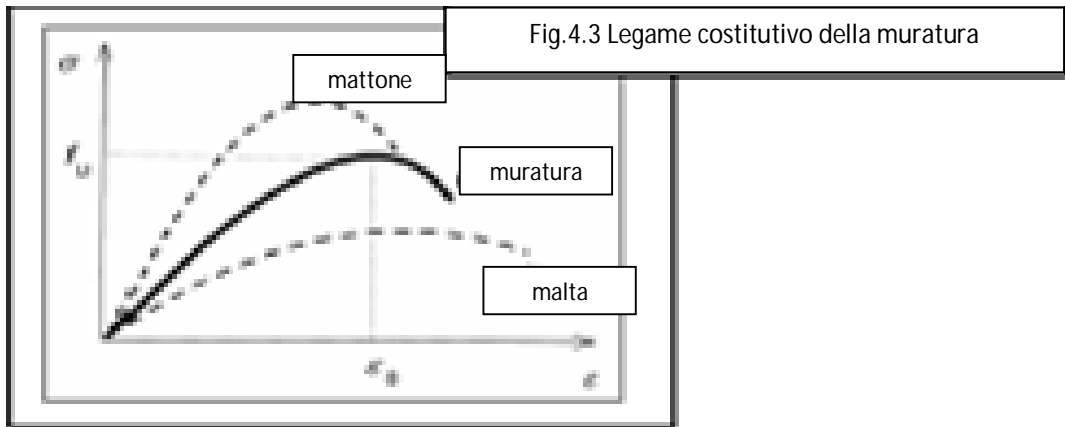
In generale, i danni più frequentemente osservati riguardano l'esaltazione degli effetti di ribaltamento fuori piano, che interessano intere facciate di muri portanti (a causa dell'insufficiente connessione tra le pareti e tra queste e gli orizzontamenti), zone vicine agli incroci tra pareti ortogonali (specialmente in presenza di aperture ravvicinate agli spigoli) e porzioni caratterizzate da discontinuità murarie (per tipo di materiale o carattere costruttivo); sfondamenti e martellamenti locali, causati da sconessioni tra le travi degli impalcati e le murature; distacco di vaste porzioni dei paramenti murari, per scadenti qualità costruttive delle murature stesse. Rotture nel piano sono state individuate mediante le tipiche lesioni diagonali, in particolare negli edifici concepiti in maniera da favorire il funzionamento scatolare della struttura.

4.3 Stati di tensione monoassiali

La statica delle costruzioni in muratura si fonda sul buon comportamento a compressione del materiale. Le prove a compressione consistono nel sottoporre un prisma di muratura ad una prova di compressione semplice, normalmente ai letti di malta; viene definita una tensione media $\sigma = P/A$

riferita all'area lorda del provino, e una deformazione media $\epsilon = \Delta h/h$ riferita all'accorciamento del provino in direzione parallela al carico, su una lunghezza di riferimento h .

Al termine della prova si ottiene una curva simile a quella in figura, intermedia rispetto alle curve ottenibili da prove di compressione sulla singola malta e sul singolo blocco.



È stato osservato che in generale il comportamento in compressione è determinato, in diversa misura, dai seguenti fattori:

- resistenza, caratteristiche deformative e geometria degli elementi;
- resistenza e caratteristiche deformative della malta;
- spessore dei giunti;
- capacità di assorbimento dell'acqua da parte dei mattoni e capacità di ritenzione dell'acqua da parte della malta;
- geometria secondo cui vengono disposti gli elementi (sistema costruttivo o apparecchiatura).

Dal punto di vista fenomenologico, la crisi per compressione si presenta con lo sviluppo progressivo di fessurazioni verticali (parallele cioè all'asse di carico) negli elementi, conseguenti allo sviluppo di trazioni ortogonali a quelle di compressione. La causa di tale stato di trazione indiretta è uno stato di coazione che si instaura all'interno del materiale in conseguenza del diverso comportamento deformativo della malta e degli elementi. In particolare al crescere del carico assiale, la malta viene a trovarsi in uno stato di compressione triassiale per effetto del contenimento esercitato dagli elementi, i quali a loro volta si trovano soggetti a trazioni ortogonali all'asse di carico. Il confinamento triassiale della malta giustifica quindi il fatto che la muratura possa resistere a sforzi di compressione maggiori della resistenza a compressione monoassiale della malta stessa. Sulla base di queste considerazioni si sono sviluppati i primi modelli razionali per la muratura soggetta a compressione. Una formulazione elastica del problema (Francis et al., 1971, Tassios, 1988) può essere formulata

come segue. Si consideri un prisma di mattoni e malta come in figura, soggetto a compressione in direzione z.

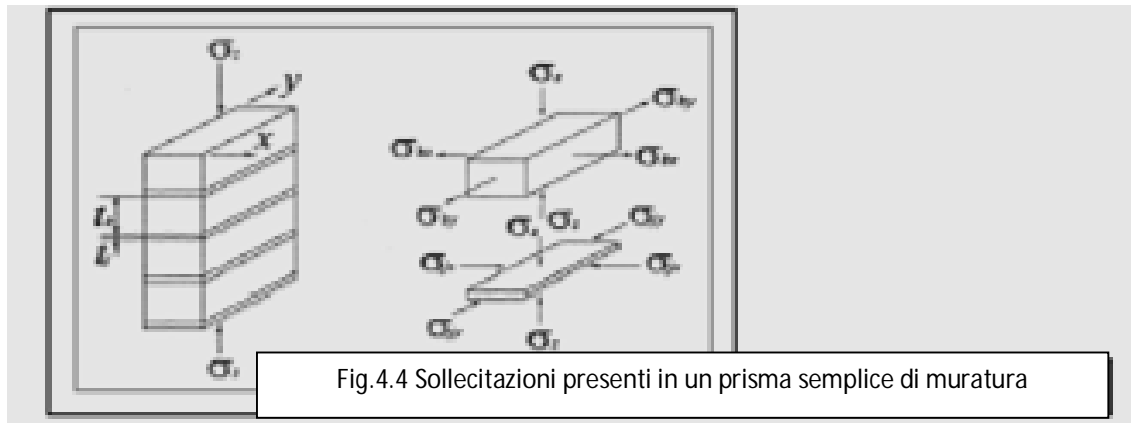


Fig.4.4 Sollecitazioni presenti in un prisma semplice di muratura

Supponendo i mattoni e la malta materiali elastici lineari e isotropi, l'applicazione della legge di Hooke generalizzata permette di esprimere le deformazioni trasversali del mattone in direzione x e y come:

$$\varepsilon_{bx} = \frac{1}{E_b} [\sigma_{bx} + \nu_b (\sigma_z - \sigma_{by})]$$

$$\varepsilon_{by} = \frac{1}{E_b} [\sigma_{by} + \nu_b (\sigma_z - \sigma_{bx})]$$

e quelle nel giunto di malta come:

$$\varepsilon_{jx} = \frac{1}{E_j} [-\sigma_{jx} + \nu_j (\sigma_z - \sigma_{jy})]$$

$$\varepsilon_{jy} = \frac{1}{E_j} [-\sigma_{jy} + \nu_j (\sigma_z - \sigma_{jx})]$$

dove E_b e E_j sono i moduli di elasticità, rispettivamente, del mattone e della malta, e ν_b e ν_j sono i rispettivi coefficienti di Poisson. Per la congruenza tra giunto di malta e mattone, le deformazioni trasversali del mattone e della malta devono essere uguali fra loro nelle rispettive direzioni x e y ($\varepsilon_{bx} = \varepsilon_{jx}$, $\varepsilon_{by} = \varepsilon_{jy}$). Inoltre, per l'equilibrio, la risultante degli sforzi di compressione laterali nella malta deve essere uguale alla risultante degli sforzi di trazione laterali nel mattone, da cui è possibile ricavare per le due direzioni x e y:

$$S_{bx} = \alpha \cdot S_{jx}$$

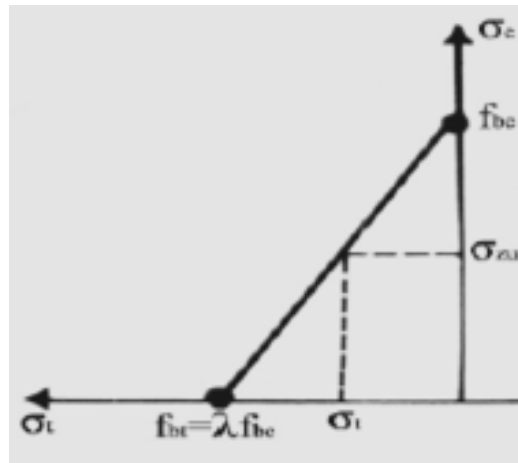
$$S_{by} = \alpha \cdot S_{jy}$$

Dove $\alpha = t_j/t_b$. Combinando le equazioni precedenti e definendo, con alcune sostituzioni si ottiene:

$$\sigma_{bx} = \sigma_{by} = \frac{\alpha(\nu_j - \beta\nu_b)}{1 + \alpha\beta - \nu_j - \alpha\beta\nu_b} \sigma_z$$

che esprime gli sforzi trasversali di trazione nel mattone in funzione degli sforzi lungo z. Se a questo punto si introduce un criterio di rottura del mattone in condizioni di sforzo triassiali, e si assume che la crisi del mattone coincida con la crisi della muratura è possibile pervenire a una formulazione della resistenza della muratura. In particolare, assumendo per il dominio di resistenza del mattone una relazione lineare tra le tensioni di trazione $\sigma_{bx} = \sigma_{by} = \sigma_t$ e la tensione di compressione σ_z :

$$\frac{\sigma_z}{f_{bc}} + \frac{\sigma_t}{\lambda f_{bc}} = 1$$



Con $\lambda = f_{bt} / f_{bc}$, è possibile pervenire alla seguente espressione per la resistenza a compressione della muratura:

$$f_u = \frac{1}{1 + \frac{\alpha(v_j - \beta v_b)}{\lambda(1 + \alpha\beta - v_j - \alpha\beta v_b)}} f_{bc}$$

Questa formulazione tuttavia presenta una serie di limitazioni che non ne permettono l'uso diretto nelle applicazioni. Innanzitutto essa si basa sull'ipotesi di comportamento lineare elastico dei materiali fino a rottura. Tale ipotesi risulta poco accettabile specialmente quando la malta è molto debole. In secondo luogo essa presuppone una conoscenza quantitativa delle costanti elastiche dei materiali. Le metodologie per una misura sperimentale diretta di tali grandezze presentano notevoli difficoltà e sono a tutt'oggi oggetto di verifiche e calibrazioni. L'alternativa alla misura diretta è l'uso di formule empiriche, i cui risultati solitamente sono soggetti a forte incertezza. È stato comunque verificato mediante confronti sperimentali che l'espressione precedente sembra descrivere in maniera abbastanza soddisfacente l'influenza dello spessore del giunto sulla resistenza a compressione della muratura. Si nota cioè che, mantenendo costanti gli altri parametri meccanici e geometrici, la resistenza a compressione di un prisma di muratura diminuisce rapidamente all'aumentare dello spessore del giunto, come visto nell'espressione.

Hilsdorf propose una formulazione per alcuni versi analoga a quella appena vista, ma basata sull'ipotesi che la rottura dei mattoni avvenga quando alla crisi dei mattoni soggetti a compressione – trazione si accompagni la crisi della malta soggetta a compressione triassiale. Secondo tale criterio, la crisi del mattone è ancora espressa tramite la $\frac{\sigma_z}{f_{bc}} + \frac{\sigma_t}{\lambda f_{bc}} = 1$, e la crisi della malta in compressione triassiale (con $\sigma_{jx} = \sigma_{jy}$) è espressa mediante la seguente espressione:

$$\sigma_{z,u} = f_j + 4.1 \sigma_{jx}$$

dove f_j è la resistenza a compressione monoassiale della malta. Imponendo l'equilibrio delle risultanti degli sforzi orizzontali, Hilsdorf è pervenuto alla seguente formula:

$$f_u = \frac{f_{bc} (f_{bt} + \alpha' f_j)}{U_u (f_{bt} + \alpha' f_{bc})}$$

dove $\alpha' = t_j / (4,1 t_b)$ e U_u è un coefficiente di non uniformità che tiene conto del fatto che all'interno del mattone e del giunto gli sforzi non sono distribuiti uniformemente. L'irregolarità nella distribuzione degli sforzi può essere tra l'altro conseguenza di fattori come l'irregolarità delle superfici del mattone, un incompleto riempimento dei giunti, l'eventuale presenza di fori nei mattoni e la geometria dei fori stessi. Hilsdorf determinò il coefficiente per diverse combinazioni mattone – malta, riportando valori compresi tra 1,1 e 2,5 (decrementi al crescere della resistenza della malta). Riassumendo ciò che si è visto in precedenza si nota che:

- la resistenza della muratura aumenta al crescere della resistenza dei componenti, ma in modo non direttamente proporzionale;
- la resistenza della muratura non aumenta in modo direttamente proporzionale all'aumentare della resistenza della malta, bensì più lentamente;
- un aumento della resistenza degli elementi porta ad un rapido incremento della resistenza della muratura quando la malta è di qualità molto buona; viceversa, se la qualità della malta è scarsa, la resistenza della muratura cresce più lentamente al crescere della resistenza dei blocchi;
- un aumento dello spessore dei giunti fa diminuire la resistenza della muratura, in misura tanto maggiore quanto più la malta è di scarsa qualità.

Esiste inoltre una serie di altri fattori che possono influenzare la resistenza della muratura in compressione quali:

- la presenza di giunti verticali e del tipo di connessione o orditura degli elementi
- fattori di esecuzione quali la composizione e miscelazione della malta, o l'esecuzione difettosa dei giunti di malta.

Formulazioni empiriche sono state proposte per compendiare l'influenza dei fattori principali che concorrono a determinare la resistenza a compressione della muratura.

La formulazione adottata in Europa per la resistenza a compressione della muratura si basa su una espressione nella forma:

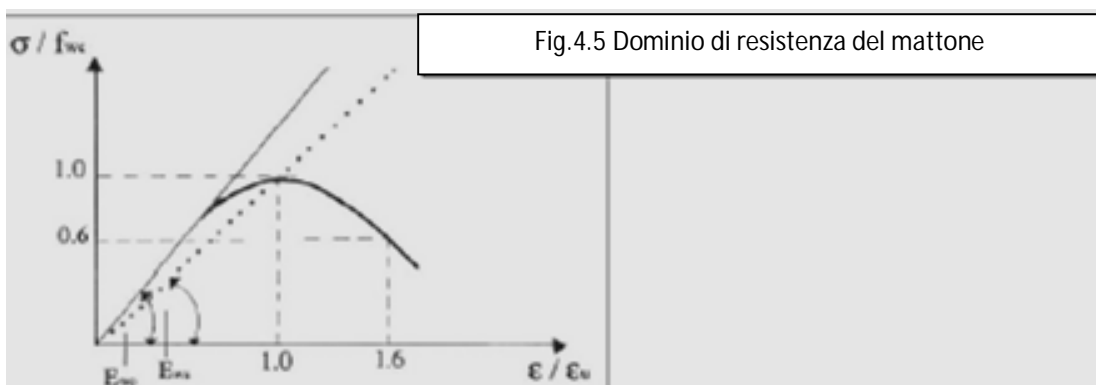
$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$$

in cui la resistenza caratteristica f_k della muratura è espressa in funzione della resistenza media a compressione degli elementi f_b e della malta f_m . K è un coefficiente dipendente dal tipo di elementi. Per malte di uso generale K è compreso tra 0,4 e 0,6, f_k cresce con la radice quarta della resistenza della malta ($\beta = 0,25$), e approssimativamente con la radice terza del quadrato della resistenza degli elementi ($\alpha = 0,65$).

Il comportamento deformativo in compressione semplice di un prisma di muratura ha un andamento non lineare che nel tratto ascendente può essere approssimato in modo abbastanza soddisfacente con una relazione σ - ϵ di tipo parabolico:

$$\sigma = f_u \left[2 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right) - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)^2 \right]$$

Prove sperimentali eseguite su murature di mattoni mostrano come la precedente espressione possa valere anche per una porzione del ramo decrescente della curva.



Comportamento deformativo in compressione semplice

Tuttavia, fermo restando il fatto che il ramo decrescente dipende sensibilmente dalle dimensioni del provino e dal metodo di prova, il comportamento post – picco può differire in modo significativo per diversi tipi di murature, mostrando in alcuni casi comportamenti marcatamente fragili (è il caso ad esempio di alcune murature in laterizio forato).

In molte applicazioni può rendersi necessaria la definizione di un modulo elastico della muratura, il cui significato è quello di modulo tangente – secante alla curva σ - ϵ per valori di compressione non

superiori a $(0,35-0,4) \cdot f_u$. Le relazioni empiriche più frequentemente utilizzate per la definizione del modulo elastico riconducono E_m alla resistenza a compressione della muratura:

$$E_m = 500 \div 1000 f_u$$

4.3.1 Comportamento a flessione e a taglio

Il comportamento a trazione della muratura è solitamente caratterizzato dalla rottura del giunto, che può avvenire per due motivi:

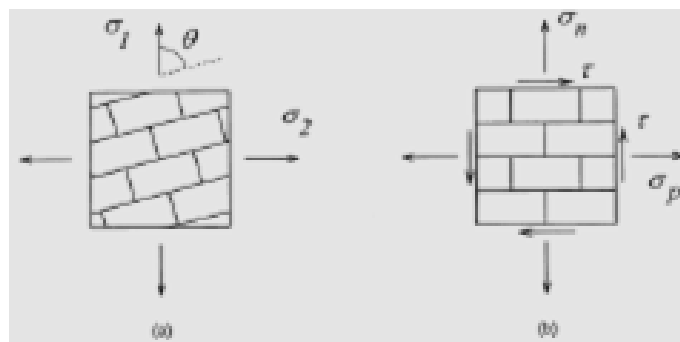
- per decoesione all'interfaccia elemento – malta
- per frattura all'interno del giunto di malta, normalmente alla direzione di trazione, qualora l'adesione della malta all'elemento sia molto buona.

In generale la resistenza a trazione del giunto f_{jt} può quindi variare da un massimo, prossimo alla resistenza a trazione della malta f_{mt} , a un minimo che può arrivare a qualche percento di f_{mt} nel caso di decoesione dell'interfaccia. Più raramente, quando la qualità del legante è molto elevata oppure la resistenza degli elementi è molto scarsa, può aversi la frattura nell'elemento.

La resistenza a trazione è caratterizzata da un'estrema aleatorietà. Per questo motivo viene spesso trascurata nelle applicazioni e nelle modellazioni.

4.3.2 Stati tensionali complessi

A causa dell'anisotropia, nell'analisi del comportamento della muratura soggetta a stati tensionali complessi è necessario fare riferimento, oltre alle componenti del tensore degli sforzi macroscopici, anche al loro orientamento rispetto agli assi di ortotropia del materiale. Nel caso di stati tensionali le cui risultanti sono contenute nel piano medio della parete, è possibile fare ricorso al modello di stato di sforzo piano. In tal caso sono necessari tre parametri per descrivere compiutamente lo stato tensionale macroscopico. Una possibilità è di utilizzare le tensioni principali σ_1 e σ_2 e l'angolo θ formato da una delle tensioni principali con la direzione dei letti di malta.



Angolo θ	Trazione monocassiale	Trazione/compressione	Compressione monocassiale	Compressione biassiale
0°				
22.5°				
45°				
67.5°				
90°				

Alternativamente è possibile utilizzare le tre componenti del tensore degli sforzi nel sistema di riferimento del materiale, ovvero con gli assi coincidenti con le normali alla giacitura dei letti di malta e dei giunti di testa, comunemente indicati con σ_n (normale ai letti di malta), σ_p (parallela ai letti di malta, e quindi normale ai giunti di testa), τ . Il comportamento ortotropo della muratura risulta particolarmente evidente quando la malta ha caratteristiche di resistenza nettamente inferiori a quelle degli elementi. Viceversa una muratura di blocchi di calcestruzzo iniettata, con malta di elevata resistenza tende a presentare un comportamento poco dipendente dall'orientamento dei letti di malta, e analogo a quello di una lastra di calcestruzzo.

Di particolare interesse per le applicazioni sono gli stati tensionali di compressione e taglio, quali quelli in cui vengono a trovarsi le pareti di controventamento di edifici soggetti ad azioni orizzontali (vento e sisma). Studi sperimentali su pannelli di muratura soggetti a uno stato macroscopicamente omogeneo di compressione e taglio sono stati condotti da Mann e Muller (1982). In tali esperimenti si sono evidenziati tre meccanismi fondamentali di rottura:

- rottura nei giunti di malta: avviene tipicamente per bassi valori di σ_n ;
- rottura per taglio – trazione negli elementi: avviene per valori di σ_n intermedi;

- rottura per schiacciamento della muratura: avviene quando σ_n approssima la resistenza a compressione monoassiale della muratura.

L'interpretazione proposta da Mann e Muller per i tre meccanismi è la seguente.

Nel primo caso la rottura avviene per cedimento per taglio dei giunti, con la formazione di fessure con andamento a scaletta che seguono i giunti verticali e orizzontali. Se si suppone che i giunti di malta siano caratterizzati da un criterio di resistenza alla Coulomb, la rottura avviene quando nei letti di malta viene raggiunta la condizione:

$$\tau_j = c + \mu\sigma_j$$

in cui compaiono i parametri di resistenza del giunto (coesione, coefficiente d'attrito) e in cui τ_j e σ_j sono gli sforzi locali nel giunto.

Nel secondo caso la rottura avviene quando la tensione principale di trazione nel mattone raggiunge la resistenza a trazione del laterizio.

Nel terzo caso la rottura avviene quando la massima tensione di compressione verticale raggiunge la resistenza a compressione della muratura f_u . Per ricondurre lo stato tensionale macroscopico allo stato tensionale locale Mann e Muller si sono basati su una interpretazione del meccanismo deformativo della muratura, quando si supponga che la deformabilità della malta sia considerevolmente maggiore di quella dei mattoni.

Tale meccanismo deformativo suggerisce una opportuna scrittura dell'equazione di equilibrio alla rotazione del mattone, pervenendo ai diversi valori di compressione normale massima e minima nei letti di malta. Con tali presupposti e facendo coincidere l'asse y con la direzione normale ai letti di malta, ai tre meccanismi sopracitati è possibile associare le tre seguenti condizioni di rottura.

Caso a)

$$\tau_j = \bar{c} + \bar{\mu}\sigma_j \text{ con:}$$

$$\bar{c} = c \frac{1}{1 + \mu \frac{2\Delta_y}{\Delta_x}} \qquad \bar{\mu} = \mu \frac{1}{1 + \mu \frac{2\Delta_y}{\Delta_x}}$$

dove Δ_x e Δ_y sono rispettivamente le dimensioni dei mattoni in direzione orizzontale e in direzione verticale.

Caso b)

$$\tau = \frac{f_{bt}}{2.3} \sqrt{1 + \frac{\sigma_y}{f_{bt}}}$$

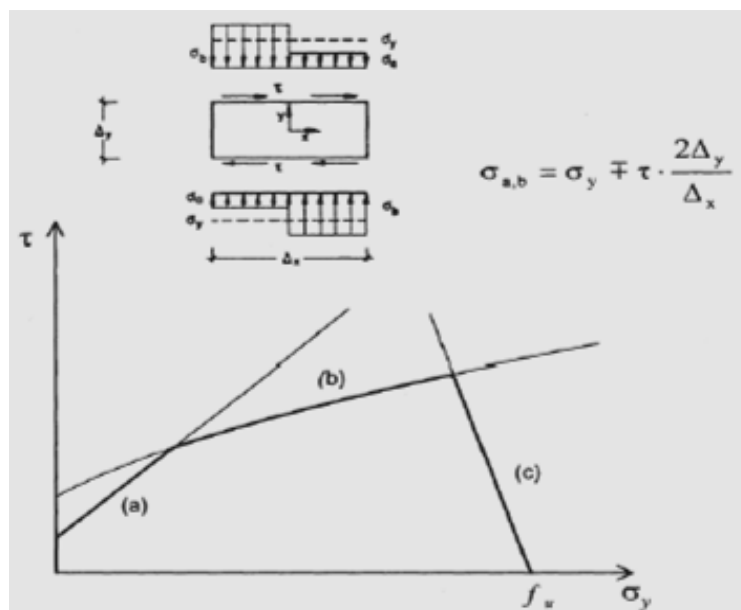
dove f_{bt} è la resistenza a trazione del laterizio.

Caso c)

$$\tau = (f_u - \sigma_y) \frac{\Delta_x}{2\Delta_y}$$

I tre criteri sono stati ottenuti supponendo che i giunti di testa siano inefficaci, in quanto spesso nelle muratura reali il riempimento dei giunti di testa non è completo e il grado di compattazione della malta è inferiore a quello dei letti orizzontali.

Il dominio di rottura viene quindi ad assumere la forma di figura:



4.4 Deformazioni differite nel tempo

La muratura presenta apprezzabili deformazioni differite nel tempo. Sia le deformazioni differite indipendenti dallo stato tensionale (ritiro) che quelle dipendenti dallo stato tensionale (creep) hanno una grande variabilità in funzione del materiale di cui sono costituiti i mattoni o i blocchi. Se si considerano le deformazioni da ritiro, anche all'interno della stessa classe generica di materiale è possibile avere valori di ritiro o espansione a seconda del materiale specifico. Analoghe considerazioni possono farsi per le deformazioni da creep. In tabella si riportano a titolo indicativo gli intervalli di valori possibili per alcuni tipi di muratura:

Tipologia dell'elemento murario	Coefficiente di deformazione viscosa finale (1)	Deformazione finale da ritiro [$\times 10^{-3}$] (2)	Coefficiente di dilatazione termica [$10^{-6} / ^\circ\text{C}$]
Laterizio	0,5÷1,5	-0,2÷1,0	4÷8
Calcestruzzo normale e pietra squadrata	1,0÷2,0	-0,6÷-0,1	6÷12
Calcestruzzo alleggerito	1,0÷3,0	-1,0÷-0,2	8÷12
Pietra naturale	trascurabile	-0,4÷+0,7	3÷12

(1) A tempo infinito

(2) A tempo infinito; un valore negativo indica un accorciamento

5. MECCANISMI DI COLLASSO

I meccanismi di danno osservati negli edifici possono essere sostanzialmente ricondotti a due categorie, a seconda della risposta delle pareti e dell'organismo funzionale:

- *meccanismi di primo modo;*
- *meccanismi di secondo modo.*

Per meccanismi di primo modo si intendono i cinematismi di collasso connessi al comportamento delle pareti in muratura fuori dal proprio piano, con comportamento flessionale e di ribaltamento.

I meccanismi di secondo modo riguardano invece la risposta delle pareti nel proprio piano, con danneggiamenti tipicamente per taglio e flessione.

L'attivazione di tali modalità di collasso è strettamente dipendente dal comportamento globale dell'edificio, che a sua volta è funzione delle caratteristiche tipologiche e tecnologiche. Come si è già detto, il comportamento globale della struttura all'azione sismica è fortemente influenzato, ancor prima che dalle caratteristiche intrinseche dei singoli elementi strutturali, dal grado di connessione presente fra essi. Carenze nel collegamento tra pareti ortogonali e tra pareti e orizzontamenti fanno sì che la struttura non sia in grado di sviluppare, durante il terremoto, una risposta globale che chiami a collaborare fra loro le diverse pareti e a ripartire tra esse le sollecitazioni indotte: le singole pareti mostreranno, quindi, una risposta indipendente. In questo caso la risposta che la parete tende a esibire è dominata dal comportamento fuori piano.

5.1 Meccanismi di collasso fuori dal piano (primo modo)

I meccanismi di collasso fuori dal piano più frequentemente riscontrati negli edifici in muratura possono essere riassunti nei seguenti cinematismi:

- *meccanismi di ribaltamento semplice;*
- *meccanismi di flessione verticale;*
- *meccanismi di flessione orizzontale;*
- *meccanismi di ribaltamento composto.*

Per ognuno di tali raggruppamenti si illustreranno le caratteristiche e le modalità di collasso. L'ambito di applicazione ed i requisiti che si devono verificare negli edifici affinché il meccanismo si possa manifestare.

5.1.1 Meccanismi di ribaltamento semplice

Il ribaltamento semplice di pareti esterne degli edifici dovute all'azione del sisma rappresenta una situazione di danno tra le più frequenti e pericolose.

Tale situazione si verifica quando il muro investito dall'azione sismica risulta libero in sommità e non ammorsato alle pareti a esso ortogonali. Anche se queste ultime hanno una qualità insoddisfacente, il collasso si manifesta per primo nella parete normale all'azione sismica. Le condizioni di vincolo che rendono possibile questo meccanismo sono quindi l'assenza di connessioni nel martello murario e assenza di dispositivi di collegamento, come cordoli e catene, in testa alla tesa ribaltante.

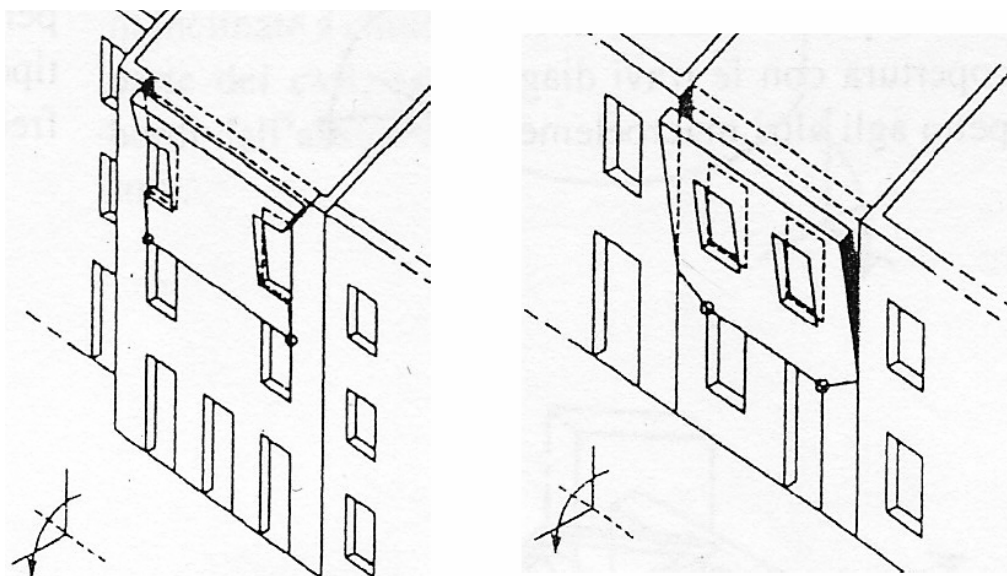


Fig. 5.1 Meccanismo di ribaltamento semplice.

Se l'edificio ha subito l'azione di un sisma questo tipo di meccanismo è facilmente individuabile da lesioni verticali presenti in corrispondenza dell'incrocio tra la tesa ribaltante e le pareti ad essa ortogonali, oppure dall'avvenuto sfilamento di travi dall'incastro del muro o fuori piombo della parete ribaltante.



Fig. 5.2 Casi di ribaltamenti semplici.

Il ribaltamento semplice si può sviluppare in varie maniere, seguendo geometrie diverse, dettate anche dalla disposizione delle porte e delle finestre. Può interessare uno solo o più piani dell'edificio, relativamente alla modalità di connessione tra i solai e le murature ai vari livelli della struttura.

Momento stabilizzante:

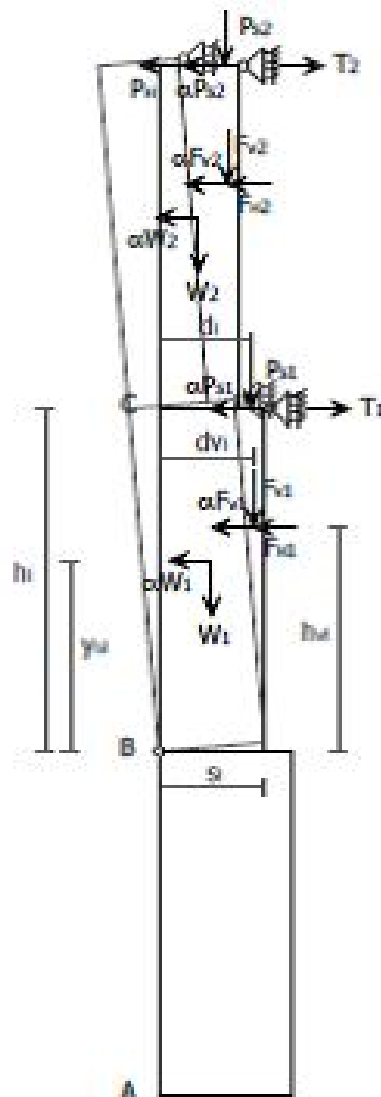
$$M_S = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{s_i}{2} + \sum_{i=1}^n F_{vi} \cdot d_{vi} + \sum_{i=1}^n P_{Si} \cdot d_i + \sum_{i=1}^n T_i \cdot h_i$$

Momento ribaltante:

$$M_R = \alpha \cdot \left[\sum_{i=1}^n W_i \cdot y_{ci} + \sum_{i=1}^n F_{vi} \cdot h_{vi} + \sum_{i=1}^n P_{Si} \cdot h_i \right] + \sum_{i=1}^n F_{Mi} \cdot h_{vi} + P_{Mi} \cdot h_i$$

Moltiplicatore di collasso:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{s_i}{2} + \sum_{i=1}^n F_{vi} \cdot d_{vi} + \sum_{i=1}^n P_{Si} \cdot d_i + \sum_{i=1}^n T_i \cdot h_i - \sum_{i=1}^n F_{Mi} \cdot h_{vi} - P_{Mi} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot y_{ci} + \sum_{i=1}^n F_{vi} \cdot h_{vi} + \sum_{i=1}^n P_{Si} \cdot h_i}$$



Ribaltamento semplice di parete monolitica – parte alta.

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di porzioni sommitali di facciate rispetto ad assi in prevalenza orizzontali alla base di esse e che percorrono la struttura muraria sollecitata da azioni fuori dal piano. È il caso particolare in cui il ribaltamento interessa soltanto l'ultimo livello dell'edificio oppure porzioni di parete sottostanti la copertura.

Momento stabilizzante:

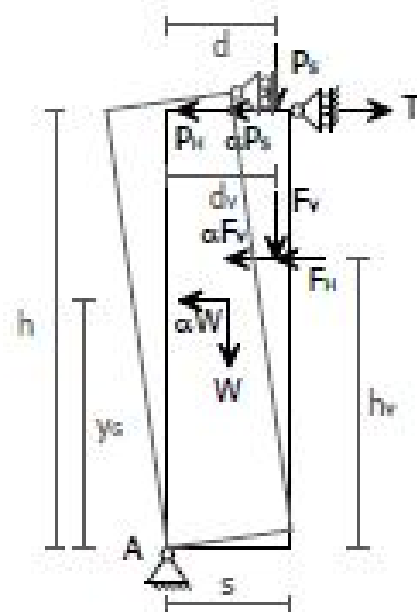
$$M_{S(A)} = W \cdot \frac{s}{2} + F_V \cdot d_v + P_S \cdot d + T \cdot h$$

Momento ribaltante:

$$M_{R(A)} = \alpha \cdot [W \cdot y_G + F_V \cdot h_v + P_S \cdot h] + F_H \cdot h_v + P_H \cdot h$$

Moltiplicatore di collasso:

$$\alpha = \frac{W \cdot \frac{s}{2} + F_V \cdot d_v + P_S \cdot d + T \cdot h - F_H \cdot h_v - P_H \cdot h}{W \cdot y_G + F_V \cdot h_v + P_S \cdot h}$$



5.1.2 Meccanismi di flessione verticale

Una situazione piuttosto comune negli edifici in muratura è rappresentata da una tesa muraria vincolata agli estremi e libera nella zona centrale. È questo il caso, ad esempio, di un edificio con un cordolo in sommità e i solai intermedi privi di qualsiasi connessione; una situazione di questo tipo si presenta anche quando si considera la porzione di parete compresa tra due solai ben collegati a essa. Quindi la flessione verticale si verifica quando la parete è ben ammorsata agli estremi, poco ammorsata ai lati e libera nella parte centrale.

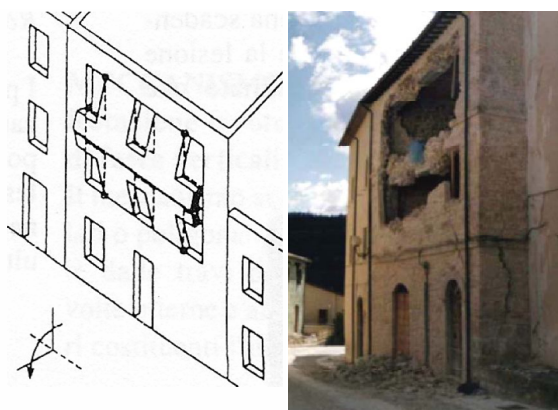


Fig. 5.3 Meccanismi di flessione verticale.

In un edificio già danneggiato dal terremoto il meccanismo è segnalato da un fuori piombo della parete, talvolta accompagnato dallo sfilamento delle travi del solaio che insiste sulla parete.

Equazione dei lavori virtuali:

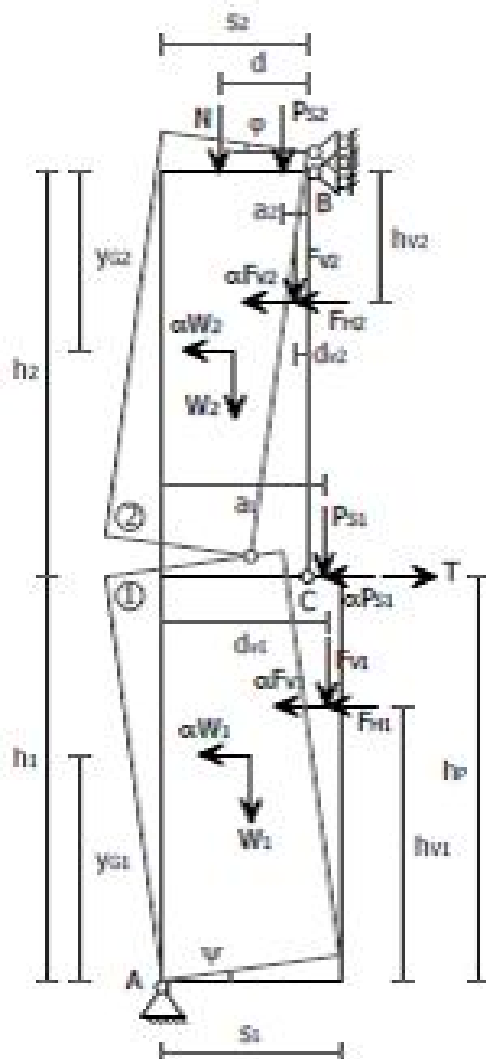
$$\alpha \cdot [W_1 \delta_{1x} + W_2 \delta_{2x} + F_{V1} \delta_{V1x} + F_{V2} \delta_{V2x} + P_{S1} \delta_{P1x}] + F_{M1} \delta_{V1x} + F_{M2} \delta_{V2x} = \\ - W_1 \delta_{1y} + W_2 \delta_{2y} + F_{V1} \delta_{V1y} + F_{V2} \delta_{V2y} + N \delta_{Ny} + P_{S1} \delta_{P1y} + P_{S2} \delta_{P2y} + T \delta_{T1x}$$

Moltiplicatore di collasso:

$$\alpha = \frac{E}{W_1 N_{O1} + F_{V1} h_{V1} + P_{S1} h_p + (W_2 N_{O2} + F_{V2} h_{V2}) \frac{h_1}{h_2}}$$

Il termine E indica la seguente espressione:

$$E = \frac{W_1}{2} s_1 + F_{V1} d_{V1} + (W_2 + P_{S2} + N + F_{V2}) s_2 + \\ + \frac{h_1}{h_2} \left(\frac{W_2}{2} s_2 + P_{S2} a_2 + N d + F_{V2} d_{V2} - F_{M2} h_{V2} \right) + P_{S1} a_1 - F_{M1} h_{V1} + T h_p$$



Flessione verticale di parete monolitica a più piani

Il meccanismo si manifesta con formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete compresa tra due solai efficacemente connessi alla muratura in due blocchi ed è descritto dalla rotazione reciproca degli stessi attorno a tale asse per azioni fuori dal piano. È il caso particolare in cui la tesa muraria è individuata da tre livelli dell'edificio con due impalcati intermedi non collegati alla muratura ed è frequente negli edifici che presentano solai appoggiati ed un cordolo in copertura.

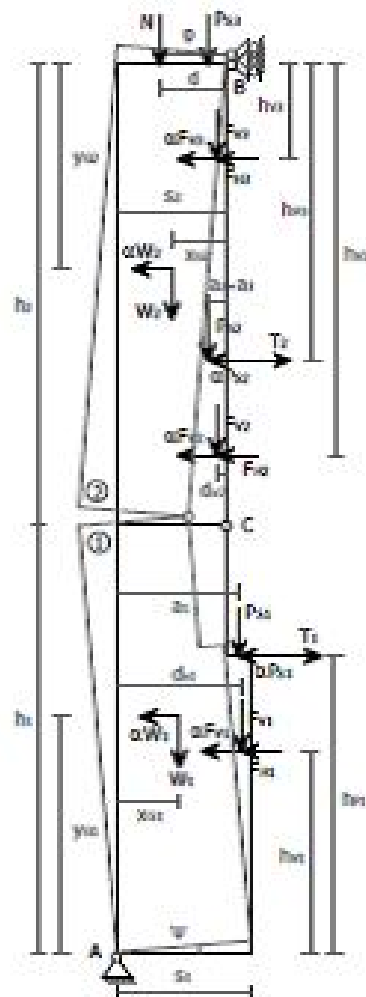
Equazione dei lavori virtuali:

$$\begin{aligned} \alpha \cdot [& W_1 \cdot \delta_{v1x} + W_2 \cdot \delta_{v2x} + F_{v1} \cdot \delta_{v1x} + F_{v2} \cdot \delta_{v2x} + F_{v3} \cdot \delta_{v3x} + \\ & + P_{s1} \cdot \delta_{p1x} + P_{s2} \cdot \delta_{p2x}] + F_{H1} \cdot \delta_{v1x} + F_{H2} \cdot \delta_{v2x} + F_{H3} \cdot \delta_{v3x} + \\ & - W_1 \cdot \delta_{v1y} - W_2 \cdot \delta_{v2y} - F_{v1} \cdot \delta_{v1y} - F_{v2} \cdot \delta_{v2y} - F_{v3} \cdot \delta_{v3y} - N \cdot \delta_{vy} + \\ & - P_{s1} \cdot \delta_{p1y} - P_{s2} \cdot \delta_{p2y} - P_{s3} \cdot \delta_{p3y} - I_1 \cdot \delta_{v1x} - I_2 \cdot \delta_{v2x} = 0 \end{aligned}$$

Moltiplicatore di collasso:

$$\alpha = \frac{E}{W_1 x_{G1} + F_{v1} h_{v1} + P_{s1} h_{p1} + (W_2 x_{G2} + F_{v2} h_{v2} + F_{v3} h_{v3} + P_{s2} h_{p2}) \frac{h_2}{h_1}}$$

$$\begin{aligned} E = & W_1 x_{G1} + W_2 (x_2 + x_{G2} \frac{h_1}{h_2}) + \\ & + F_{v1} d_{v1} + (F_{v2} + F_{v3}) x_2 + \\ & + F_{v2} \frac{h_2}{h_1} d_{v2} + F_{v3} \frac{h_1}{h_2} d_{v3} + \\ & + P_{s1} a_1 + (P_{s2} + P_{s3}) (x_2 + a_2 \frac{h_1}{h_2}) + \\ & + N (x_2 + d \frac{h_1}{h_2}) + I_1 h_{v1} - F_{H1} h_{v1} + \\ & - (F_{H2} h_{v2} + F_{H3} h_{v3} - I_2 h_{v2}) \frac{h_1}{h_2} \end{aligned}$$



5.1.3 Meccanismi di flessione orizzontale

Il meccanismo di flessione si manifesta sulle pareti ed interessa la zona alta della parete. La flessione orizzontale si verifica quando la parete è libera in sommità e ben ammorsata alle pareti laterali. Il cinematismo è innescato da una spinta orizzontale ortogonale alla parete risultante dalla spinta del tetto o di un solaio. Per comprendere l'attivazione del meccanismo si immagina la formazione di un arco ideale resistente orizzontale a tre cerniere nello spessore della parete, una in mezzzeria e le altre due in prossimità delle pareti laterali. L'arco ideale orizzontale resiste alla forza orizzontale fino a quando la muratura cede per schiacciamento. Si ha una rotazione fuori dal piano della parete con la formazione di fessure paraboliche.

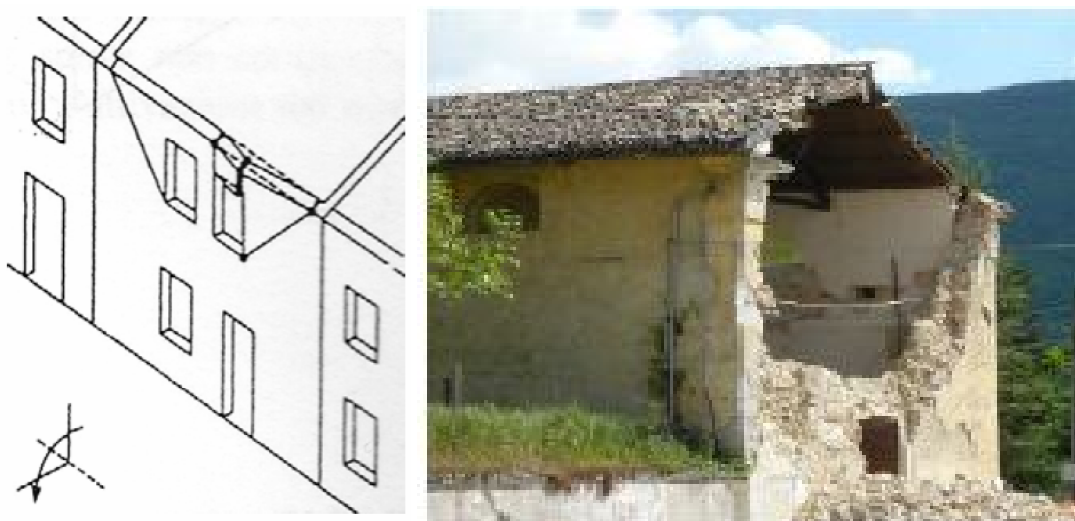


Fig. 5.4 Meccanismi di flessione ortogonale.

La situazione descritta è tipica delle pareti trattenute da tiranti ed è favorita dalle spinte in testa al muro (dovute alla presenza di una copertura spingente o all'azione di martellamento degli elementi di grossa orditura del tetto) e da una ridotta resistenza a trazione della muratura (che comporta rischi di espulsione del materiale). Anche la presenza di canne fumarie ricavate nello spessore della parete o di aperture per l'alloggio degli impianti tecnologici, riducendo la sezione resistente della struttura muraria, costituiscono situazioni preferenziali per l'innescio del cinematismo.

Un particolare meccanismo di flessione orizzontale è rappresentato dallo sfondamento della parete del timpano. Il meccanismo in questione è associato all'assenza di collegamenti adeguati tra la struttura muraria del timpano e la copertura che poggia su essa; è provocato dall'azione cilindrica di martellamento della trave di colmo.

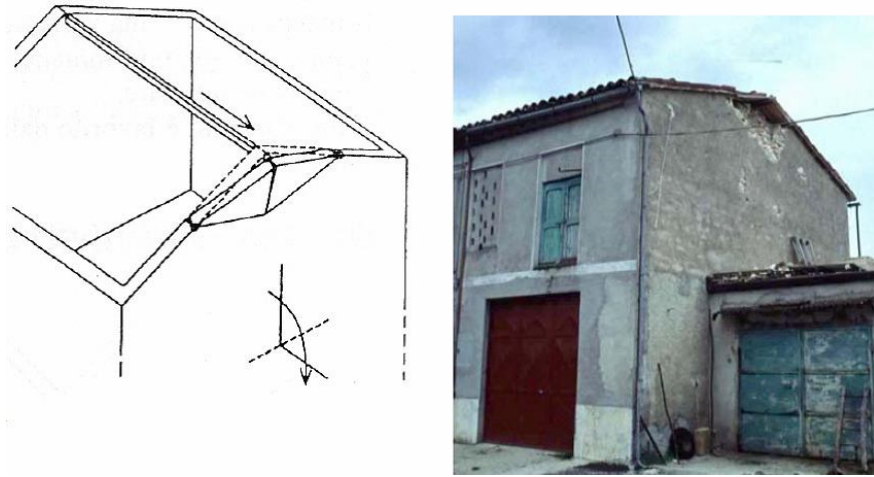


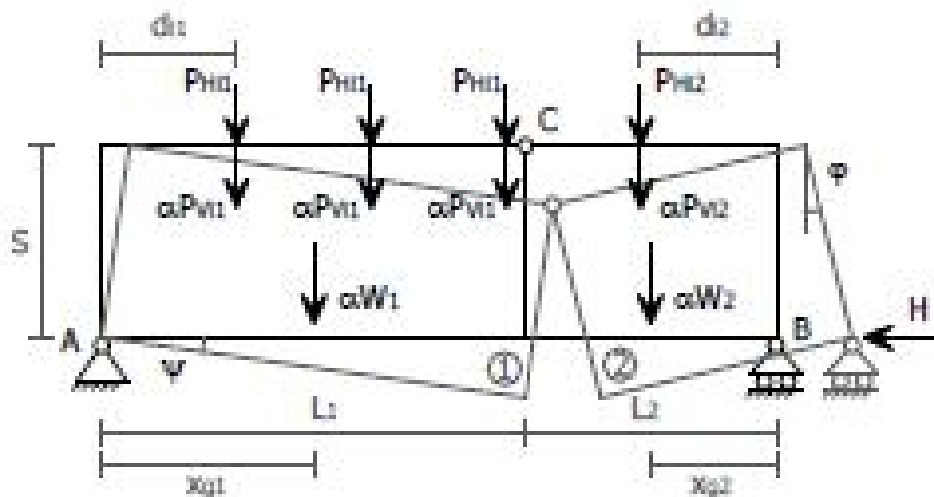
Fig. 5.5 Meccanismo di flessione orizzontale: sfondamento della parete del timpano.

Equazione dei lavori virtuali:

$$\alpha \cdot \left[W_1 \delta_{1y} + W_2 \delta_{2y} + \sum_i P_{1i1} \delta_{r1iy} + \sum_i P_{1i2} \delta_{r1izy} \right] + \sum_i P_{2i1} \delta_{r2iy} + \sum_i P_{2i2} \delta_{r2izy} - H \delta_{1m} = 0$$

Moltiplicatore di collasso:

$$\alpha = \frac{H \cdot s \left(1 + \frac{L_1}{L_2} \right) - \sum_i P_{2i1} d_{2i} - \sum_i P_{2i2} \frac{L_1}{L_2} d_{12}}{W_1 x_{c11} + W_2 \frac{L_1}{L_2} x_{c22} + \sum_i P_{1i1} d_{1i} + \sum_i P_{1i2} \frac{L_1}{L_2} d_{12}}$$



5.1.4 Meccanismi di ribaltamento composto

Per ribaltamento composto si indica un insieme di situazioni in cui al ribaltamento della parete ortogonale all'azione sismica si accompagna il trascinamento di una porzione di struttura muraria appartenente ad un'angolatura libera oppure a pareti di spina. Affinché si possa prevedere un meccanismo di ribaltamento composto in un edificio integro, devono esserci condizioni caratterizzate dall'assenza di vincoli in sommità della parete ribaltante e dalla presenza di un efficace collegamento tra la parete investita dal sisma e quella a essa ortogonale.

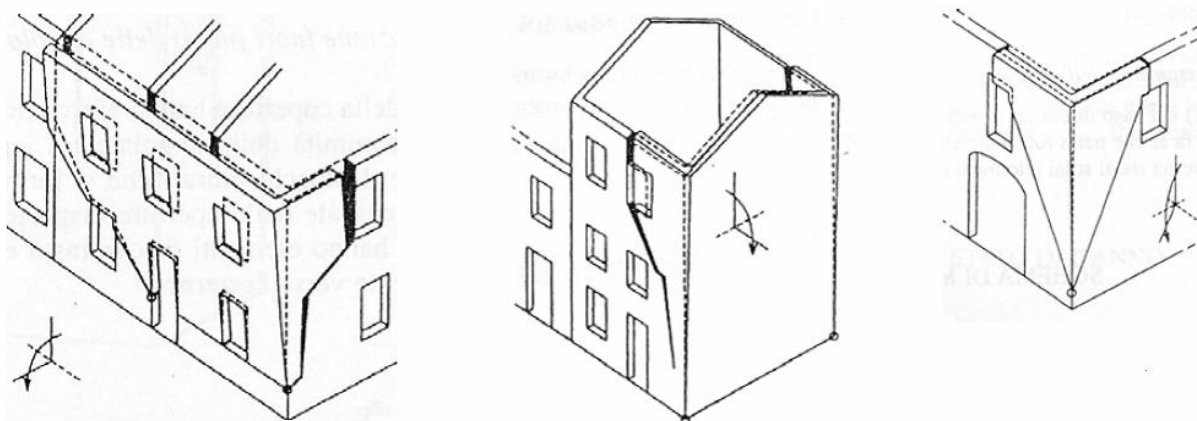


Fig. 5.6 Meccanismi di ribaltamento composto.

Il meccanismo di ribaltamento composto si presenta con lesioni diagonali o a doppia diagonale sulle pareti di spina con angolo di distacco differente a seconda della tipologia e della qualità muraria caratterizzante l'edificio stesso.



Fig. 5.7 Esempi di flessione orizzontale.

In effetti tale meccanismo, che rappresenta una variante del ribaltamento semplice, è fortemente influenzato anche dal tipo di muratura e dalla presenza di aperture nelle pareti di controvento, da cui dipendono in particolare le dimensioni e la configurazione del cuneo di distacco. Infatti in presenza di

aperture in prossimità dell'intersezione tra i muri la forma e le dimensioni del cuneo di distacco sono determinate da queste.

Momento stabilizzante:

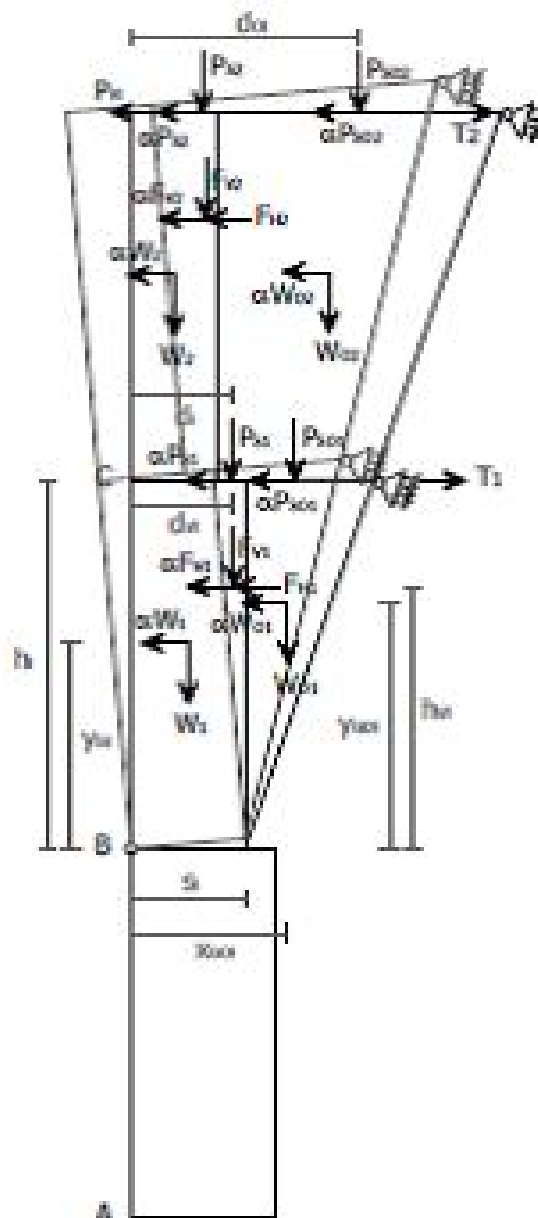
$$M_s = \sum_i W_i \frac{s_i}{2} + \sum_i F_{Vi} d_{Vi} + \sum_i W_{oi} x_{oai} + \sum_i P_{si} d_i + \sum_i P_{sai} d_{oi} + \sum_i T_i h_i$$

Momento ribaltante:

$$M_R = \alpha \left[\sum_i W_i y_{oi} + \sum_i W_{oi} y_{oai} + \sum_i F_{Vi} h_{Vi} + \sum_i P_{si} h_i + \sum_i P_{sai} h_i \right] + \sum_i F_{Mi} h_{Vi} + P_{si} h$$

Moltiplicatore di collasso:

$$\alpha = \frac{\sum_i W_i \frac{s_i}{2} + \sum_i F_{Vi} d_{Vi} + \sum_i W_{oi} x_{oai} + \sum_i P_{si} d_i + \sum_i P_{sai} d_{oi} + \sum_i T_i h_i - \sum_i F_{Mi} h_{Vi} - P_{si} h}{\sum_i W_i y_{oi} + \sum_i W_{oi} y_{oai} + \sum_i F_{Vi} h_{Vi} + \sum_i P_{si} h_i + \sum_i P_{sai} h_i}$$



Ribaltamento composto di cuneo diagonale – parte alta.

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di porzioni sommitali di facciate rispetto ad assi in prevalenza orizzontali accompagnata dal trascinamento di parti delle strutture murarie appartenenti alle pareti di controvento. In questo caso il ribaltamento interessa soltanto l'ultimo livello dell'edificio oppure porzioni di parete sottostanti la copertura.

Momento stabilizzante:

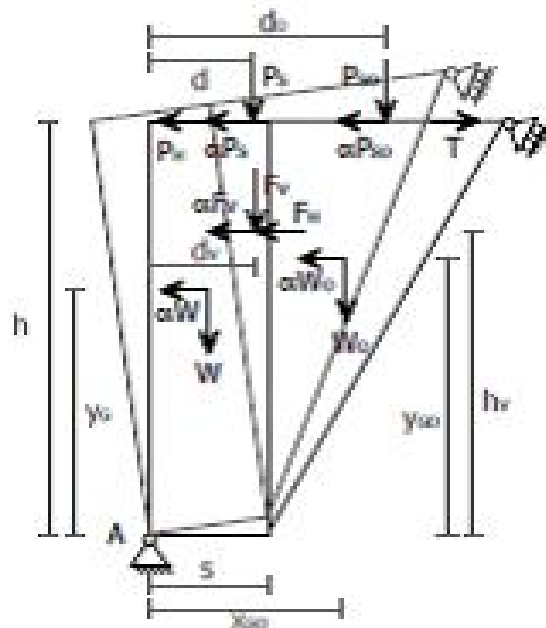
$$M_{S(A)} = W \frac{s}{2} + F_V d_V + W_O x_{OO} + P_S d + P_{SO} d_O + T h$$

Momento ribaltante:

$$M_{R(A)} = \alpha [W y_O + W_O y_{OO} + F_V h_V + P_S h + P_{SO} h] + F_H h_V + P_H h$$

Moltiplicatore di collasso:

$$\alpha = \frac{W \frac{s}{2} + F_V d_V + W_O x_{OO} + P_S d + P_{SO} d_O + T h - F_H h_V - P_H h}{W y_O + W_O y_{OO} + F_V h_V + P_S h + P_{SO} h}$$



Ribaltamento composto di cuneo a doppia diagonale.

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di intere facciate o porzioni di pareti rispetto ad assi in prevalenza orizzontali accompagnata dal trascinamento di parti delle strutture murarie appartenenti alle pareti di controvento. La configurazione del macroelemento è in questo caso definita dal distacco, nelle pareti di controvento, di un cuneo a doppia diagonale. Questa condizione è legata generalmente alla presenza di solai rigidi, solitamente realizzati in laterocemento o

comunque dotati di una soletta armata o di cordoli in c.a., non efficacemente ancorati alla muratura sottostante. Questi, pur non rappresentando un vincolo al ribaltamento, contrastano l'innalzamento della parte superiore di muratura di controvento.

Momento stabilizzante:

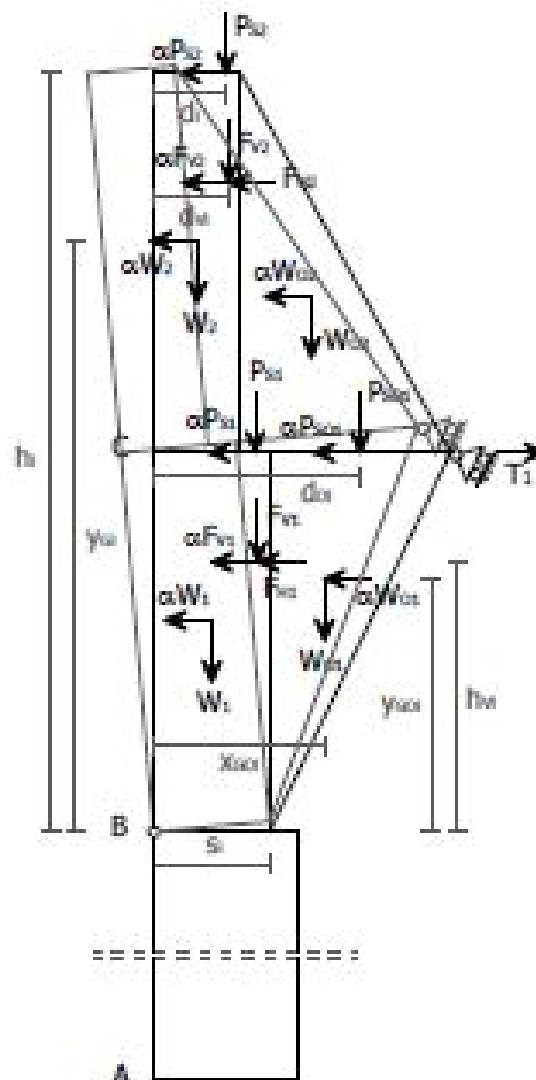
$$M_s = \sum_i W_i \frac{h_i}{2} + \sum_i F_{ni} d_{ni} + \sum_i W_{oc} x_{oc} + \sum_i P_{si} d_i + \sum_i P_{sc} d_{oc} + \sum_i T_i h_i$$

Momento ribaltante:

$$M_R = \alpha \left[\sum_i W_{oc} y_{oc} + \sum_i W_{oc} y_{oc} + \sum_i F_{ni} h_{ni} + \sum_i P_{si} h_i + \sum_i P_{sc} h_i \right] + \sum_i F_{mi} h_{ni}$$

Moltiplicatore di collasso:

$$\alpha = \frac{\sum_i W_i \frac{h_i}{2} + \sum_i F_{ni} d_{ni} + \sum_i W_{oc} x_{oc} + \sum_i P_{si} d_i + \sum_i P_{sc} d_{oc} + \sum_i T_i h_i - \sum_i F_{mi} h_{ni}}{\sum_i W_{oc} y_{oc} + \sum_i W_{oc} y_{oc} + \sum_i F_{ni} h_{ni} + \sum_i P_{si} h_i + \sum_i P_{sc} h_i}$$



Ribaltamento del cantonale.

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di un cuneo di distacco, delimitato da superfici di frattura ad andamento diagonale nelle pareti concorrenti nelle angolate libere, rispetto a una cerniera posta alla base dello stesso.

Meccanismi di questo tipo sono frequenti in edifici che presentano spinte concentrate in testa ai cantonali dovute in particolar modo ai carichi trasmessi dai puntoni dei tetti a padiglione. Si suppone che il ribaltamento avvenga nella direzione di spinta del puntone e che il cinematismo sia definito dalla rotazione del macroelemento individuato intorno a un asse perpendicolare al piano verticale che forma un angolo di 45° con le pareti convergenti nell'angolata e passante per la cerniera suddetta (A).

Momento stabilizzante:

$$M_{S(A)} = W x_0 + F_r d_r + P d_r + P_{r1} d_1 + P_{r2} d_2 + (T'_1 + T'_2) h$$

Momento ribaltante:

$$M_{R(A)} = \alpha [W y_0 + F_r h_r + (P + P_{r1} + P_{r2}) h] + F'_{r1} h_r + (P'_{r1} + P'_{r2}) h$$

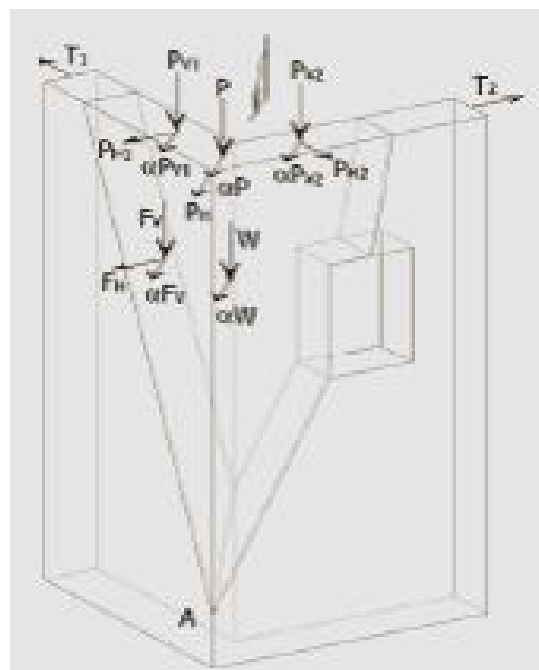
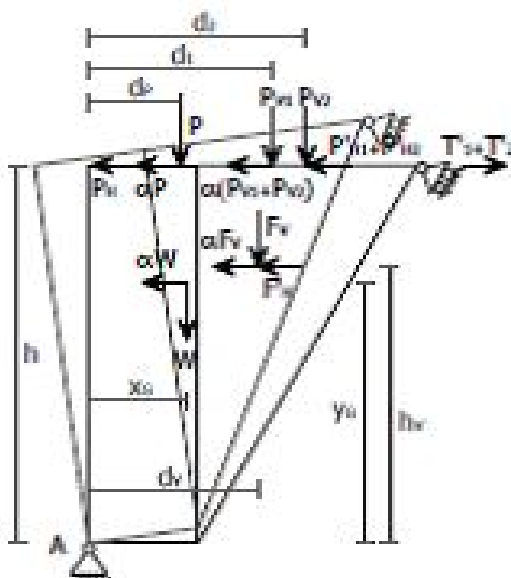
Moltiplicatore di collasso:

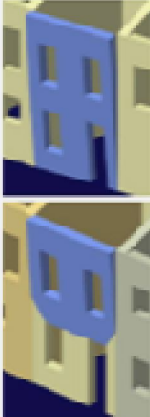
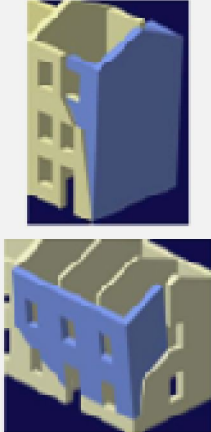
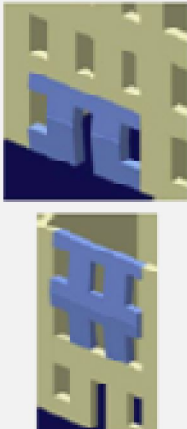
$$\alpha = \frac{E}{W y_0 + F_r h_r + (P + P_{r1} + P_{r2}) h}$$

Il termine E indica la seguente espressione:

$$E = W x_0 + F_r d_r + P d_r + P_{r1} d_1 + P_{r2} d_2 + (T'_1 + T'_2) h + F'_{r1} h_r + (P'_{r1} + P'_{r2}) h$$

Le grandezze contraddistinte dall'apice rappresentano le proiezioni nella direzione del ribaltamento delle rispettive componenti di azioni considerate. Il braccio orizzontale dx del generico carico verticale Fx applicato, rispetto alla cerniera in A, può essere valutato secondo la relazione: $d_x = D + 2 \sqrt{2}(d - a)$



MECCANISMO DI COLLASSO	VINCOLI	CARENZE	LESIONI	VARIANTI
RIBALTAMENTO SEMPLICE 	<p>1) assenza di vincoli in sommità; 2) assenza di collegamento alle pareti ortogonali.</p>	<p>1) assenza di cordoli o catene ai piani; 2) orizzontamenti deformabili e/o mal collegati; 3) intersezioni murarie di cattiva qualità; 4) presenza di spinte non contrastate sulla parete; 5) muratura a sacco o paramenti mal collegati.</p>	<p>1) lesioni verticali in corrispondenza delle intersezioni murarie; 2) fuori piombo della parete ribaltante; 3) sfilamento delle travi degli orizzontamenti.</p>	<p>1) può coinvolgere uno o più livelli della parete; 2) può coinvolgere l'intero spessore del muro o il solo paramento estremo; 3) può manifestarsi con diverse geometrie dipendenti dalle discontinuità e dalle aperture.</p>
RIBALTAMENTO COMPOSTO 	<p>1) assenza di vincoli in sommità; 2) efficace connessione con le murature ortogonali.</p>	<p>1) assenza di cordoli o catene ai piani; 2) orizzontamenti deformabili e/o mal collegati; 3) presenza di spinte non contrastate sulla parete; 4) bucaure localizzate in prossimità delle intersezioni murarie; 5) muratura con ridotte proprietà meccaniche.</p>	<p>1) lesioni diagonali sulle pareti di controvento; 2) fuori piombo della parete ribaltante; 3) sfilamento delle travi degli orizzontamenti.</p>	<p>1) può coinvolgere uno o più livelli della parete; 2) può manifestarsi con diverse geometrie dipendenti dalla qualità della muratura della parete di controvento, dalla presenza di aperture, dalla tipologia degli orizzontamenti.</p>
FLESSIONE VERTICALE 	<p>1) trattenimento efficace in testa alla parete; 2) carenza di collegamento alle pareti ortogonali.</p>	<p>1) snellezza eccessiva delle pareti; 2) muratura a sacco o paramenti mal collegati; 3) spinte orizzontali localizzate (archi, volte); 4) orizzontamenti interne di mal collegati.</p>	<p>1) sganciamenti e fuori piombo della parete; 2) lesioni orizzontali e verticali; 3) sfilamento delle travi degli orizzontamenti.</p>	<p>1) può coinvolgere uno o più livelli della parete; 2) può coinvolgere l'intero spessore del muro o il solo paramento estremo; 3) può manifestarsi con diverse geometrie dipendenti dalle discontinuità e dalle aperture.</p>

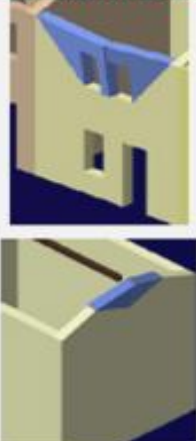
<p>FLESSIONE ORIZZONTALE</p> 	<p>1) assenza di vincoli in sommità; 2) efficace collegamento alle pareti ortogonali.</p>	<p>1) solaio di copertura mal collegato alla muratura; 2) presenza di coperture spingenti; 3) presenza di aperture ricavate nello spessore murario (nicchie, canne fumarie ecc.) 4) paramenti mal collegati; 5) muri di spina distanti.</p>	<p>1) lesioni verticali ed oblique sulla faccia esterna ed interna della parete e rigonfiamenti; 2) sfilamento delle travi del tetto.</p>	<p>1) può coinvolgere l'intero spessore del muro o il solo paramento esterno 2) può manifestarsi con diverse geometrie dipendenti dalle discontinuità e dalle aperture 3) può avvenire per instabilità orizzontale legata all'allontanamento delle pareti di controvento o per crisi del materiale.</p>
---	---	---	---	---

Tabella 5.1 Riassunto dei meccanismi di collasso.

5.2 Meccanismi di collasso nel piano (secondo modo)

I danneggiamenti che riguardano i meccanismi di collasso del secondo modo sono tipicamente quelli per taglio.

Il taglio si manifesta sulle pareti esterne e può interessare tutta la parete o una porzione di essa. Rappresenta una tipologia di danno ricorrente quando nel paramento murario sono presenti discontinuità (aperture) o debolezze della fascia di piano. Le fessurazioni a croce di S. Andrea sono innescate da azioni sismiche orizzontali in direzione parallela della parete.



Fig. 5.8 Meccanismi di taglio.

6. FASI DI CONOSCENZA

“La conoscenza della costruzione oggetto della verifica è di fondamentale importanza ai fini di una adeguata analisi, e può essere conseguita con diversi livelli di approfondimento, in funzione dell’accuratezza delle operazioni di rilievo, dell’analisi storica e delle indagini sperimentali.”

La presente citazione è stata ripresa della Nuova Norma Tecnica e ci ricorda che per effettuare una corretta analisi di un edificio esistente è indispensabile raccogliere tutte le informazioni inerenti tale struttura.

La normativa divide la fase di conoscenza in vari punti:

- analisi storico-critica;
- rilievo geometrico;
- dettagli costruttivi;
- caratterizzazione meccanica dei materiali.

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato, in questo senso acquista notevole importanza una dettagliata analisi storico – critica.

La normativa inoltre afferma che per eseguire un’analisi di un edificio esistente bisogna effettuare un rilievo geometrico della struttura in esame per individuare l’organismo resistente della costruzione, tenendo presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costruttivi. Sempre all’interno di tale rilievo dovranno anche essere presi in considerazione i possibili dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all’individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.

Il rilievo oltre che geometrico dovrà essere anche di tipo strutturale dove dovranno essere individuati i dettagli costruttivi dell’organismo, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. Nel rilievo sia geometrico che strutturale dovranno essere rappresentate le modifiche intervenute nel tempo, come desunte dall’analisi storico-critica.

Infine la conoscenza delle caratteristiche dei materiali costituenti la struttura presa in esame potranno essere ricavate da documentazioni disponibili, da verifiche visive in situ e da indagini sperimentali, tutto in base all’accuratezza che si vuole ottenere.

Sulla base di tutti questi approfondimenti effettuati durante la fase conoscitiva saranno individuati i livelli di conoscenza e per ognuno dei quali saranno definiti i corrispondenti fattori di confidenza, da utilizzare come coefficienti di sicurezza nella definizione delle proprietà dei materiali.

6.1 Livelli di conoscenza

Il primo obiettivo, come si è detto, che occorre perseguire quando si è chiamati ad operare sul costruito esistente è la conoscenza dell'edificio. L'importanza di questa fase preliminare di conoscenza e di diagnostica è stata recepita dalle Nuove Norme Tecniche, che affermano che essa deve essere prevista e programmata all'interno di un opportuno piano delle indagini e deve interessare:

- I. la geometria dell'edificio;
- II. i dettagli costruttivi;
- III. le proprietà dei materiali.

L'approfondimento con cui ciascuna di queste classi di indagini è prevista, deve essere deciso dal progettista in base agli obiettivi preposti, alla presumibile ampiezza e rilevanza dell'intervento e alle necessità o anomalie riscontrate durante la campagna stessa. La scelta di approfondimento determina il livello di conoscenza raggiunto, che le norme graduano in tre livelli:

- LC1;
- LC2;
- LC3.

Da essi discende la metodologia di definizione dei valori medi dei parametri meccanici associati alla materiale in esame e la quantificazione del Fattore di Confidenza. Quest'ultimo rappresenta il valore per il quale occorre dividere le resistenze medie dei materiali per tener conto del grado di incertezza associato al livello di conoscenza raggiunto (vedi tabella C8A.1.1).

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2			Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00

Tabella C8A.1.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

6.1.1 La Geometria

Per la conoscenza geometrica dell'edificio, le Norme fanno riferimento ad un unico grado di approfondimento che deve comprendere il rilievo, piano per piano, della geometria, delle tipologie costruttive presenti nelle diverse parti della struttura, dell'individuazione dei carichi gravanti su ogni elemento e del quadro fessurativo e deformativo.

L'individuazione della geometria dell'edificio può essere ricavata da:

- ✓ disegni originali;
- ✓ disegni costruttivi o esecutivi;
- ✓ rilievo visivo;
- ✓ rilievo completo.

Nel caso di struttura in cemento armato rivestono particolare importanza i disegni originali di carpenteria, grazie ai quali si può ottenere una descrizione dettagliata sulla geometria della struttura e sugli elementi strutturali, così da individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali. Importanti, sempre per un'adeguata definizione di una struttura in cemento armato, sono anche i disegni esecutivi, che contengono la descrizione delle quantità di armatura e le caratteristiche nominali dei materiali usati.

Il rilievo visivo serve a controllare la corrispondenza tra la realtà costruita e le informazioni ottenute dal materiale disponibile. Mentre il rilievo completo serve a produrre disegni completi nel caso in cui non si sia riusciti a trovare alcun materiale o materiale incompleto.

6.1.2 Dettagli costruttivi

Le indagini da svolgere per l'identificazione dei dettagli costruttivi sono classificate secondo due differenti gradi di approfondimento:

- verifiche in situ limitate;
- verifiche in situ estese ed esaustive.

Nel caso di struttura in murature entrambe prevedono rilievi di tipo visivo effettuati ricorrendo, di regola, alla rimozione dell'intonaco e a saggi nella muratura che, nel secondo caso, dovranno essere effettuati in modo sistematico nell'intero edificio. I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- a. qualità del collegamento tra pareti verticali;
- b. qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- c. esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- d. presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- e. presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- f. tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza riempimento a sacco, con o senza collegamenti trasversali ecc.), e sue caratteristiche costruttive (costruita in mattoni o in pietra, regolare o irregolare ecc..)

Nel caso di struttura in cemento armato si ha la possibilità di effettuare anche un progetto simulato, il quale, in mancanza dei disegni costruttivi o esecutivi originali, serve a definire la quantità e la

disposizione dell'armatura in tutti gli elementi con funzione strutturale. Realizzare un progetto simulato per una struttura in cemento armato significa eseguire il progetto dell'edificio in esame e quindi il dimensionamento e la verifica degli elementi, adottando le norme tecniche in vigore all'epoca della costruzione. Le fonti a cui si deve far riferimento nella redazione di un progetto si fatto sono la normativa tecnica e la manualistica consolidata dell'epoca di costruzione.

Come per le strutture in muratura anche per quelle in cemento armato le verifiche verranno effettuate in maniera sistematica sugli elementi strutturali, in base al livello di conoscenza che si vorrà ottenere. In tal senso, la normativa dà delle indicazioni ben precise, che vengono riportate in tabella C8A.1.3.

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)		
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Tabella C8A.1.3 – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

6.1.3 Le proprietà dei materiali

Le indagini per la determinazione delle proprietà dei materiali sono suddivise, in base al grado di approfondimento, in tre categorie:

- indagini in situ limitate;
- indagini in situ estese;
- indagini in situ esaustive.

Nel caso di strutture in muratura le prime due categorie prevedono esami visivi della superficie muraria che, nel caso di indagini in situ estese, devono essere realizzate in maniera sistematica (almeno una per ogni tipologia di muratura presente) con l'aggiunta di saggi superficiali e interni per ogni tipo di muratura presente, di prove con martinetto piatto doppio e di caratterizzazione della malta.

Il fine di entrambe queste categorie di indagine consiste nell'individuazione di quale sia la tipologia di muratura da considerare tra quelle proposte nella tabella C8A.2.1 contenuta nell'allegato della Circolare del 2 Febbraio 2009 e riportata in seguito. In questa tabella sono raccolti i valori di riferimento minimi e massimi dei parametri meccanici e il valore medio del peso specifico e i valori dei moduli di rigidezza sono riferiti a condizioni non fessurate. Questi dati sono riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte. Nella tabella i termini presenti si riferiscono a: f_m = resistenza media a compressione della muratura; τ_0 = resistenza media a taglio della muratura; E = valore medio del modulo di elasticità normale; G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale; w = peso specifico medio della muratura.

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w (kN/m ³)
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400	30,0	3600	1080	12
	600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300	10,0	2700	810	11
	400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12
	200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300	18,0	2400	600	14
	440	24,0	3520	880	

Tabella 1: valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura

Nel caso in cui la muratura in esame abbia caratteristiche migliori rispetto alle suddette, la normativa prevede l'introduzione di coefficienti correttivi dettati in tabella C8A.2.2 (allegato della Circolare 2/2/2009). Essi sono definiti, per ciascuna tipologia muraria, in funzione delle caratteristiche costruttive, dei materiali, e dei possibili interventi di consolidamento rilevati.

I valori sopra indicati per le murature consolidate sono da considerarsi come riferimento, nel caso in cui non sia comprovata, con opportune indagini sperimentali, la reale efficacia dell'intervento e siano quindi misurati, con adeguato numero di prove, i valori da adottarsi nel calcolo.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

Tabella 2: coefficienti correttivi dei parametri meccanici

I coefficienti correttivi così definiti sono da applicarsi ai valori riportati nella tabella della Circolare C8A2.1 secondo le modalità prescritte nell'allegato C8A. In particolare, le correzioni devono applicarsi o alle sole resistenze (per esempio, in presenza di connessione trasversale tra paramenti), o alle resistenze e alle rigidezze (per esempio, per intervento di iniezioni di malta).

Nel caso di indagini limitate o estese, dai valori di riferimento minimi o massimi dei parametri meccanici, valutati in tabella C8A.1.2 e corretti dalla tabella C8A.2.2, è possibile definire, sulla base del livello di conoscenza raggiunto, i valori medi dei parametri stessi.

Le indagini in situ esaustive richiedono, in aggiunta alle verifiche visive, ai saggi interni e alle prove precedentemente elencate, l'effettuazione di una serie di prove, che, per numero e quantità, siano tali da consentire e valutare le caratteristiche meccaniche della muratura. In questo caso la determinazione dei valori medi dei parametri meccanici si basa sia sui valori sperimentali ottenuti, sia su quanto riportato nella tabella C8A.1.2.

Per quanto riguardano le strutture in cemento armato la valutazione della proprietà dei materiali avviene sulla base di prove dirette di tipo distruttivo.

La misura delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della resistenza a snervamento e della resistenza e deformazione ultime.

Infine per tener conto del grado di incertezza associato al livello di conoscenza raggiunto, i valori medi delle resistenze dei materiali ottenuti con i metodi descritti devono essere divisi per il Fattore di Confidenza. Nel caso della muratura la riduzione non coinvolge i moduli di elasticità, in quanto tale effetto, a differenza di quanto accade per i valori di resistenza, non può, a priori, essere interpretato come cautelativo, si ha quindi:

$$f_d = \frac{f_m}{\gamma_m FC}$$

con $\gamma_m = 2$ coefficiente parziale di sicurezza per la muratura.

Per quanto riguarda la parte in cemento armato la formula per ottenere i valori delle resistenze dei materiali cambia in base all'analisi applicata e nel caso si effettuino prove sui materiali utilizzando un'analisi modale con spettro ridotto tramite il fattore q , le resistenze dei materiali devono essere ottenute dividendo i valori medi ottenuti dalle prove per il solo fattore di confidenza come illustrato nella formula seguente:

$$f_d = \frac{f_m}{FC}$$

6.2 La scansione laser

I nostri centri storici sono costantemente esposti al rischio di distruzione, sia a causa di eventi naturali sia a opera dell'uomo. L'esperienza del passato, purtroppo, non ha ancora prodotto metodologie di intervento di tipo preventivo che permettano la messa in sicurezza e salvaguardia dei beni culturali presenti nei centri storici.

A ogni evento si assiste alla distruzione, a volte definitiva, di un patrimonio unico e irripetibile, senza poter opporre un'azione di riduzione degli effetti. Eppure la tecnologia offre da tempo possibili soluzioni, a costi tutto sommato ridotti se confrontati con quelli necessari alla ricostruzione o al restauro dei centri storici. Con questo contributo si vuole affrontare solo il problema relativo alla disponibilità di dati conoscitivi che permettano di affrontare, nelle emergenze gravi come quelle create dal post-evento sismico, qualsiasi situazione dalle più semplici a quelle di maggiore complessità.

Le basi conoscitive che normalmente si utilizzano per la definizione dei progetti di restauro o ricostruzione dei manufatti architettonici sono le più eterogenee possibili: si parte dal rilievo tradizionale, per arrivare nei casi più favorevoli al rilievo fotogrammetrico con la rappresentazione vettoriale dell'organismo architettonico. Tra le due tipologie di rappresentazione l'unica differenza è costituita dalla precisione più elevata che, nel secondo caso, è possibile ottenere, ma altre informazioni come quelle relative ai materiali in opera, al loro degrado, ecc. sono totalmente assenti.

Il rilievo fotogrammetrico digitale, rappresentato dall'Ortofoto del manufatto architettonico, fornisce queste informazioni, anche se la sua utilizzazione può essere applicata solo a quei casi in cui l'oggetto da rilevare ha uno sviluppo sostanzialmente piano.

Con le Ortofoto è possibile documentare solo parzialmente il manufatto architettonico, infatti tale tecnica non permette la rappresentazione di strutture caratterizzate da una complessa articolazione spaziale. L'esecuzione del rilievo diviene sempre più complicata in presenza di un manufatto gravemente danneggiato dal terremoto, a causa del complesso quadro fessurativo che modifica profondamente sia la geometria del manufatto che quella dei rapporti spaziali delle strutture di cui è composto. L'unica tecnica capace di rispondere alla finalità di qualsiasi tipologia di rilievo, in qualsiasi condizione operativa, è quella basata sull'utilizzo della scansione laser, capace di fornire in tempi contenuti e con un'elevata precisione un modello 3D del manufatto architettonico.

Il principio su cui si fonda la misura della distanza con laser scanner è detto TOF (Time Of Flight) e in pratica calcola la distanza misurando il tempo di andata e ritorno dell'impulso laser inviato. Uno specchio prismatico esegue la scansione verticale mentre la rotazione sull'asse principale effettua la scansione orizzontale. A ogni impulso corrisponde una posizione angolare azimutale e zenitale per fornire per ogni riflessione ricevuta una tripletta di coordinate Alfa, Teta e Dist. L'invio di impulsi laser con passi angolari costanti orizzontali e verticali produce una griglia di misura regolare detta "foot print" dalla cui densità dipende la risoluzione del rilievo effettuato. All'interno del cono "foot print" viene rilevata la riflettanza media del punto per determinare la distanza dalla sorgente. Alla fine del processo l'oggetto viene descritto con una nuvola di punti, che in alcuni casi presenta vuoti di informazione causati dal raggio laser che in presenza di ostacoli lascia in ombra le superfici nascoste e che pertanto non sono rilevate.

Questa limitazione è oggi parzialmente superata dallo scanner laser Riegl VZ 4000, apparecchiatura che basa il calcolo della distanza non più sull'analisi di un segnale di tipo analogico, ma bensì sull'analisi di un'onda di tipo digitale.

Le caratteristiche descritte mostrano la maggior versatilità offerta da questa apparecchiatura, che può essere utilizzata per l'esecuzione di scansioni in movimento. Attrezzando un veicolo con una piattaforma inerziale e due scanner laser, è possibile percorrere la viabilità di un centro abitato, rilevando in prospettiva di tutti gli edifici che si affacciano su entrambi i lati della strada. Questo permetterebbe di rilevare, in tempi brevi con estrema precisione, interi centri storici. In questo modo si avrebbe a disposizione una documentazione capace di descrivere ogni singolo manufatto in modo oggettivo, utilizzabile in futuro per qualsiasi tipo di intervento, dal restauro conservativo alla parziale o addirittura totale ricostruzione dei manufatti danneggiati. Inoltre, in presenza di gravi dissesti statici, l'esecuzione di una nuova scansione laser permetterebbe, attraverso il confronto con quella eseguita in precedenza, di analizzare con precisione la loro gravità e le variazioni di geometria subite

dal manufatto. Altra caratteristica importante è la velocità di scansione che in condizioni operative a rischio, come sono quelle di un centro storico danneggiato da sisma, permette di ridurre il rischio per il personale addetto all'esecuzione della scansione.

Sarebbe pertanto auspicabile che nelle regioni ad alto rischio sismico si creino dei centri regionali di documentazione, attrezzati con laser scanner, il cui compito sia quello di rilevare almeno le cortine esterne dei centri storici oltre che agli edifici di maggiore pregio architettonico.

7. TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO

La muratura in pietra è presente in tutto il territorio nazionale e presenta, pur nella varietà dei materiali e delle tecniche impiegate, problematiche ricorrenti per quanto riguarda sia la vulnerabilità nei confronti delle azioni sismiche, sia l'applicabilità delle tecniche di rinforzo più frequentemente impiegate.

Trattasi, nella fattispecie, di murature costituite essenzialmente da elementi lapidei (blocchi non lavorati, generalmente di forma irregolare, di diverse dimensioni e anche di diverso materiale), generalmente a più paramenti accostati o mal collegati tra loro, e da malte di scarsa qualità, sia per composizione che per resistenza. Per questo tipo di murature, sovente mal collegate con gli orizzontamenti, gli effetti dovuti ad incuria, al tempo, o a eventi eccezionali, quali un sisma, possono creare condizioni di dissesto legate sia al comportamento fuori piano delle pareti - come effetto globale (ribaltamento) o locale (espulsione del paramento esterno) - che al comportamento nel piano. È noto, infatti, che nei casi di non adeguato collegamento tra le pareti contigue e tra gli elementi verticali e orizzontali, le pareti verrebbero impegnate, nell'assorbimento delle forze orizzontali, con sollecitazioni flessionali fuori del piano, che conducono al pressoché immediato collasso. L'efficace connessione tra le pareti (ammorsamento efficace) e tra pareti e solai (cordoli, catene con funzione di cordoli), unita alla presenza di orizzontamenti di rigidità adeguata consente, invece, il comportamento scatolare dell'edificio e la trasmissione delle forze orizzontali ai pannelli murari tale che ciascuno di essi possa reagire nella direzione parallela al proprio piano.

Nel contesto del recupero strutturale, il progetto di un intervento che si reputi necessario deve poter considerare, pertanto, sia il comportamento della costruzione nella sua globalità (miglioramento delle connessioni tra i muri e con gli orizzontamenti, verifica del supporto fondale) che la verifica delle prestazioni dei singoli elementi strutturali (muri, solai, coperture).

I dissesti più comunemente osservati nelle costruzioni di muratura riguardano, infatti, meccanismi globali (rotazioni di porzioni di edifici con conseguente fessurazione estesa delle pareti) e meccanismi più localizzati, che possono interessare l'elemento strutturale nel suo insieme (ribaltamento di intere pareti fuori del piano, scorrimenti rigidi degli orizzontamenti) oppure coinvolgere la resistenza del muro nei termini in cui la sezione è organizzata e in funzione della direzione della sollecitazione rispetto al piano della parete (rotture per taglio e pressoflessione, ribaltamento di porzioni della facciata o espulsione dei paramenti).

Esistono numerose tecniche d'intervento potenzialmente applicabili alle strutture murarie. Le tipologie disponibili possono classificarsi in base all'uso di materiali e tecniche tradizionali e innovativi, e rispetto al carattere "attivo" o "passivo" della tecnica, individuando per quest'ultimo la possibilità di operare senza asportazione di materiale e alterazione dell'aspetto esteriore.

Assumendo garantite le condizioni di stabilità globale dell'edificio (interventi sulle fondazioni, collegamento tra gli elementi verticali e di questi con gli orizzontamenti), gli interventi destinati alle murature sono:

- *sostruzione*: attuata mediante sostituzione di elementi degradati e conseguente ricostruzione locale, è generalmente necessaria anche in preparazione dell'applicazione di un' ulteriore tecnica;
- *iniezione*: tecnica di grande diffusione realizzata mediante immissione di miscele fluide entro fori praticati nelle murature; di complessa definizione per i numerosi parametri in gioco, può avere diverse finalità (riempimento di vuoti, cucitura delle fessure, sigillatura superficiale di parametri);
- *intonaci armati*: tecnica costituita da placcaggi mediante reti elettrosaldate spruzzate con betoncini cementizi, su uno o entrambi i lati della muratura collegati trasversalmente; anch'essa di larga diffusione, è destinata a murature fortemente degradate che non ammettono interventi alternativi di tipo passivo (iniezioni);
- *ristilatura dei giunti di malta*: consiste nella rimozione di malta degradata e sostituzione con materiali di migliori caratteristiche, ed è destinata a incrementare le caratteristiche meccaniche e di durabilità;
- *tiranti trasversali*: tecnica rivolta al rafforzamento della connessione tra i paramenti in muri a più strati mediante inserimento e ancoraggio di barre metalliche;
- *tessuti in fibrorinforzato (FRP)*: tecnica di crescente interesse e diffusione, realizzata mediante applicazione di strisce di materiali fibroso (carbonio, vetro, etc..) con collanti strutturali (resine) sui paramenti; di scarsa applicabilità a murature in pietra, per la loro irregolarità superficiale.

In generale, i requisiti richiesti agli interventi di consolidamento riguardano i seguenti aspetti:

- ❖ ripristino delle condizioni di sicurezza (affidabilità strutturale);
- ❖ miglioramento delle caratteristiche meccaniche (non sempre facilmente perseguibile, in quanto funzione del grado di danneggiamento presente);
- ❖ compatibilità meccanico – strutturale (della tecnica e dei materiali, per garantire la minima alterazione delle caratteristiche originarie), e chimico – fisica (dei materiali impiegati nel restauro, per evitare l'innescio di ulteriori cause di degrado);
- ❖ durabilità (impiego di materiali e tecnologie specifiche, oltre che compatibili);
- ❖ reversibilità (costruzioni "recuperabili" nella loro originalità) o, meglio, riparabilità (nella più attuale accezione condivisa del termine).

Il progetto di una tecnica di consolidamento passa attraverso varie fasi di studio, sintetizzabili nei seguenti punti:

- ✓ conoscenza del supporto originario, sia in relazione ai singoli costituenti (malta, pietre) che come materiale composito (tessitura, morfologia); tale fase si avvale dei metodi di indagine in sito (carotaggi, endoscopie) e delle prove di laboratorio sui materiali estratti;
- ✓ conoscenza del comportamento della struttura muraria prima e dopo l'intervento: la conoscenza della costruzione e del comportamento sotto i carichi applicati consente di mettere in luce le possibili carenze strutturali per la scelta dell'intervento più adeguato, in relazione alle prestazioni volute; in ogni caso, è importante non sottovalutare gli effetti dell'intervento sul comportamento originario della costruzione, al fine di prevedere, ove possibile, con modelli di comportamento meccanico, il funzionamento della muratura consolidata;
- ✓ scelta dell'intervento: la scelta riguarda l'impiego di materiali compatibili con il supporto murario, legati a tecniche tali da migliorare la prestazione strutturale senza alterare in maniera eccessiva il comportamento originario (si pensi, ad esempio, agli effetti dell'incremento di rigidità delle pareti in edifici soggetti a sisma);
- ✓ esecuzione della tecnica: è evidente che la bontà di un intervento dipende, oltre che da un'adeguata progettazione, in maniera fondamentale dalla sua corretta esecuzione; l'inaccuratezza nella pratica costruttiva, dovuta anche alla mancanza di direttive specifiche adeguate, può inficiare del tutto la tecnica o condurre a situazioni consolidate peggiorative dell'esistente. Le modalità esecutive correntemente impiegate sono estremamente variabili, in funzione delle tradizioni e dell'esperienza degli operatori locali, e sono operative in assenza di possibilità di controllo sulla effettiva necessità ed efficacia, pur facendo riferimento a specifiche ricavate da "regole codificate" nelle ben note "schede tecniche" predisposte in occasione della ricostruzione del Friuli;
- ✓ verifica dell'efficacia dell'intervento: la fase di controllo dell'effettivo miglioramento prestazionale della muratura per effetto dell'intervento si avvale del supporto offerto dalla sperimentazione in sito, volta a valutare la resistenza a compressione e a taglio della muratura prima e dopo il consolidamento; agendo sull'esistente e nella prospettiva del recupero, le prove sperimentali, si basano su metodologie d'indagine a carattere non distruttivo o debolmente distruttivo. La validità di tali tecniche per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità della muratura, tuttavia, va confermata con i risultati disponibili relativi a prove distruttive.

La compatibilità dei materiali di apporto, in interventi come le iniezioni o la ristilatura profonda, è parimenti fondamentale a garanzia dell'efficacia e della durabilità dell'intervento. Il degrado delle costruzioni esistenti, com'è noto, coinvolge i materiali e le strutture dal punto di vista chimico – fisico e meccanico. I diversi fenomeni di degrado hanno in comune una causa essenziale, che è data dalla

presenza dell' acqua, sia essa di risalita o ricevuta direttamente dall'aria o dalle piogge (Collepari e Coppola, 1991).

Dal punto di vista *fisico*, l'acqua, per fenomeni di soluzione e/o evaporazione può essere causa di un impoverimento delle componenti delle malte esistenti (dilavamenti dei leganti aerei) e/o essere responsabile di possibili coazioni interne (variazioni volumetriche, effetto gelo – disgelo, cristallizzazione dei sali idrosolubili ed eventuale formazione di efflorescenze superficiali).

Dal punto di vista *chimico*, la compresenza di costituenti reattivi (solfati, alcali) può attivare fenomeni espansivi e fessurativi legati alla formazione di ettringite e thaumasite, o connessi alla nota reazione alcali – aggregato (Collepari, 1991).

Gli elementi reattivi caratterizzanti i fenomeni sopra descritti sono particolarmente contenuti nei cementi (Odorizzi, 1989); le calce idrauliche naturali, per conto, sono costituite da composti più semplici (silicati monocalcici e alluminati bicalcici), da cui il minor pericolo di attivazione di fenomeni di degrado. Inoltre, le calce idrauliche naturali possiedono ulteriori e numerosi vantaggi, che ne consentono l'impiego con maggiori garanzie di compatibilità (chimica, fisica e meccanica) e durabilità (Odorizzi, 1998). L'importanza della definizione delle "calce idrauliche naturali" nei confronti degli altri prodotti inorganici denominati semplicemente "calce idrauliche" è essenziale in questo contesto, in quanto, in accordo con le nuove prescrizioni normative, solo la calce idraulica prodotta secondo i canoni della UNI ENV 459-1, ovvero ottenuta dalla cottura di calcari argillosi a temperature inferiori ai 1250°C può essere definita naturale e quindi garantire nel panorama delle calce esistenti caratteristiche idrauliche, meccaniche elasticità, basso contenuto di sali idrosolubili, assenza di reattività chimica in presenza di solfati, tali da garantire la necessaria durabilità negli interventi di consolidamento (Valluzzi, 2002).

Vengono prese in considerazione le tecniche di consolidamento maggiormente diffuse nel territorio nazionale, applicate negli interventi di ricostruzione post-sisma già a partire dagli eventi del Friuli del 1976; esse sono:

- a) iniezioni con miscele consolidanti;
- b) intonaci armati;
- c) iniezioni armate;
- d) tirantature metalliche.

Mentre le prime due tecniche sono rivolte al rinforzo della parete muraria, al fine di migliorare il suo comportamento nel piano, le iniezioni armate (con funzione di cucitura) e le tirantature (con funzione di cordolo perimetrale) consentono di rendere efficace il collegamento delle pareti resistenti, ossia di realizzare i vincoli bilaterali tra elementi contigui, in modo da garantire il comportamento scatolare dell'edificio e, quindi, lo sfruttamento ottimale delle risorse strutturali disponibili. È palese, pertanto, che il progetto di interventi di consolidamento volti al miglioramento

del comportamento a lastra delle pareti, non può prescindere dalla valutazione del comportamento globale e della misura dell'effettiva collaborazione degli elementi strutturali.

7.1 Riferimenti normativi

In tema di riparazioni per costruzioni in muratura la normativa nazionale risulta relativamente recente: a partire dagli eventi sismici che hanno colpito l'Italia nel 1976 con il terremoto del Friuli, sono state emanate una serie di norme, legate all'emergenza, che sono rimaste a tutt'oggi prive di un valido riferimento a procedure sperimentali ben collaudate e tali da garantire l'efficacia soddisfacente delle tecniche di consolidamento proposte.

Prima di allora, il **Decreto Ministeriale del 3 Marzo 1975**: "*Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*" rappresentava il primo decreto sismico disponibile sul territorio nazionale. Esso si limitava, comunque a citare le possibili tecniche di intervento, senza il minimo ulteriore approfondimento.

In termini cronologici, le norme e le raccomandazioni in materia di ricostruzione in zone sismiche sono state emanate antecedentemente alla normativa specifica sulle murature, introdotta solo nel 1987, ai fini della progettazioni di nuovi edifici. Tale normativa giungeva finalmente a coprire, anche se in maniera insufficiente per quanto riguarda gli interventi su vecchi edifici, una grave lacuna legislativa e tecnica nel campo delle costruzioni. Questo sviluppo anomalo della normativa, che ha visto la presenza di normative sismiche contenenti, quindi, già tutte le prescrizioni necessarie alla verifica delle strutture (determinazione delle sollecitazioni, indicazione degli interventi necessari al consolidamento, specifiche dei valori di resistenza richiesti, etc.), prima dell'introduzione di un regolamento specifico sulle costruzioni in muratura, è probabilmente la causa delle lacune che essa presenta.

A titolo di esempio è utile rimarcare che a tutt'oggi non viene suggerito un criterio specifico in base al quale valutare la necessità di un intervento di rinforzo; inoltre, una volta optato per l'intervento, non vengono fornite indicazioni che consentano di scegliere la tecnica più adeguata al caso di studio o criteri per la misura del consolidamento. Infine, non esistono solide basi sperimentali (né ne viene proposta o suggerita la necessità), che garantiscano l'efficacia delle tecniche proposte.

La genericità e la mancanza di chiarezza della normativa non può che contribuire fortemente, quindi, al rischio di interventi indiscriminati che, se da una parte possono alterare notevolmente le caratteristiche originali degli edifici, dall'altra possono rivelarsi insufficienti o inadeguati o addirittura deleteri per garantire la sicurezza richiesta.

Il quadro completo delle norme disponibili sul territorio nazionale sugli edifici in muratura, in relazione alle tecniche di intervento, è riportato di seguito in ordine cronologico; in esso vengono inserite le indicazioni generali per mettere in luce l'impostazione della norma, rimandando la descrizione specifica delle tecniche di consolidamento ai paragrafi specifici più avanti.

- **D.M. 3 Marzo 1975:** "Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche". Tale decreto, nella sezione C.9, relativa alla riparazione degli edifici in muratura, accenna ai seguenti possibili interventi:
 - per le *murature*: "Le murature che non presentino gravi sintomi di instabilità, quali strapiombi o estese lesioni possono essere riparate mediante opportuna ripresa con murature di mattoni e malta cementizia, getti di conglomerato cementizio, e anche con l'eventuale inserimento di elementi metallici o in cemento armato. I legamenti, oltre che con catene di acciaio, potranno effettuarsi anche con cavi posti in leggera pre-tensione e comunque non superiore al 50% della tensione ammissibile d'esercizio. In entrambi i casi dovrà essere posta all'atto esecutivo la massima cura e diligenza per conseguire un'ideale ripartizione sulla muratura delle pressioni di contatto delle strutture di ancoraggio";
 - per i *dissesti*: "Qualora i fabbricati manifestino segni di dissesto palesemente dovuti a cedimenti differenziali delle fondazioni, ovvero le murature siano danneggiate e scarsamente consistenti nella zona di basamento del fabbricato, si provvederà a risarcire le lesioni e, ove possibile, a iniettarle. Inoltre si potranno eseguire, al di sotto della quota del piano marciapiede, pareti sottili cementizie armate in modo da costituire strutture scatolari di contenimento, eventualmente rinforzate da cavi. Tali pareti, di preferenza, verranno eseguite da ambo i lati delle murature e collegate tra loro".

- Dopo il sisma del Friuli del 1976, venne emesso dalla Segreteria Generale Straordinaria della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia la **Legge Regionale 20 Giugno 1977, n.30:** "*Documentazione tecnica per la progettazione e direzione delle opere di riparazione degli edifici*" che, nel Documento Tecnico n. 2, datato Novembre 1977, si occupa delle "*Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura*". In questo documento si forniscono le indicazioni base per la comprensione del comportamento sismico degli edifici (funzionamento scatolare, importanza degli orizzontamenti nella ripartizione delle forze orizzontali, importanza del collegamento con le pareti verticali e tra le pareti stesse, distribuzione adeguata delle pareti di taglio in entrambe le direzioni delle componenti

di accelerazione considerata, controllo della distribuzione delle rigidità) e i possibili sistemi di intervento per il consolidamento, specificando le modalità degli stessi ed alcune note sulla valutazione delle caratteristiche meccaniche delle murature consolidate ottenute su base sperimentale, con particolare riferimento alle iniezioni e alle pareti armate.

I possibili sistemi di intervento vengono citati come:

- consolidamento: in questa normativa compare, per la prima volta, la definizione di consolidamento come operazione che *"consiste nel rigenerare la resistenza specifica delle strutture danneggiate e nel loro rafforzamento fino a raggiungere i necessari livelli di capacità portante"*;
- sostituzione di elementi strutturali, attuata con demolizione e rifacimento delle parti strutturali per le quali il consolidamento non porterebbe alcun miglioramento;
- ristrutturazione, effettuata mediante inserimento di nuovi elementi strutturali ad integrazione delle strutture esistenti. Tale intervento, a differenza dei primi due, che sono tipici di situazioni già strutturalmente corrette dal punto di vista morfologico, si rende necessaria quando la distribuzione degli elementi resistenti non è tale da garantire il funzionamento scatolare dell'insieme delle strutture.

Per quanto riguarda le modalità di intervento, le proposte riguardano fondazioni, murature, solai, tiranti e coperture in legno. Per ciò che concerne le murature vengono proposte:

- I. iniezioni di malta cementizia;
- II. lastre di cemento armato.

Per ciascuna di esse vengono date alcune indicazioni esecutive, insieme ad alcuni valori numerici per il dimensionamento dell'intervento e, nella sezione delle caratteristiche meccaniche, alcune osservazioni sulla resistenza basate sulla sperimentazione fino ad allora disponibile, relativa agli studi effettuati dallo ZMRK di Lubiana, in Slovenia.

- **D.M.LL.PP. 2 Luglio 1981:** *"Normativa per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia"* nella quale si tratta degli interventi negli edifici esistenti in termini di:
 - definizione di intervento di riparazione come esecuzione di un complesso di opere finalizzate a ripristinare l'integrità di ogni parte dell'edificio, e di adeguamento antisismico come complesso di opere che rendano l'edificio atto a resistere alle azioni sismiche (adottando l'aumento di resistenza e/o la riduzione degli effetti dell'azione sismica), tale che costituisca con l'intervento di riparazione un'unica e organica operazione tecnica;
 - operazioni progettuali che il progetto d'intervento comporta;

- provvedimenti tecnici di intervento per l'adeguamento antisismico dividendoli in:
 - a) provvedimenti intesi a ridurre gli effetti sismici;
 - b) provvedimenti atti ad aumentare la resistenza strutturale.

Il punto 3.4 concerne dei provvedimenti tecnici di intervento da applicare agli edifici di muratura; nella sezione dedicata alle pareti, vengono nominati e sinteticamente descritti le tecniche possibili per il consolidamento; esse sono:

- I. risarciture localizzate;
- II. iniezioni di miscele leganti;
- III. applicazioni di lastre in cemento armato o di reti metalliche elettrosaldate;
- IV. inserimento di pilastri in cemento armato o metallici in breccia nella muratura;
- V. tirature orizzontali e verticali.

Per ognuno di questi provvedimenti la circolare fornisce una generale descrizione sulle modalità e materiali utilizzabili, riprese più in dettaglio nella Circolare di applicazione citata di seguito. A tali prescrizioni si farà cenno più avanti, quando si andrà a trattare in dettaglio alcune di queste tecniche.

- **Circolare M.LL.PP. 30 Luglio 1981 n° 21745:** "*Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma*". La circolare contiene le norme di applicazione relative al Decreto di cui sopra; in appendice, inoltre, viene riportata quale esempio per edifici in muratura la: "*Verifica di un edificio caratterizzato da un comportamento al collasso del tipo taglio*", che propone l'espressione di Turnsek per la stima della resistenza tangenziale di riferimento e applica il metodo POR alla struttura a pareti portanti.

Il decreto e la circolare sopra menzionate si basano sui risultati del "Progetto Finalizzato Geodinamica" del C.N.R. avviato in seguito al sisma del Friuli, i cui risultati sono stati pubblicati nel 1981 sotto il titolo di "*Riparazione e consolidamento degli edifici in muratura*".

- **L'Ordinanza n° 230 del 5 Giugno 1984:** "*Disciplina dei criteri e delle modalità in ordine alla riattazione degli edifici e delle opere danneggiate dai terremoti del 7 ed 11 maggio 1984*" (terremoto in Abruzzo e Umbria) specifica, nell'allegato A, le norme tecniche per la realizzazione degli interventi, definendo l'intervento di riattazione di un edificio con struttura portante verticale in muratura un complesso di opere che tenda a riparare i danni provocati

dalle azioni sismiche garantendo contestualmente una maggiore sicurezza nei confronti di futuri eventi sismici. Definisce, inoltre, alcuni criteri per escludere classi di edifici dalla necessità di intervento; tali criteri si riferiscono a valori limite della resistenza convenzionale alle azioni orizzontali, dei fuori piombo, della superficie dei crolli parziali rispetto alla superficie totale delle murature portanti, della superficie interessata dalle lesioni passanti e di schiacciamento, etc.. Rispetto alla precedente norma vengono fornite alcune specifiche aggiuntive relative alle tecniche di consolidamento. Gli interventi tecnici per la riattazione sono citati per: risarcitura delle lesioni, incatenamenti, architravi, orizzontamenti, coperture, aggetti verticali e scale.

- **D.M.LL.PP. 20 Novembre 1987:** "*Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*"; il Titolo II della norma si occupa specificatamente del consolidamento rispecchiando, tuttavia, quanto contenuto nel precedente decreto e limitandosi, pertanto, ancora ad una descrizione generale ed operativa del problema.
- **Circolare M.LL.PP. 4 Gennaio 1989, n° 30787:** "*Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*"; è la circolare relativa al precedente decreto.
- **D.M.LL.PP. 16 Gennaio 1996:** "*Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*": questa norma conferma sostanzialmente i principi generali espressi dalle norme precedenti. Al punto C.9, senza tra l'altro entrare in dettaglio, vengono trattati gli interventi negli edifici esistenti in ordine agli argomenti sotto indicati:

la definizione di interventi di adeguamento (esecuzione di un complesso di opere per rendere l'edificio antisismico, come nel Decreto 2 Luglio 1981) e di miglioramento come esecuzione di una o più opere riguardanti i singoli elementi strutturali dell'edificio con lo scopo di conseguire un maggior grado di sicurezza senza modificarne in maniera sostanziale il comportamento globale;

- i casi in cui è fatto obbligo di procedere all'adeguamento e al miglioramento;
- le modalità di redazione dei progetti e scelte progettuali;
- i provvedimenti tecnici di intervento dividendoli, come nel primo decreto, in:

a) provvedimenti intesi a ridurre gli effetti sismici;

b) provvedimenti atti ad aumentare la resistenza strutturale;

- il collaudo degli interventi.

Il punto C.9.5 tratta specificatamente gli edifici in muratura senza però entrare nel merito di come determinare la resistenza delle pareti portanti e come intervenire per aumentarla.

- **Circolare M.LL.PP. n. 65/AA.G. del 10 Aprile 1997:** "*Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*". Come per i precedenti decreti, le istruzioni applicative entrano più nel dettaglio. Le norme in questione prendono in esame, con l'allegato 3, gli edifici in muratura; per ciò che riguarda l'aumento di resistenza delle pareti murarie vengono elencati i seguenti provvedimenti:

- iniezioni di miscele leganti;
- applicazioni di lastre in cemento armato o di reti metalliche elettrosaldate;
- inserimento di pilastri in cemento armato o metallici in breccia nella muratura;
- tirature orizzontali e verticali.

L'introduzione del concetto di miglioramento rappresenta un'importante evoluzione della norma, poiché avalla una logica più coerente con quello di conservazione dell'esistente; in termini più concreti, esso consente di operare sui manufatti da riparare con interventi meno invasivi (ma non per questo meno efficaci) di quelli previsti dall'adeguamento antisismico.

D'altra parte, così come espresso dal decreto, il concetto di miglioramento sottintende che l'edificio abbia già nella sua concezione progettuale, nella scelta dei materiali e nella validità degli aspetti costruttivi e di esecuzione, una struttura in grado di sopportare le azioni sismiche in modo soddisfacente.

Tale approccio, soprattutto se si fa riferimento agli edifici storici e, quindi, a materiali e tecniche oramai in disuso, ha carattere fortemente qualitativo e non può che aumentare le incertezze e le perplessità intorno al tema delle riparazioni.

È invece necessario poter impostare il problema in termini quantitativi ossia, dal punto di vista ingegneristico, poter effettuare una valutazione della sicurezza della costruzione prima e dopo gli interventi, utilizzando metodi di calcolo semplificati, capaci di cogliere gli aspetti fondamentali del comportamento della struttura.

7.2 Strumenti per la valutazione dell'efficacia degli interventi

Come già ribadito in precedenza, il progetto di un intervento di consolidamento dipende da molteplici parametri, relativi a tutte le fasi di studio, ossia a partire dalla conoscenza dei materiali fino all'esecuzione della tecnica in sito.

La fase finale si riferisce alla valutazione dell'effettiva riuscita di un intervento di consolidamento, e si avvale del supporto offerto dalla sperimentazione, finalizzata alla determinazione dei valori delle caratteristiche meccaniche delle murature prima e dopo l'intervento.

Effettuati i test e le verifiche preliminari per la conoscenza delle caratteristiche della muratura da iniettare (carotaggi, endoscopie, prove di laboratorio sui materiali estratti) e una volta valutata la fattibilità dell'intervento, la realizzazione di una serie di indagini, effettuate prima e dopo il consolidamento, consente di valutare, in termini quantitativi, se la tecnica adoperata ha effettivamente comportato un miglioramento delle prestazioni strutturali della muratura.

La scarsa qualità delle murature su cui ci si trova a operare, insieme alla necessità di conservazione del bene, non consente di prelevare campioni indisturbati dalla struttura originaria per determinare le caratteristiche volute in laboratorio; per di più, le condizioni al contorno in cui la muratura si trova in sito sono difficilmente riproducibili in sede diversa da quella in cui giace.

Le prove sperimentali di riferimento sono, pertanto, prove effettuate direttamente in sito, con tecnologie e metodologie messe a punto grazie all'esperienza acquisita nel corso degli anni. La tendenza è di prediligere, ovviamente, procedure con bassissimo, se non nullo, grado di distruttività del supporto originario. L'importante è verificare l'attendibilità di tali procedure, mettendole a confronto, ove possibile, con metodologie di prova a carattere distruttivo, che forniscono risultati meno approssimati.

Il problema si pone, quindi, in due aspetti: da una parte c'è la stima dell'efficacia dell'intervento su una struttura che, per gli scopi stessi del consolidamento, dovrà essere riutilizzata; dall'altra c'è la valutazione dell'affidabilità delle prove non o debolmente distruttive.

Esistono numerose tecniche e procedure di prove in situ per le murature, tese alla valutazione delle caratteristiche meccaniche (compressione e taglio) della stessa. Si riportano di seguito le più diffuse, distinguendole rispetto al grado di invasività sulla muratura.

7.2.1 Prove non distruttive

➤ Test sonici:

Con le prove soniche è possibile misurare la velocità di trasmissione delle onde elastiche all'interno della parete da un generatore di impulsi (generalmente un martello strumentato) al ricevitore. La velocità di trasmissione aumenta con la densità del mezzo, adeguando corrispondentemente ampiezza e frequenza. Registrazioni di incrementi di velocità per effetto, ad esempio, di un'iniezione, denotano maggiore compattezza e forniscono, quindi, un'indicazione della buona riuscita dell'intervento.

A seconda delle posizioni relative tra punto d'impulso e di ricezione si possono effettuare prove per:

- trasmissione diretta: sonda e punto d'impulso sono posizionate in modo simmetrico sulle facce opposte della parete; risulta il tipo di trasmissione più sensibile, ma richiede l'accessibilità alla faccia interna e la conoscenza esatta dello spessore;
- trasmissione semi diretta: si posizionano i due punti nelle facce opposte ma non in corrispondenza simmetrica, oppure in facce ortogonali del paramento; data l'incertezza della lunghezza della linea di trasmissione risulta meno sensibile del metodo precedente;
- trasmissione indiretta: il punto d'impulso viene scelto sulla stessa faccia dove si trova la sonda ricevente; risulta il metodo meno sensibile perché risente soprattutto della composizione dello strato superficiale, che può essere diversa dagli strati profondi.

Generalmente, una seduta di prova consiste nella misura delle velocità in una maglia di rette fra di loro perpendicolari, in modo da ottenere una mappa dettagliata delle velocità.

In un mezzo omogeneo e isotropo si verificano, per un impulso, tre tipi di onde:

- a) *onde longitudinali*: si generano per compressione e successiva dilatazione nella direzione di trasmissione dell'onda, sono generalmente le uniche registrate nei test;
- b) *onde trasversali*: hanno direzione ortogonale alle precedenti e velocità di propagazione inferiore;
- c) *onde superficiali*: sono onde a grande ampiezza con velocità di poco superiore alle onde longitudinali. Hanno ampiezza e frequenza molto influenzabili dallo stato di fessurazione e vengono facilmente riflesse dalle pareti dei vuoti. Esiste una tecnica specifica per la loro misura detta carotaggio sonico.

Mediante le prove soniche può essere calcolato il modulo elastico sonico E_d che in genere, per il bassissimo sforzo generato nel test, sovrastima del 10% circa il normale modulo elastico misurato su provini o carotaggi. Nota la densità ρ del materiale e fissato il modulo di Poisson ν si può ricavare dalla relazione:

$$E_d = V^2 \rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu) / (1 - \nu)$$

I test sonici possono essere molto utili per definire il diverso stato della muratura; si sono potuti individuare, per esempio, tre diversi livelli delimitati dai campi di variazione della velocità per murature in mattoni, qui riportate in assenza di analoghi risultati sulle murature in pietra:

1. $V < 1000$ m/s: individua murature fortemente danneggiate con presenza di grossi vuoti interni;
2. $1000 \text{ m/s} < V < 2000$ m/s: rappresenta la maggioranza delle murature in mattoni esistenti; valori di V inferiori ai 1500 m/s possono indicare presenza di vuoti e difetti, irregolarità nei corsi o nelle giunzioni.
3. $V > 2000$ m/s: indica murature accuratamente costruite e conservate con elevata resistenza a compressione, stimabile fra i 5 e 15 MPa.

Le prove soniche vengono effettuate con vibrazioni elastiche di frequenze variabili tra i 16 e i 20000 Hz. Il rilievo delle velocità trasmesse lungo diversi percorsi possibili all'interno della porzione muraria individuata, consente poi, impiegando determinati algoritmi per l'elaborazione, di effettuare una mappatura delle velocità (tomografia sonica).

Accanto a queste, le prove ultrasoniche utilizzano, invece, una banda di frequenza che varia da 20 kHz a 1000 MHz. Tali onde non riescono a essere trasmesse da mezzi gassosi, per cui sono sfruttate per l'individuazione di microfessure che riescono a riflettere il fronte d'onda; per contro, il segnale ultrasonico risulta altamente attenuato per via della sua lunghezza d'onda troppo piccola in confronto alle dimensioni dei componenti la muratura.

I risultati delle prove soniche si rivelano, pertanto, più facilmente leggibili e, per questo, sono generalmente più utilizzate.

Altre grandezze misurabili oltre alla velocità di propagazione sono: il contenuto di energia e la sua distribuzione nel dominio delle frequenze, i fenomeni di smorzamento, etc.

➤ Georadar:

La tecnica radar consiste nell'irradiare il mezzo di indagine con impulsi di energia elettromagnetica caratterizzati da una brevissima durata (qualche nanosecondo) e da un'elevata cadenza di emissione (decine di kHz); l'irraggiamento viene effettuato tramite un'antenna trascinata a velocità costante lungo la linea di prospezione. Una seconda antenna, funzionante come ricevitore e solidale con quella trasmittente, rileva gli impulsi riflessi dalle superfici di discontinuità tra materiali a differente costante dielettrica, che vengono poi trasformati dal sistema radar in segnali elettrici. Tali segnali vengono riprodotti sul monitor del sistema ed eventualmente memorizzati o stampati come pseudoimmagine (sezione tempi - distanze) della sezione indagata. Dalla rappresentazione così ottenuta è possibile evidenziare la presenza di superfici riflettenti, per esempio discontinuità nella stratificazione o cavità, e ricavare lo spessore compreso tra la superficie di prospezione e quella riflettente, applicando la seguente formula:

$$h = \frac{v_m t}{2}$$

dove h è lo spessore, t il tempo di riflessione in secondi e v_m la velocità media delle onde elettromagnetiche nel mezzo investigato.

Velocità delle onde elettromagnetiche e costante dielettrica sono legate dalla seguente formula:

$$\varepsilon = \frac{c^2}{v_m^2}$$

dove c è la velocità delle onde elettromagnetiche nel vuoto.

La massima profondità di indagine dipende dalla frequenza delle onde elettromagnetiche irradiate e dalla resistività del mezzo indagato.

Usualmente le indagini GPR (Ground Penetrating Radar) vengono effettuate in modalità eco utilizzando due antenne (trasmittente e ricevente) affiancate; il sistema radar consente anche di rilevare segnali utilizzando le due antenne separate.

7.2.2 Prove debolmente distruttive

- Prove con i martinetti piatti:

Le prove con i martinetti piatti possono essere effettuate in due modalità differenti:

- *con martinetto singolo*, per la determinazione dello stato di sollecitazione: si realizza un taglio orizzontale di adeguate dimensioni in direzione normale alla muratura provocando il rilascio delle tensioni. Si inserisce uno speciale martinetto piatto, realizzato con sottili lamiere in acciaio saldate, collegato ad un'apparecchiatura oleodinamica, e si aumenta gradualmente la pressione nel martinetto fino ad annullare la deformazione misurata in seguito al taglio. In queste condizioni la pressione raggiunta eguaglia la sollecitazione preesistente al taglio in direzione normale al piano del martinetto, a meno di una costante sperimentale che tiene conto del rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio, e della rigidità propria del martinetto.
- *con martinetti doppi*, per la determinazione della tensione di rottura e delle caratteristiche di deformabilità: si eseguono due tagli orizzontali nella parete entro cui vengono introdotti due martinetti piatti, che permettono di applicare alla porzione di muratura interposta uno stato di sollecitazione monoassiale. Si possono quindi misurare, con estensimetri meccanici rimovibili dislocati in modo opportuno, sia le deformazioni assiali che trasversali e, incrementando la pressione fin oltre il limite elastico in prossimità della rottura, la tensione di rottura della muratura.

7.2.3 Prove distruttive

Adottate sia per la compressione che per il taglio, vengono realizzate in sito isolando il campione con dei tagli verticali per eliminare il confinamento laterale e applicando il carico attraverso una struttura di contrasto.

Per l'esecuzione delle prove distruttive a taglio secondo tale procedura, possono efficacemente utilizzarsi gli stipiti delle aperture come superficie sulle quali applicare l'attrezzatura di contrasto.

Un'altra configurazione per la resistenza a taglio è quello di prova a compressione diagonale, che viene riprodotta in sito isolando un pannello su tre lati e imprimendo l'azione lungo le direzioni diagonali.

7.3 Correlazione tra i risultati delle diverse procedure di prova

La sperimentazione in sito si prefigge lo scopo di determinare le caratteristiche meccaniche della muratura prima e dopo l'intervento di consolidamento in modo da poterne valutare l'efficacia. Il fine del recupero per la riabilitazione del bene sposta l'interesse verso procedure e tecnologie che alterino il meno possibile lo stato reale della muratura, sia all'origine che dopo l'intervento.

Il problema è allora quello di tarare le metodologie di prova mediante il confronto tra prove distruttive e debolmente distruttive, e tra queste e quelle non distruttive, in modo da poter stimare l'affidabilità di quest'ultime ai fini della loro applicazione.

Lo scopo è quello di mettere a punto una o più procedure che posano consentire indagini di semplice esecuzione, e che abbiano nel contempo pregi di rapidità ed economicità. Limitando il danneggiamento locale del manufatto, tali tecniche d'indagine consentirebbero, infatti, il monitoraggio della struttura, ossia il controllo delle sue caratteristiche meccaniche nel tempo e, quindi, delle eventuali riduzioni di efficacia dell'intervento di consolidamento.

A tale proposito sono disponibili alcuni studi sul confronto tra i risultati ottenuti da prove di compressione dirette (distruttive) e prove con i martinetti piatti, che hanno mostrato un buon accordo sperimentale. I risultati del confronto vengono riportati nel prossimo paragrafo.

Altri studi sono tuttora in corso sulla possibilità di correlazione tra i valori di resistenza ricavati dalle prove con i martinetti piatti e le velocità di trasmissione delle onde soniche. I risultati di questo confronto sono riportati nella sezione dedicata alle prove sperimentali volte a valutare l'efficacia delle iniezioni.

Se per la valutazione della resistenza a compressione la correlazione tra procedure a diverso grado distruttivo sembra aver intrapreso la giusta direzione, non è stata ancora stabilita un'analoga opportunità per la resistenza a taglio, la cui determinazione resta ancora legata a procedure di prova a carattere distruttivo. Lo "shove test", procedura parzialmente distruttiva messa a punto per misurare la resistenza a taglio dell'interfaccia malta-mattone, oltre ad avere validità limitata alle murature con corsi regolari (difficile condizione da ritrovare nelle murature di pietra) può infatti fornire valori di resistenza fortemente sovrastimati.

7.4 Le iniezioni

La tecnica di consolidamento delle iniezioni è appropriata, in generale, in presenza di lesioni diffuse e per murature in pietra, generalmente dotate di percentuali relativamente elevate di vuoti interni. È essenziale, infatti, che esista la "possibilità fisica" di far penetrare all'interno del corpo murario le

miscele leganti che esercitano il loro ruolo di miglioramento delle prestazioni meccaniche del muro, sia eliminando in parte le cavità (fessure o vuoti), sia rafforzando i legami fra i vari componenti della muratura stessa.

È un metodo di consolidamento definito “passivo” perché non richiede l’esecuzione di operazioni tali da alterare l’equilibrio o l’aspetto esteriore della struttura.

Per queste sue caratteristiche costituisce una tecnica di consolidamento estremamente diffusa negli edifici storici di particolare pregio artistico o architettonico, ove sia necessario mantenere la struttura e l’aspetto originario.

L’intervento consiste nel far penetrare la miscela legante, in pressione o per colo, a seconda dello stato di degrado della muratura, nei vuoti presenti, in modo tale da ripristinarne o migliorarne le caratteristiche meccaniche.

Le miscele sono costituite da acqua e leganti inorganici (calci, cementi) o da miscele organiche (resine). I leganti citati presentano un diverso grado di compatibilità con il supporto originario, soprattutto in relazione alla qualità delle malte esistenti, e conferiscono un diverso comportamento, in termini di rigidità e resistenza, alla muratura consolidata.

È evidente che l’efficacia di un tale tipo di intervento dipende dalla possibilità della miscela iniettante di permeare e diffondersi sufficientemente all’interno della massa muraria in modo da raggiungere tutti gli interstizi presenti nel supporto. Il muro deve essere quindi sufficientemente iniettabile, ossia deve presentare una tessitura con sufficiente continuità tra i vuoti e, allo stesso modo, la miscela deve essere progettata in modo da garantire una sufficiente penetrabilità, ossia un’adeguata fluidità (né scarsa, né eccessiva) in relazione ai tempi di esecuzione richiesti. In tal senso, le caratteristiche reologiche della miscela iniettante possono essere migliorate con l’aggiunta di particolari additivi, dosati anche in funzione del grado di assorbimento d’acqua del supporto (malta esistente e conci). Elevati rapporti acqua / legante possono causare, infatti, un elevato ritiro della miscela, da cui la tendenza a ridurre il contenuto d’acqua, ad esempio con l’aggiunta di prodotti espansivi. Tali prodotti producono bolle d’aria nella sospensione, che riducono la fluidità della miscela (Atkinson & Schuller, 1992).

7.4.1 Miscele per iniezioni

Le caratteristiche generali richieste ai materiali utilizzati per le iniezioni sono le seguenti:

- *Caratteristiche meccaniche*: si richiede generalmente una resistenza meccanica e caratteristiche di deformabilità (modulo elastico e coefficiente di Poisson) simili a quelle della muratura originaria;
- *Penetrabilità*: per ottenere un'elevata penetrabilità della miscela i materiali impiegati devono presentare omogeneità ed assenza di grumi, granulometria fine, e scarsa viscosità allo stato fluido;
- *Presa e indurimento*: il tempo di presa deve essere adeguato alle procedure d'impiego e quindi non deve essere eccessivamente breve o prolungato; l'indurimento può essere richiesto anche alle basse temperature; il ritiro deve essere assente o limitato;
- *Proprietà chimiche*: le caratteristiche chimiche devono rimanere stabili nel tempo e le reazioni irreversibili; è opportuno che si instaurino forti legami chimici con i materiali esistenti;
- *Caratteristiche igroscopiche*: si richiede che la miscela non risulti solubile in acqua, non vari il proprio volume con l'umidità e non crei una barriera alla libera circolazione del vapore;
- *Caratteristiche di economia*: il materiale deve naturalmente risultare poco costoso e di facile reperibilità ed impiego.

L'indisponibilità di materiale che possa riunire insieme tutte queste qualità rende necessaria una scelta in base a quanto richiesto dall'intervento specifico e dalle procedure adottabili.

I prodotti attualmente utilizzati per il consolidamento tramite iniezioni si possono dividere in due categorie principali:

- 1) miscele inorganiche: impiego di calce idrauliche e cementi;
- 2) miscele a base di resine sintetiche.

Alcune ricerche sono risalite al tipo di miscela più idoneo da utilizzare in funzione delle dimensioni delle lesioni da riparare, prevedendo materiali più fluidi, come le resine epossidiche, per lesioni variabili fra 0.2 ÷ 0.3 cm, prodotti speciali a base di cemento o miscele binarie acqua – cemento - sabbia per lesioni fra 0.4 ÷ 0.5 cm e latte di cemento per lesioni maggiori di 0.6 ÷ 0.7 cm.

La base di queste miscele sono i comuni leganti utilizzati normalmente in edilizia cioè calce (aerea ed idraulica) e cemento.

Generalmente i leganti aerei non vengono mai impiegati da soli ma accompagnati da materiali che possano permettere loro di maturare anche in presenza d'acqua. Altri, come l'argilla, vengono impiegati come carica, per conferire alle miscele proprietà come la tixotropia, ossia la possibilità di aumento temporaneo della viscosità e dell'adesione alle superfici.

Altri tipi di cariche o additivi si possono usare per conferire alle miscele diverse qualità o ridurre certi difetti: può essere necessario infatti aumentare le caratteristiche meccaniche della miscela, migliorare la coesione, ridurre il ritiro o la viscosità, regolare i tempi di presa e l'assorbimento d'acqua, etc..

I principali additivi utilizzati possono essere di tipo espansivo, accelerante o ritardante, fluidificante e aerante. Come cariche, oltre alla citata argilla possono venire impiegate sabbie, polveri di roccia, coccio pesto, ceneri volanti e pozzolana; queste ultime possiedono anche proprietà idrauliche.

Importanza fondamentale sull' iniettabilità di queste miscele rivestono la dimensione degli aggregati solidi, in rapporto alle dimensioni delle fessure, e la quantità d'acqua d'impasto.

Esistono dati discordanti forniti dai vari ricercatori sul rapporto minimo tra dimensione delle fessure e diametro massimo delle componenti la miscela: si va da un valore del rapporto pari a 5 a un più ottimistico 1.5. Questo perché i fattori che influenzano i risultati sono talmente numerosi (tipo di muratura, grado di fessurazione sul quale si va a intervenire, composizione della miscela e particolare tecnica d'iniezione adottata) da rendere impossibile la formulazione di una regola generale.

Per quanto riguarda l'acqua d'impasto, il suo dosaggio deve essere tale da permettere l'idratazione del legante e, soprattutto, da conferire alla miscela la necessaria fluidità richiesta per il pompaggio e la penetrazione completa della massa muraria, evitando ovviamente gli eccessi. Questi possono essere dannosi in quanto si può provocare un ritiro eccessivo, che può limitare il contatto della miscela con le pareti delle cavità oppure, a causa dell'evaporazione, un'elevata porosità. In questi casi può essere necessario l'uso degli appositi additivi. Le miscele a base di materiali inorganici più usate si possono dividere in due categorie:

- A. **Miscela a base di cemento:** sono generalmente le più utilizzate nelle iniezioni nei casi in cui sia richiesta un'elevata resistenza meccanica e non ci siano incompatibilità con altri materiali. Viene usato generalmente il cemento Portland oppure si può impiegare cemento pozzolanico o d'alto forno. Il rapporto acqua/cemento varia tra $0.8 \div 1.2$. La granulometria, a volte eccessiva, può limitare l'adesione al substrato esistente, per cui come aggregato viene può essere adoperata della polvere di marmo per una quantità pari al 10% del peso del cemento. Un dosaggio eccessivo d'acqua può provocare fenomeni accentuati di ritiro e bleeding a cui si fa fronte caricando la miscela con polveri silicee o pozzolaniche. La resistenza a compressione raggiungibile da queste miscele può arrivare fino a circa 40 MPa.
- B. **Miscela a base di calce:** si utilizzano quando non vengono richieste elevate resistenze meccaniche oppure in alternativa alle miscele a base di cemento quando quest'ultimo risulti

incompatibile con i materiali della muratura. La calce viene generalmente utilizzata sotto forma di grassello e realizza una buona diffusione in seno alla muratura. Per contro, presenta elevato ritiro e la possibilità dei finissimi grani di occludere i fori provocando ristagni d'acqua pericolosi in caso di gelo e disgelo. Queste miscele tuttavia, presentano una maggiore affinità con le caratteristiche meccaniche e fisiche dei materiali componenti le murature esistenti, tra cui la resistenza, il modulo elastico e il coefficiente di dilatazione termica. Un'opportuna additivazione per far fronte agli aspetti negativi sopra citati, ne consente l'impiego con la soddisfacente efficacia.

C. Le **miscele a base di resine** possono essere:

1. *miscele a base di resine organiche*, per ottenere resistenze finali superiori o tempi di presa più rapidi;
2. *miscele reoplastiche* (malte aventi elevata fluidità e nel contempo alto potere coesivo, contengono generalmente additivi fluidificanti e agenti anti-bleeding) o espansive per ottenere elevate proprietà antiritiro.

7.4.2 Modalità esecutive

Per la conoscenza dei criteri di applicazione utilizzati in passato può essere utile far riferimento alle regole e alle indicazioni fornite dalle normative tecniche più indietro considerate, le quali rappresentano di fatto l'unico mezzo guida a disposizione dei progettisti per far fronte al problema delle riparazioni degli edifici in muratura.

Si riportano interamente i punti coinvolti per la particolare tecnica considerata, allo scopo di evidenziare i limiti e le innovazioni che hanno coinvolto nel tempo la normativa nazionale sulle riparazioni; il testo è tratto dalle sole pubblicazioni che dedicano un più ampio spazio alla descrizione della tecnica in oggetto. Tale excursus storico della normativa è utile per comprendere i metodi e le tecnologie con cui gli addetti del settore si sono trovati a operare nel passato e, quindi, riportando tale condizione ai giorni nostri, la situazione corrente degli edifici consolidati che, nell'eventualità di nuovi dissesti, i tecnici di oggi o di domani potranno trovarsi a riaffrontare.

Legge Regionale Friuli Venezia Giulia, DT 2 del Novembre 1977:

1.2.2.1 Iniezioni di malta cementizia:

L'obiettivo dell'iniezione è quello di far penetrare la miscela legante, lentamente e sotto bassa pressione, in tutte le fessure, cavità e vuoti del muro danneggiato.

In tal modo, a presa avvenuta, gli elementi lapidei risultano tra di loro efficacemente collegati migliorando sensibilmente le caratteristiche meccaniche della muratura.

La miscela, costituita essenzialmente da malta fluida di cemento e additivi, è iniettata nel muro attraverso tubi inseriti nella muratura.

Dal tubo di entrata la miscela fluisce radialmente in tutte le direzioni. La miscela deve essere spinta fino agli estremi contorni del corpo fessurato già nella prima fase dell'operazione di iniezione. Ciò si può ottenere usando miscele con viscosità molto ridotta, oppure composte da aeranti e da cementi che riducono il contenuto d'acqua, oppure usando riempitivi inerti fini.

L'iniezione dei muri nella pratica di ripristino è attuata attraverso brevi condotti tubolari lunghi circa 15 cm e di $\frac{3}{4}$ " di diametro, inserite in aperture di circa 40 mm di diametro, precedentemente preparate per mezzo di trapanazione; le aperture sono praticate a una distanza variabile da 40 a 200 cm l'una dall'altra, e tale distanza dipenderà dalla frequenza delle fessure e dalle porosità del muro.

Nel caso di muri sottili, è preferibile rimuovere l'intonaco, mettere a giorno i punti di giunzione dei blocchi, e porre in opera tubi di iniezione di 15 cm di lunghezza senza praticare particolari aperture, ma inserendoli semplicemente nei punti in cui si trovano fessurazioni o cavità.

Le perforazioni dovranno avere una profondità di almeno 10 cm oltre la profondità di penetrazione dei condotti tubolari. Lo schema di perforazione deve essere abbastanza fitto per garantire la sovrapposizione delle aree di iniezione.

In pratica ciò si controlla lasciando fuoriuscire la miscela legante dalle aperture immediatamente adiacenti.

Prima di effettuare l' iniezione i punti di giunzione e le fessure del muro devono essere sigillate con malta di cemento.

Nella prima fase di iniezione si inietta solo acqua pura, al fine di inumidire opportunamente le cavità, i canali di diffusione e le fessurazioni per facilitare l'iniezione di miscela più densa.

L'iniezione di muri di pietra si esegue di solito con miscela la cui composizione solidi - acqua è 0.8/1.0 oppure 1.0/1.0 e con una pressione fino a 3 atmosfere.

L'iniezione di muri di mattoni, normalmente riguardante le sole fessurazioni, è effettuata con una miscela la cui composizione solidi - acqua è circa 1.0/2.0.

Quando l'apertura di iniezione non accetta più miscela, la pressione viene elevata da 3 a 4 atmosfere per agevolare il drenaggio dell'acqua.

La quantità di cemento per iniettare 1m^3 di muro di pietra varia da 80 a 120 kg.

2.1 Caratteristiche meccaniche delle murature consolidate con iniezioni di malta cementizia:

❖ Murature in laterizio:

Vanno distinti due casi:

- iniezioni riguardanti le lesioni e le parti di muro circostanti;
- iniezioni che riguardano l'intero elemento murario.

Nella fig. 7.1 è riportato un diagramma relativo a elementi di muro iniettati solamente nell'area della fessurazione.

Il diagramma mostra un esempio di come varia la "resistenza caratteristica" τ_k (resistenza al taglio in assenza di carichi verticali) al variare della resistenza a compressione delle malte; mostra anche che l'incremento di τ_k ottenuto con le iniezioni è maggiore nel caso di muri costruiti con malte di cattiva qualità.

Nel caso di iniezioni riguardanti l'intero elemento murario si ottengono aumenti di τ_k maggiori che nel caso di cui sopra. Ad esempio: con malte di resistenza a compressione pari a 33 kg/cm² τ_k aumenta con l'iniezione da 1.30 a 2.20 kg/cm².

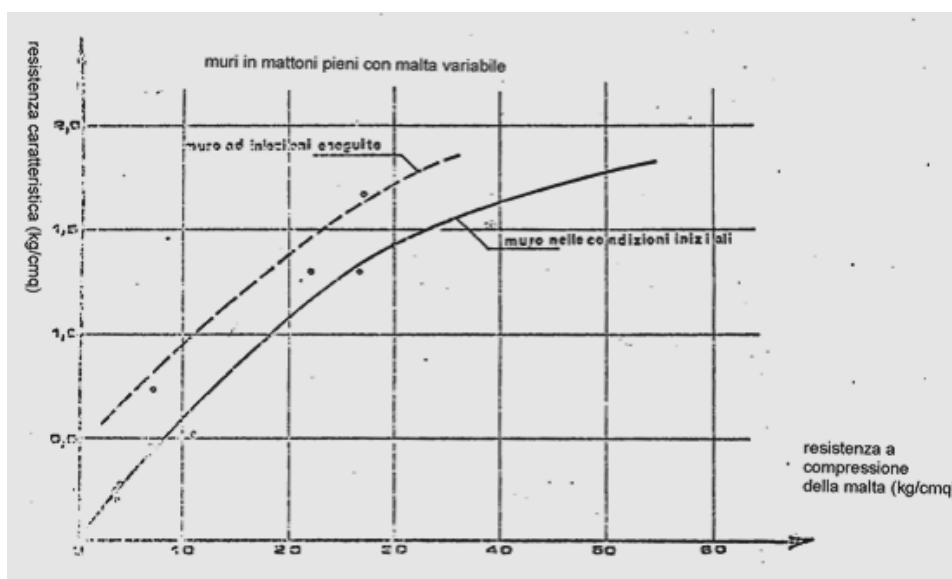


Fig. 7.1

❖ Murature in pietrame:

In questo caso le iniezioni di regola vengono estese all'intero elemento murario.

Prove di laboratorio hanno dimostrato che in murature di pietrame iniettate con malta cementizia, secondo le composizioni e le tecniche già in uso, sono stati raggiunti valori di τ_k fino a 0.80 kg/cm² e ciò indipendentemente dal valore iniziale di τ_k .

Tuttavia si consiglia di adottare nelle verifiche della sicurezza alle azioni sismiche valori di τ_k minori e cioè pari a 0.70 kg/cm².

Decreto 2 Luglio 1981:

3.4.2.2 Iniezioni di miscele leganti:

Le iniezioni possono essere eseguite con miscele cementizie, semplici o additivate, oppure a base di resine organiche. Le miscele a base di resine saranno scelte adottando, in generale, prodotti a basso valore di modulo elastico quando l'ampiezza media delle lesioni è piccola e a più elevato valore di detto modulo per riempimenti di zone estese.

Circolare 30 Luglio 1981:

3.3.2 Iniezioni di miscele leganti:

L'adozione di iniezioni di miscele leganti mira al miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura da consolidare. A tale tecnica, pertanto, non può essere affidato il compito di realizzare efficaci ammorsature dei muri e quindi di migliorare, se applicata da sola, il primitivo schema strutturale.

- I. Miscela a base di legante cementizio: la miscela di legante deve possedere le seguenti proprietà:
 - ✓ buona fluidità
 - ✓ buona stabilità
 - ✓ tempo di presa opportuno
 - ✓ adeguata resistenza
 - ✓ minimo ritiro.

Tali proprietà sono agevolmente conseguibili con le sospensioni cementizie in acqua, semplici o con sabbie molto fini a granuli arrotondati (di fiume o di spiaggia), caratterizzate da valori del rapporto acqua - cemento in genere variabili da 0.6 a 1.2 e migliorate con l'aggiunta di additivi fluidificanti ed espansivi antiritiro. Il cemento deve essere di granulometria molto fine. La scelta della pressione di immissione va fatta con grande attenzione, perché le dilatazioni trasversali prodotte dal fluido in pressione, a causa delle eventuali discontinuità della muratura nei piani paralleli ai paramenti, potrebbero modificare negativamente la configurazione di equilibrio raggiunta dalla costruzione. In ogni caso le iniezioni devono essere fatte a bassa pressione, eventualmente ricorrendo a fasi successive con pressioni via via crescenti, e vanno condotte iniziando dal basso e procedendo per simmetria.

È assolutamente sconsigliabile usare questa tecnica di ripristino nelle murature incoerenti e caotiche senza procedere alla preventiva loro incamiciatura.

La tecnica operativa può essere articolata nelle seguenti fasi di lavoro: scelta dei punti in cui praticare i fori, effettuata in funzione della diffusione delle fessure e della porosità del muro; in genere sono sufficienti 2-3 fori per m²; asportazione dell'intonaco lesionato e stuccatura con malta cementizia delle lesioni per evitare risorgenze di miscela; esecuzione dei fori con perforazioni di diametro fino a 40 mm, eseguite con trapani o sonde rotative; posizionamento nei fori degli ugelli di immissione e successiva sigillatura con malta di cemento; immissione preliminare di acqua e leggera pressione, allo scopo di effettuare il lavaggio delle sezioni filtranti e di saturare la massa muraria; iniezione della miscela, in genere iniziata in zone perimetrali più basse. Nel caso di dissesti localizzati in zone limitate può risultare conveniente risanare dapprima a bassa pressione queste zone e poi operare a pressione più elevata, nelle zone rimanenti.

II. Miscele a base di resine organiche:

Stante la forte dipendenza, per il buon esito dell'operazione, dal dosaggio dei componenti base e dalle condizioni di esecuzione, si consiglia l'uso delle iniezioni di miscele a base di resine organiche (possibilmente epossidiche) ai soli casi in cui risulti dimostrata la convenienza economica e si possa fare ricorso a operatori specializzati.

La tecnica operativa resta, comunque, non dissimile da quelle già illustrate per le iniezioni cementizie alla quale si rimanda.

Circolare 10 Aprile 1997:

La circolare riprende, nell'allegato 3 al punto 3. Iniezioni di miscele e leganti la tecnica delle iniezioni esattamente nei modi e nei termini espressi dalla circolar del 1981.

Come accennato in precedenza, le norme forniscono indicazioni generali, comunque utili per l'esecuzione, sull'applicazione delle tecniche, ma rimangono molto carenti per ciò che riguarda i criteri di valutazione di efficacia delle stesse.

7.4.3 Tecniche di esecuzione

L'esecuzione delle iniezioni risulta un'operazione articolata che richiede attenzione nelle diverse fasi in cui si esplica. Esse sono: preparazione delle parete, perforazione e inserimento delle cannule,

lavaggio e imbibizione della muratura, iniezione. Le diverse fasi possono assumere caratteristiche differenti a seconda della miscela e della tecnica adottate.

Di seguito vengono sintetizzate le fasi successive per una corretta esecuzione dell'intervento:

1. Preparazione della parete:

- ❖ *asportazione dell'intonaco*: generalmente la parete si presenta in cattivo stato e con essa l'eventuale strato d'intonaco che l'avvolge; si rende quindi necessaria la sua rimozione che viene effettuata manualmente o con ausilio di utensili;
- ❖ *pulitura della parete*: se la miscela da iniettare non è di origine organica, dopo l'asporto dell'intonaco si pratica un lavaggio della superficie con acqua in modo da eliminare eventuali sostanze solubili come il gesso, o altre sostanze insolubili combinando il lavaggio con azioni meccaniche. Il lavaggio può essere fatto con getti d'acqua a bassa o alta pressione, ponendo attenzione, in quest'ultimo caso, di non danneggiare ulteriormente la muratura; in alternativa, si possono eseguire getti di vapore saturo a temperatura di $150^{\circ} \div 200^{\circ}$ e pressione di $5 \div 10$ atm. Anche in questo caso occorre una particolare attenzione per evitare che la muratura subisca un eccessivo shock termico che disgreghi le zone superficiali. Nel caso di murature particolarmente delicate è possibile eseguire il lavaggio con acqua nebulizzata in grado di sciogliere depositi a base di solfato di calcio e, se miscelata con appositi tensioattivi, croste nere più compatte; tale operazione richiede però molto tempo e risulta quindi piuttosto costosa. Particolare cura va portata alla pulizia dei giunti e delle lesioni. In alternativa al lavaggio possono essere effettuate pulizie meccaniche con spazzole, aria compressa oppure sabbiature o, in presenza di particolari sostanze lavaggi chimici. Infine si ricorda che per edifici di particolare pregio artistico si possono effettuare impacchi con sostanze assorbenti come la sepiolite;
- ❖ *stipatura dei giunti e sigillatura delle fessure*: per evitare la fuoriuscita della miscela durante l'operazione di iniezione è necessario sigillare tutte le fessure e i giunti deteriorati presenti in superficie. E' bene utilizzare malte di calce e sabbia o calce e cemento con caratteristiche di deformabilità il più possibile simili alla malta della muratura. Sono anche in uso stucchi speciali e adesivi strutturali scelti tra la vasta produzione industriale.

2. Perforazione e sistemazione dei tubetti:

- ❖ *ubicazione e geometria dei fori*: prima di eseguire le perforazioni va studiata attentamente la loro ubicazione e geometria (diametro, profondità e inclinazione). Risulta perciò importante determinare il raggio d'azione del foro cioè la massima distanza dal foro raggiungibile dalla miscela. Per fare ciò si pratica nella muratura un foro principale da cui sarà introdotta la miscela e una serie di altri fori a distanze diverse. Durante l'iniezione si chiudono i fori da cui man mano esce la miscela finché il processo si interrompe. La distanza dell'ultimo foro otturato dal foro principale fornisce il raggio d'azione cercato. Determinato tale valore è bene distribuire i fori su vertici di triangoli equilateri di lato uguale il doppio, riuscendo così ad interessare un'area maggiore, come schematizzato in fig. 7.2. Si raggiungono migliori risultati con un numero elevato di fori di piccolo diametro piuttosto che pochi di grosso diametro; quest'ultimo può variare tra i 10 e 30 cm in base al tipo di miscela iniettata. Infine, visto che generalmente l'operazione si esegue solo su una faccia del paramento, la profondità del foro deve essere spinta fra i 2/3 e i 3/4 dello spessore e mai di valore inferiore ai 10 cm, dando al foro una pendenza dall'alto verso il basso.

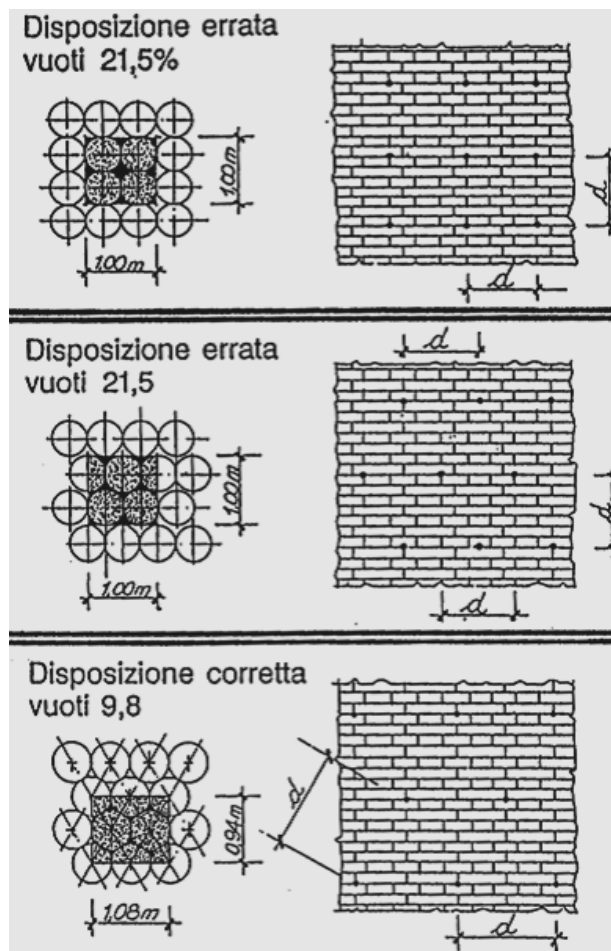


Fig.7.2 Valutazione della migliore distribuzione dei fori

- ❖ *realizzazione dei fori*: decisa la geometria e la localizzazione dei fori si procede alla loro realizzazione. È opportuno utilizzare perforatrici a rotazione, in particolare carotiere, in modo da non trasmettere alla struttura vibrazione e scuotimenti dannosi. Sono da evitare trapani a rotopercolazione o percussione.
 - ❖ *posizionamento dei tubetti di rabocco*: nei fori praticati vanno inseriti i tubetti che possono essere costituiti da rame, alluminio o resine sintetiche. Generalmente sono previsti attacchi per l'innesto rapido del tubo di mandata, ed è bene lasciare fuoriuscire il tubetto di una certa quantità in modo da garantire una certa sovrappressione al termine dell'operazione. Infine, vanno sigillati alla parete con malta a presa rapida sia per evitare l'espulsione durante l'iniezione che per evitare l'uscita della miscela nella giunzione.
3. Lavaggio e imbibizione della parete: nel caso venga utilizzata una miscela a base di calce o cemento risulta necessario lavare la parete e saturarla d'acqua attraverso i tubicini appena disposti. Si riesce così ad asportare detriti e polvere creati nella fase di perforazione, che possono limitare l'aderenza della miscela; inoltre, saturando la muratura, si evita l'assorbimento di questa di parte dell'acqua del materiale iniettante, che può alterare il processo d'idratazione. Questa operazione, inoltre, mette in evidenza eventuali vie di fuga per la miscela non individuate e sigillate precedentemente.
4. Esecuzione delle iniezioni:
- ❖ *Tecniche di iniezione*: a seconda delle modalità di introduzione della miscela nella massa muraria si possono avere tre metodi diversi di intervento:
 - i. metodo di iniezione per pressione: la miscela penetra attraverso i fori muniti di iniettori collegati a una pompa idraulica o ad aria compressa che la spingono fino a diffondersi nella massa muraria a una pressione adeguata alle dimensioni delle fessure e al tipo di miscela, come schematizzato in fig. 7.3b. L'immissione avviene generalmente iniziando dalle zone laterali inferiori per poi proseguire verso il centro; l'operazione va poi ripetuta per gli strati superiori fino alla sommità.
 - ii. metodo di iniezione per gravità: se la muratura risulta in uno stato talmente danneggiato da non potere sopportare sovrappressioni o perforazioni si fa penetrare la miscela dall'alto attraverso le lesioni o cavità create, asportando materiale deteriorato come illustrato in fig. 7.3a; questo metodo non permette l'occlusione di tutti i vuoti ma solo delle lacune di più grande dimensione.
 - iii. metodo di iniezione per depressione: si sigillano preventivamente le fessure superficiali con malta a presa rapida; vengono posizionati gli iniettori dei quali,

quelli inferiori vengono collegati al contenitore della miscela, mentre in quelli superiori viene creato il vuoto fino a quando non inizia a fuoriuscire la miscela per risalita, dopodiché vengono chiusi. Sono applicabili solo con materiali molto fluidi e quindi, in modo particolare, alle resine sintetiche.

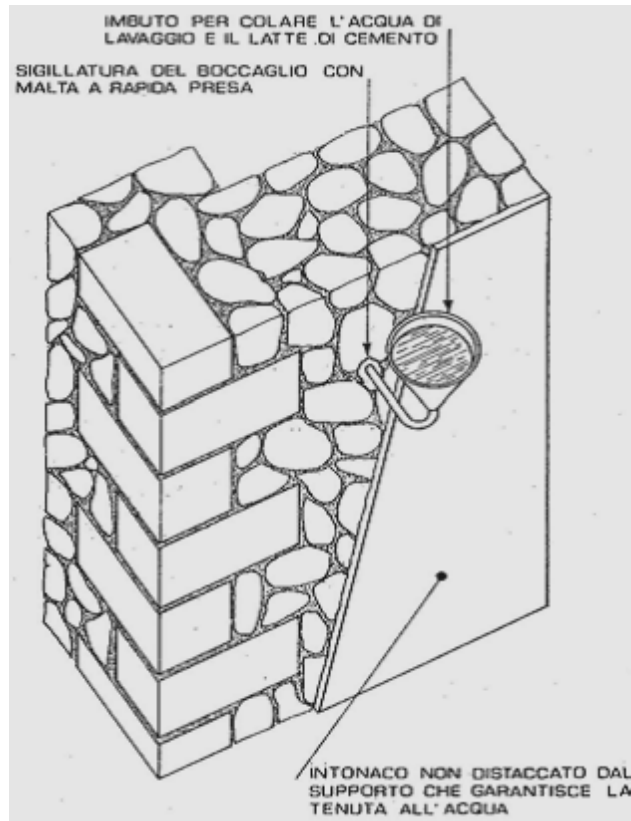


Fig. a

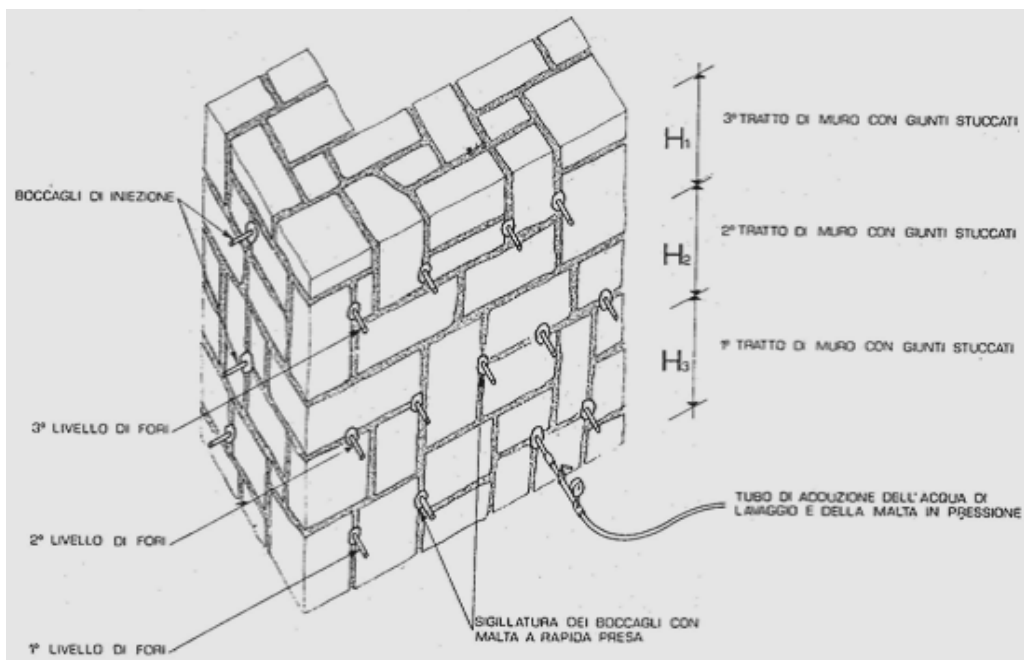


Fig. b

Fig. 7.3 - Schema di iniezione per gravità (a) e per pressione (b).

- ❖ *Pressione d'iniezione*: nel primo metodo descritto risulta molto importante la pressione esercitata per iniettare la miscela; una pressione insufficiente non permette, infatti, di occludere completamente i vuoti, mentre una pressione elevata può recare danno alla muratura ed intrappolare bolle d'aria che impediscono alla miscela di saturare i vuoti, come mostrato in Fig. 7.4. Il valore ottimale si determina per tentativi partendo da valori di 1 atm per poi salire gradualmente fino ad un limite massimo di 6 atm, da applicare solo in casi particolari.

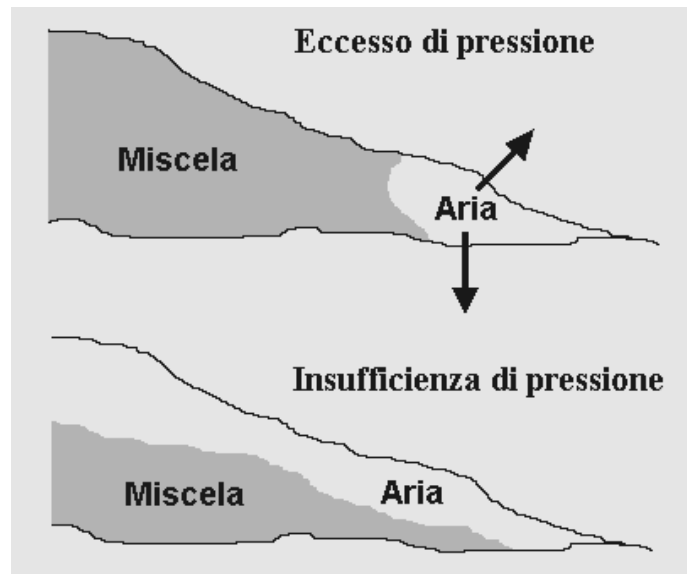


Fig.7.4

7.4.4 Valutazione dell'efficacia dell'intervento

L'efficacia delle iniezioni dipende da molteplici parametri, tra cui: le proprietà fisiche e chimiche della muratura e delle miscele iniettate, la dimensione e la distribuzione delle lesioni, le condizioni termoigrometriche dell'ambiente in cui si va a operare e, ovviamente, le modalità d'esecuzione della stessa tecnica.

La fattibilità dell'intervento passa attraverso le prove preliminari sui materiali (supporto e miscela legante) e le prove di iniettabilità del supporto; una serie di indagini in sito, pre- e post-consolidamento, consente di valutare poi, in termini quantitativi, l'affidabilità della tecnica.

7.5 Gli intonaci armati

La tecnica di consolidamento mediante intonaci armati consiste nel realizzare in aderenza alla superficie muraria, delle lastre di materiale a base cementizia (malta, betoncino, gunite), armate con una rete metallica, e rese solidali a essa da tiranti passanti in acciaio.

Ai fini dell'affidabilità della tecnica svolgono un ruolo fondamentale i connettori trasversali, la cui efficacia è pressoché nulla, con il tipo di muratura in esame, se essi non sono passanti e ancorati nella stessa paretina armata, applicata su entrambe le facce della parete da rinforzare.

La tecnica consente di migliorare le caratteristiche di resistenza dell'apparato murario, grazie all'incremento di sezione resistente apportato dalle lastre e all'effetto di confinamento esercitato sulla muratura degradata, e di aumentarne nel contempo la duttilità. Può risultare adatta a quelle murature in stato di degrado particolarmente avanzato e non in grado di sopportare eccessive manipolazioni; in presenza di quadri fessurativi complessi ed estesi, altre tecniche come le iniezioni o la sostruzione muraria possono infatti risultare inapplicabili.

L'applicazione delle paretine non prevede alterazioni allo stato di sollecitazione della struttura durante l'esecuzione, ma modifica in maniera sostanziale le rigidezza delle pareti e quindi la loro risposta sismica.

La tecnica rende per tale ragione molto problematico l'intervento localizzato se limitato solo ad alcune pareti, mentre si presta a rinforzare zone limitate di una parete particolarmente ammalorata, oppure e intersezioni verticali delle pareti non sufficientemente connesse.

Dal punto di vista esecutivo, il metodo prevede tecnologie e materiali di basso costo e facile reperibilità, e l'impiego di attrezzature generalmente adoperate per operazioni d'intonacatura. Ne derivano i vantaggi di economicità, rapidità di esecuzione e non necessità di manodopera specializzata.

Aspetti negativi legati agli effetti della tecnica sono:

- ✓ alterazione dell'aspetto esteriore della muratura: il metodo non risulta applicabili in edifici particolarmente interessanti dal punto di vista storico ed architettonico o con decorazioni parietali quali affreschi o stucchi;
- ✓ alterazione delle proprietà fisiche della parete, quali isolamento termico e traspirabilità;
- ✓ alterazione delle caratteristiche di deformabilità delle pareti: l'intervento conferisce elevata rigidezza alla parete, per cui un suo impiego non controllato può provocare scompensi localizzati e pericolose alterazioni al comportamento statico e dinamico dell'intero edificio;
- ✓ notevole vulnerabilità nei confronti di agenti ambientali derivante dalla possibilità di corrosione dei connettori trasversali.

Anche per questa tecnica mancano regole specifiche per la progettazione e l'esecuzione a base sperimentale; tuttavia, esso risulta molto praticato in virtù della sua economicità e facilità d'esecuzione, basandosi su criteri di dimensionamento empirici e generici. Il controllo dell'efficacia della tecnica è molto spesso trascurato, in virtù della fiducia nella sua affidabilità.

Questo tipo di intervento può essere utilizzato per il rinforzo sia di murature in pietra che di mattoni. Per murature in pietra di qualità scadente è opportuno associare l'intervento citato alla tecnica delle iniezioni.

7.5.1 Materiali impiegati

I materiali occorrenti per l'esecuzione della tecnica sono: miscela legante per la costituzione dell'intonaco e rete elettrosaldata di acciaio.

La miscela da adottare può essere di diversa composizione, a seconda della procedura utilizzata; alcune possibili soluzioni sono:

- miscela secca di sabbia e cemento in proporzione 4 a 1, proiettata in pressione attraverso un ugello, all'interno del quale viene aggiunta acqua fino a ottenere buone caratteristiche di fluidità (gunite);
- intonaco di malta cementizia ad elevato contenuto di cemento (betoncino);
- conglomerato cementizio.

Due tipiche composizioni di questi materiali possono essere, per metro cubo d'impasto:

❖ Calcestruzzo:

400 kg di cemento,
850 kg di sabbia,
850 kg di pietrisco,
fluidificante,
acqua necessaria per un "slump test" di circa 200 mm.

❖ Gunite:

500 kg di cemento,
1700 kg di sabbia frantumata e pulita (diametro max = 5 mm),
150 ÷ 250 kg d'acqua.

Qualunque sia il sistema adottato, è opportuno utilizzare nelle miscele prodotti antiritiro o espansivi per evitare fessurazioni indesiderate.

7.5.2 Modalità esecutive

Si riportano di seguito i paragrafi delle normative sulle riparazioni descrittivi la tecnica di consolidamento con paretine.

Legge Regionale Friuli Venezia Giulia, DT 2 del Novembre 1977:

1.2.2.2 Lastre di cemento armato:

Si tratta di realizzare in aderenza alle murature che debbono essere consolidate da uno o da ambo le parti di essa, lastre di cemento armato efficacemente collegate alla vecchia struttura.

La realizzazione delle lastre armate può effettuarsi con uno dei seguenti sistemi costruttivi:

- I. getto di conglomerato cementizio, con spessore non inferiore a 5 cm, armato con tondi F8 verticali ed orizzontali ad interasse di 20 cm;
- II. intonaco con malta cementizia, di spessore minimo di 3 cm armato con reti metalliche elettrosaldate costituite da tondini F 4 -F 6 con maglia 10x10 cm;
- III. applicazione a spruzzo di malta cementizia, a elevato dosaggio di cemento (gunita) fino a realizzare uno spessore minimo di 3 cm, previa applicazione alla muratura di rete metallica con maglia 10x10 cm.

Qualunque sia il sistema costruttivo adottato è opportuno additivare gli impasti con prodotti antiritiro.

Di norma l'applicazione delle lastre si effettua per murature di laterizio, su entrambe le facce. Nel caso che si debba necessariamente intervenire su un solo lato si consiglia la realizzazione secondo il sistema I.

Per il collegamento delle lastre fra di loro e con la muratura preesistente si dovrà prevedere l'impiego di almeno 6 staffe $\varnothing 6$ per m².

Qualunque sia la tecnica esecutiva prescelta fra quella in precedenza illustrate, l'esecuzione delle lastre armate deve essere preceduta da alcune operazioni preparatorie:

- ✓ asportare il vecchio intonaco;
- ✓ lavare e saturare con acqua la muratura;
- ✓ riempire le fessure macroscopiche con malta cementizia.

L'efficacia del consolidamento, inoltre, è sempre subordinata non solo alla correttezza delle modalità esecutive ma anche alla cura con cui le lastre, e quindi le murature incamiciate, vengono collegate alle altre strutture portanti.

In particolare, perciò, si avrà cura di risvoltare per 50-100 cm le lastre nelle murature verticali ad esse ortogonali, collegandole altresì a solai e fondazioni.

2.2 Caratteristiche meccaniche delle murature consolidate con lastre di calcestruzzo armato sulle due facce:

I dati disponibili attualmente (forniti dallo ZMRK di Lubiana e riportati nel quaderno n. 3 del CRAD, Udine 1977), riguardano un muro in laterizio di spessore pari a 0.25 m realizzato con malta di calce e sabbia, al quale sono state applicate due lastre di 3 cm di spessore, armate con rete F 6 e interasse di 15 cm.

Il collegamento delle lastre è stato effettuato con 4 staffe F 6 per m². Dopo il consolidamento la resistenza caratteristica t_k è salita dal valore di 0.75 kg/cm² al valore di 1.75 kg/cm².

Nella più parte dei casi, la rottura è avvenuta previo distacco delle lastre dal paramento murario, denunciando l'insufficienza dei collegamenti tra le lastre.

Decreto 2 Luglio 1981:

3.4.2.3 Applicazione di lastre e reti metalliche elettrosaldate:

Alle murature che presentano lesioni isolate oppure in corrispondenza di aperture o d'angolo possono applicarsi, preferibilmente su entrambe le facce delle pareti, lastre in cemento armato, collegate fra loro da armature trasversali di cucitura.

In alternativa possono usarsi reti elettrosaldate posizionate su ambedue le facce di parete, cucite fra loro con tondini di acciaio, e ricoperte di intonaco cementizio.

Le reti vanno risvoltate in corrispondenza degli spigoli verticali e fissate con chiodi alla muratura.

In corrispondenza dei collegamenti agli elementi in calcestruzzo esistente dovranno essere utilizzate preferibilmente malte confezionate antiritiro.

Circolare 30 Luglio 1981:

3.3.3 Applicazione di lastre e reti metalliche elettrosaldate:

L'intervento mira a conservare, adeguandola alle nuove esigenze, la funzione resistente degli elementi murari, fornendo a essi un'adeguata resistenza a trazione e dotandoli di un grado più o meno elevato di duttilità, sia nel comportamento a piastra che in quello a parete di taglio.

Quando l'intervento è esteso, con particolari accorgimenti, in corrispondenza degli innesti murari, si realizza anche una modificazione migliorativa dello schema strutturale.

Il consolidamento si esegue con l'apposizione, su una o entrambe le facce del muro, di armature di acciaio o di lastre cementizie, di adeguato spessore.

Le armature sono costituite da barre verticali ed orizzontali o da reti; ferri trasversali passanti nel muro assicurano i collegamenti.

In relazione al tipo e allo stato di consistenza della muratura, a questo intervento può essere associata l'iniezione in pressione, nel corpo murario di miscele leganti.

L'estensione dell'intervento può comprendere l'intero edificio oppure soltanto alcuni elementi, scelti in base alla natura e allo stato delle murature, all'entità dei dissesti, etc. Su ciascun elemento murario, poi, l'intervento può ancora essere dosato, operando rispettivamente per "fasce" verticali ed orizzontali, limitandosi al solo rinforzo del perimetro dei vani porta o finestra o adottando un sistema misto di rinforzo.

La tecnologia dell'intervento è articolata nelle seguenti operazioni:

1. eliminazione dei solai, quando irrecuperabili o riparazione degli stessi, se da conservare;
2. preparazione delle murature, previa adeguata puntellatura: asportazione dell'intonaco, riempimento delle cavità esistenti con particolare riguardo a quelle in prossimità delle ammorsature dei muri, rifacimento a cuci - scuci, spazzolatura, lavaggio con acqua ad aria in pressione;
3. intervento sulle fondazioni, per realizzare l'ancoraggio delle barre verticali di muratura e l'eventuale adeguamento della base di appoggio ai nuovi carichi;
4. esecuzione delle perforazioni nella muratura per l'alloggiamento delle barre trasversali di collegamento;
5. applicazione delle barre o delle reti di armatura su una o entrambe le facce del muro, con adeguata sovrapposizione e con risvolto nei vani porta o finestra;
6. messa in opera di distanziatori dell'armatura dal muro, per consentire il completo avvolgimento delle barre da parte dell'intonaco, di spessore adeguato e comunque non inferiore a 2 cm;
7. alloggiamento, nei fori, dei ferri trasversali con adeguato risvolto di fissaggio alle armature;
8. esecuzione dell'intonaco di cemento per lo spessore prefissato (dopo abbondante lavaggio della superficie);
9. rifacimento, o completamento, dei solai;
10. esecuzione delle eventuali iniezioni nei muri, effettuate con pressioni che, per la presenza dell'intonaco armato avente funzione di contenimento, possono anche essere elevate, fino a $2-3 \text{ kg/cm}^2$.

Circolare 10 Aprile 1997:

La circolare riprende, nell'allegato 3 al punto 4. Applicazione di lastre e reti metalliche elettrosaldate la tecnica delle paretine armate grossomodo negli stessi termini espressi dalla circolare del 1981.

Alcune modifiche sostanziali sono di seguito riportate:

- ✓ si afferma che è opportuno che questo tipo di intervento venga esteso anche agli innesti murari (la precedente circolare rimaneva sul vago in proposito);
- ✓ si elimina la possibilità di effettuare il confinamento trasversale con armature di acciaio o lastre cementizie, sostituendo tale affermazione con le sole lastre cementizie opportunamente armate e di adeguato spessore;
- ✓ viene eliminata la frase per cui l'intervento possa essere esteso all'intero edificio oppure soltanto ad alcuni elementi; l'uniformità dell'intervento, soprattutto in questo caso, che è legato a notevoli incrementi di rigidità delle pareti, è un parametro determinante nel comportamento dell'edificio consolidato;
- ✓ vengono eliminate le fasi 1) e 10) della precedente circolare, relativi alla eliminazione e al rifacimento dei solai, e viene aggiunta, tra le fasi 7) ed 8) precedenti, ossia tra l'operazione di alloggiamento dei tondini nei fori trasversali e l'esecuzione dell'intonaco, una nuova specifica, relativa all'inserimento dei collegamenti delle lastre cementizie agli elementi resistenti di contorno (solai - cordoli - pareti trasversali – fondazioni).

7.5.3 Tecniche di esecuzione

Il posizionamento delle lastre in c.a. dovrebbe essere tale da non alterare eccessivamente il comportamento globale della struttura.

Le operazioni di consolidamento dovrebbero quindi essere eseguite il più simmetricamente possibile rispetto alla pianta dell'edificio, in modo da non indurre fenomeni torsionali, visto l'incremento di rigidità che viene ad avere la parete sulla quale si interviene.

È buona regola partire con i lavori dai piani più bassi, visto il notevole aumento delle masse apportato dalle pareti, ed è importante operare con continuità verticale a partire dal piano in cui si interviene fino al piano delle fondazioni.

L'intervento può essere eseguito con diverse modalità:

- ❖ con la costruzione di vere e proprie pareti in c.a., sistema che può essere adatto quando è necessario intervenire da un solo lato della parete;
- ❖ con la formazione di lastre sottili in c.a. (gunita) armate con reti di acciaio elettrosaldate;
- ❖ con l'applicazione di intonaco di spessore di almeno 3 cm di malta cementizia (betoncino) armato, sempre con reti di acciaio elettrosaldate.

Questi ultimi due sistemi sono particolarmente adatti per le riparazioni in corrispondenza di lesioni isolate.

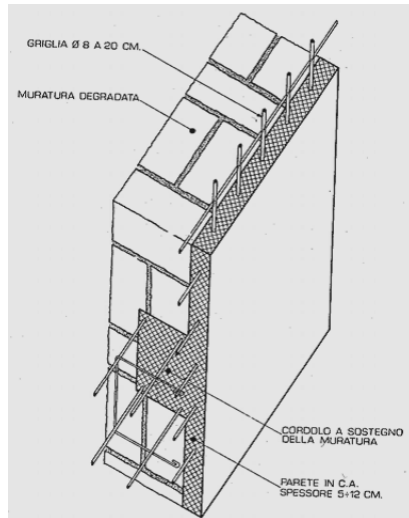


Fig.a

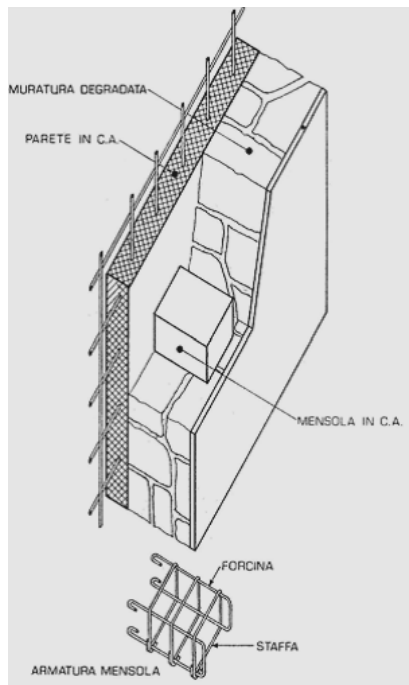


Fig.b

Fig.7.5 Applicazione di parete in c.a. ammassata alla muratura originaria mediante cordoli (a) e mediante mensole (b).

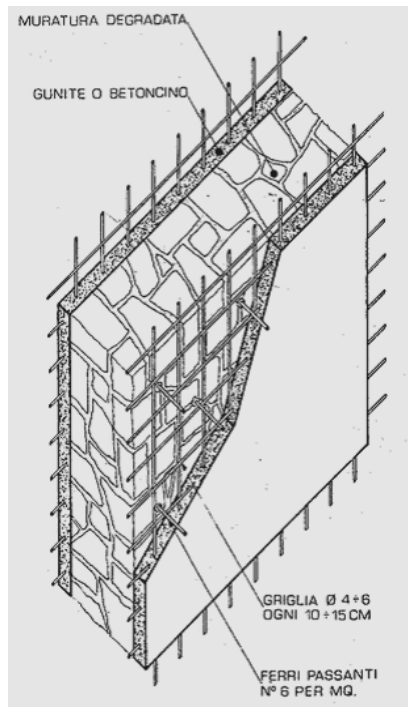


Fig.a

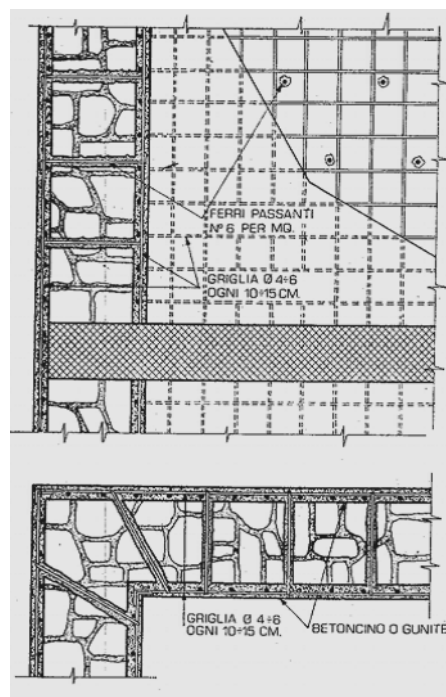


Fig.b

Fig.7.6 Consolidamento di muratura mediante lastre sottili (gunita o betoncino) armate con rete elettrosaldata in acciaio e collegate da ferri passanti. Vista assometrica (a); sezione orizzontale e verticale (b).

Nelle figg. 7.5 e 7.6 sono riportate alcune modalità di esecuzione della tecnica. È da sottolineare che l'ammorsamento mediante cordolo continuo indebolisce notevolmente la sezione del muro, interrompendo la continuità del paramento.

La procedura di esecuzione del consolidamento mediante paretine sottili, che rappresenta la modalità maggiormente diffusa tra quelle elencate, si articola nelle seguenti fasi:

- i. *Preparazione della parete:* valgono essenzialmente le considerazioni già esposte per le iniezioni: asportazione dell'intonaco e messa a nudo della tessitura muraria, spazzolatura e lavaggio della muratura con getto di acqua o aria a bassa pressione e stuccatura con malta cementizia a presa rapida di fessure e vuoti macroscopici. Nell'operazione di lavaggio la superficie della parete va portata a saturazione in modo da evitare la sottrazione d'acqua al materiale spruzzato che può pregiudicare la corretta presa.
- ii. *Perforazioni:* la perforazione della muratura, per la messa in opera delle armature di collegamento paretine - muratura, è da effettuarsi per mezzo di trapani o sonde a rotazione in corrispondenza dei blocchi di pietra; i fori, distribuiti in modo uniforme sulla parete, equidistanti fra loro e a file sfalsate, devono essere leggermente inclinati per agevolare il loro successivo riempimento con malta cementizia.
Per betoncino su una sola faccia vanno realizzati almeno 6 fori al mq di diametro 40 mm e lunghezza pari ai $\frac{3}{4}$ dello spessore della parete; per betoncino su due facce sono necessari almeno 4 fori passanti al mq di diametro 40 mm.
- iii. *Inserimento dei tiranti passanti:* generalmente vengono utilizzati tondini per c.a. ad aderenza migliorata del diametro variabile da 4 a 8 mm; essi possono venire posizionati per battitura attraverso i giunti di malta, sfruttando eventualmente le lesioni presenti, oppure infilati in fori praticati appositamente, che successivamente possono anche essere sigillati con iniezione di malta. Il loro numero può variare a seconda dei casi, è bene però non scendere sotto i due tiranti per metro quadro. Nel caso si adoperino, al posto dei tiranti passanti, staffature inserite in nicchie appositamente predisposte, successivamente riempite durante la spruzzatura del materiale, il loro numero consigliato è di almeno 6 per metro quadrato. Risulta evidente l'aggravio di costo che ciò comporta, mentre non è altrettanto evidente un miglioramento dell'efficacia del consolidamento. È opportuno realizzare anche connessioni tra le lastre e gli elementi resistenti di contorno (cordoli, fondazioni, etc.).
- iv. *Posizionamento delle armature:* in genere si usano reti elettrosaldate con barre del diametro di 3 ÷ 6 mm con maglia 10x10 oppure 15x15 cm. La rete viene posizionata su un lato o su entrambe le facce della parete da consolidare, distanziata dalla muratura di almeno 2 cm. Per il maggiore tempo di posa richiesto è da evitare di costruire la trama con singole barre. Buona regola è risvoltare la rete di almeno 50 ÷ 100 cm in corrispondenza delle intersezioni con murature ortogonali o in corrispondenza delle porte o finestre; lungo i bordi delle

aperture deve essere sovrapposta di almeno due maglie nei punti di giunzione. Posizionata la rete si ripiegano i tiranti a uncino di 90°.

v. *Esecuzione delle lastre*: la posa in opera della miscela legante viene realizzata, previo accurato lavaggio e bagnatura fino a saturazione della muratura, con procedure diverse in funzione dello spessore della lastra che si vuole applicare:

- ✓ per getto in apposita cassera, nel caso di pareti di spessore 5-15 cm, generalmente di c.a.;
- ✓ in pressione, per spessore tra i 3 e i 5 cm (rapporto sabbia-cemento 4:1);
- ✓ spruzzata meccanicamente sulla rete in uno o più passaggi per creare lo spessore desiderato, fino ad un massimo di 3 cm.

Gli spessori maggiori vanno realizzati con l'impiego di betoncino, mentre quelli inferiori con gunite. Nei giorni successivi deve essere inoltre eseguita la bagnatura per ridurre i fenomeni di ritiro.

Nelle figure 7.7 e 7.8 viene mostrato uno schema di applicazione della tecnica nelle varie posizioni richieste dal consolidamento.

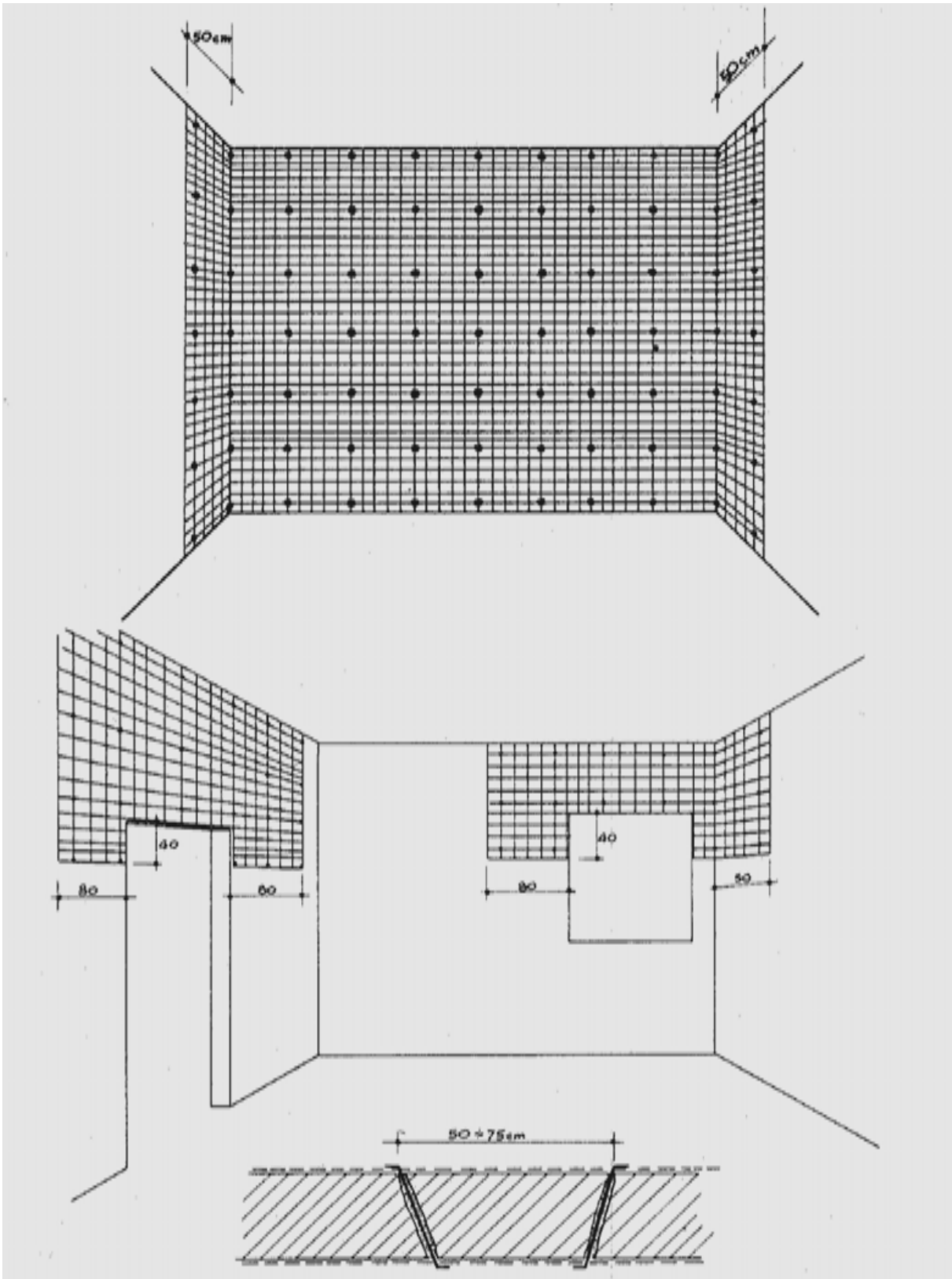


Fig.7.7 Posizionamento della rete metallica nel caso di consolidamento di un'intera parete e in corrispondenza di fori e aperture; particolare del collegamento tra le reti in sezione orizzontale.

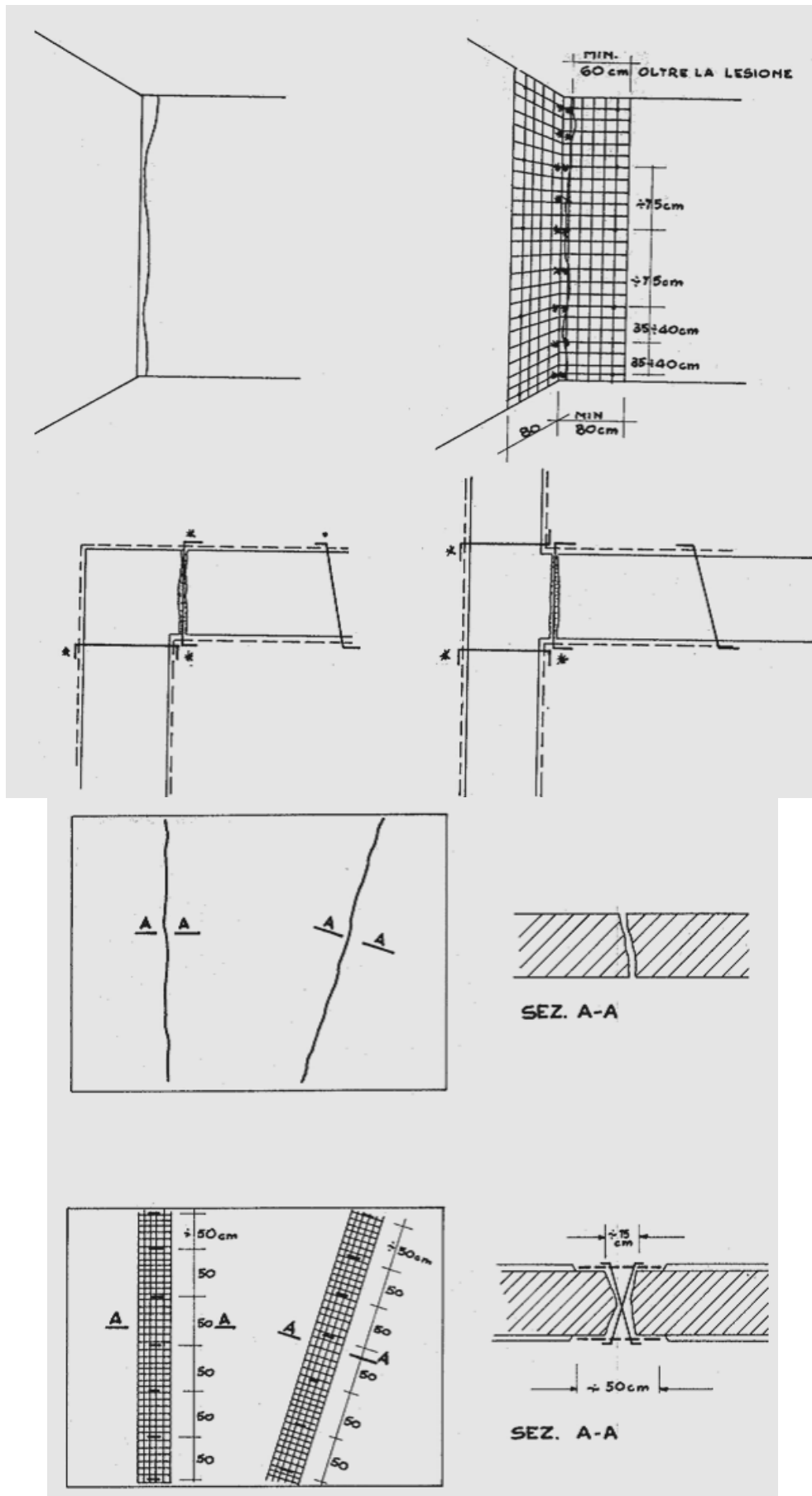


Fig. 7.8 - Applicazione di rete elettrosaldata nelle zone d'angolo ed in corrispondenza di singole lesioni passanti.

7.5.4 Valutazione dell'efficacia dell'intervento e confronto con la tecnica delle iniezioni

Osservando le varie prove di laboratorio si denota che la rottura avviene prima nei modelli a spessore maggiore della paretina che in quelli a spessore inferiore.

Per spiegare questo fenomeno apparentemente paradossale si può pensare all'instaurarsi di fenomeni di instabilità globale delle paretine, avanzando le seguenti ipotesi.

L'azione del muro sulla paretina può essere suddivisa in due singoli meccanismi, causati da due modalità differenti di applicazione delle azioni, illustrate in fig. 7.9.

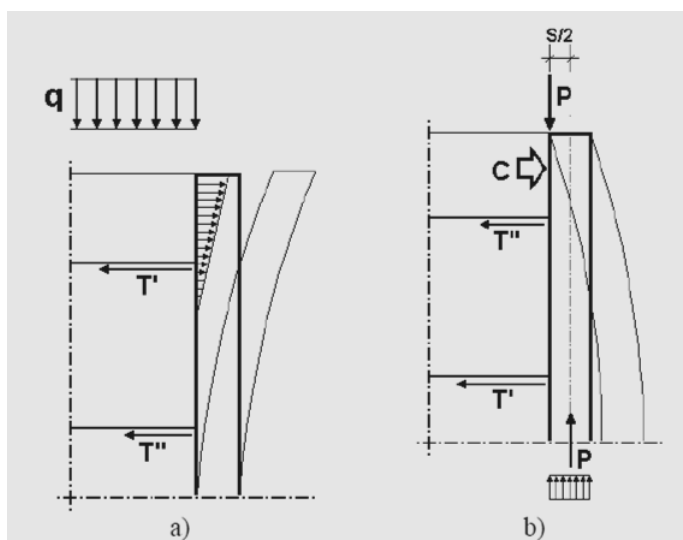


Fig. 7.9 - Azioni della muratura sulle paretine: primo tipo (a) e secondo tipo (b).

Una prima azione che agisce sulla paretina è la spinta esercitata dallo strato superiore della muratura, ormai plasticizzata e più libera di deformarsi trasversalmente, sulla parte corrispondente della parete di contenimento. Tale spinta viene contrastata dai due tiranti, che sviluppano le due reazioni T' e T'' . Risulta evidente che la barra superiore, per effetto della maggiore sollecitazione, arriva alla plasticizzazione prima di quella inferiore. A plasticizzazione avvenuta del tirante superiore la parete tende ad incurvarsi e la deformata che ne consegue presenta la concavità verso l'esterno.

Si può supporre, per l'altro tipo di azione e secondo una schematizzazione approssimata, che lo sforzo di taglio P venga trasmesso tutto alla testa della paretina con un'eccentricità pari ad $s/2$. La tensione che si sviluppa in mezzeria della paretina è approssimativamente uniforme nello spessore e offre la reazione a tale sforzo in corrispondenza al baricentro dello stesso. Le due forze P risultano quindi disassate di circa $s/2$ e danno origine ad una coppia che viene equilibrata da un'altra di verso opposto composta dalle reazioni dei tiranti T' e T'' e dalla forza risultante C delle compressioni che si generano in testa alla muratura dove la paretina si appoggia. Anche in questo caso la paretina tenderà a incurvarsi, ma la deformata avrà concavità rivolta verso l'interno, mentre il tirante più sollecitato e quindi, il primo a raggiungere la plasticizzazione, sarà quello inferiore.

Queste due azioni, in realtà, si combinano nel sollecitare la paretina; ma, mentre la prima si può ritenere non vari significativamente al variare dello spessore, la seconda dipende invece in maniera diretta da questo parametro, per effetto della variazione del braccio della coppia. Quello che si può supporre è che aumentando lo spessore il secondo meccanismo divenga predominante sul primo portando prima all'instabilità la paretina.

I risultati delle elaborazioni sembrano confermare questa ipotesi, essendosi riscontrata prima la plasticizzazione nel tirante superiore nelle pareti con spessore sottile e di quello inferiore nelle pareti a spessore più elevato. In particolare, nel modello con spessore uguale a 6 cm, si è rilevato che la plasticizzazione dei due tiranti avviene all'incirca contemporaneamente per un valore del carico di 1.8 MPa, a indicazione che le due modalità di azione si equivalgono.

Un aumento dell'area di acciaio migliora le caratteristiche meccaniche della muratura specialmente in fase plastica. Nulla si può dire però sulla possibilità di potere usare poche barre di elevato diametro invece che una distribuzione più diffusa di barre sottili, cosa non di poco conto se si considera il costo economico dell'operazione che nel secondo caso risente molto dell'impiego della manodopera. Solo un modello tridimensionale può dare indicazioni attendibili in tal senso.

Anche il posizionamento dei tiranti sulla parete gioca un ruolo determinante sull'efficacia dell'intervento di consolidamento: nelle pareti di altezza più usuale la rottura avviene per inflessione locale della paretina ai margini estremi; per contenerla e ridurla risulta allora consigliabile infittire in queste fasce piuttosto che al centro la distribuzione dei tiranti.

Sempre nelle pareti con elevata altezza rispetto al modello standard risulta importante lo spessore della paretina che aumenta la rigidità flessionale; in proposito si rileva pure l'importanza di un'adeguata rete elettrosaldata, da posizionarsi il più possibile vicino alla superficie esterna, che deve farsi carico delle trazioni che si verificano al lembo esterno della paretina per le effetto di dette inflessioni.

Diminuendo l'altezza della parete è bene però non aumentare oltremodo il valore dello spessore, potendo verificarsi azioni del secondo tipo viste in precedenza, per le quali lo spessore eccessivo può innescare precoci effetti di instabilità.

È stato osservato che il caso con consolidamento effettuato con applicazione della paretina solo da un lato non ha registrato alcun aumento della resistenza; ciò è probabilmente dovuto a una concomitanza di diversi aspetti:

- l'impossibilità di eseguire un adeguato ancoraggio delle barre trasversali alla muratura, che in genere presenta bassa resistenza;
- la scarsa aderenza superficiale all'interfaccia dei due materiali, che non permette quindi il trasferimento dello sforzo applicato dalla muratura alla paretina armata;

- il possibile innesco di una sollecitazione flessionale anomala dovuta al fatto che la muratura caricata, deformandosi in base alle proprie caratteristiche meccaniche, perviene a collasso prima che la lastra in c.a. possa attivare il proprio effetto.

Il consolidamento con paretine è un metodo semplice e rapido e adatto per murature anche molto scadenti, ma necessita di un adeguato dimensionamento sia in quanto altera le rigidità sia a compressione che a taglio della muratura originaria, sia in relazione ai fenomeni di instabilità possibili delle lastre, per effetto della scarsa presenza di collegamenti trasversali. Di queste considerazioni si deve tener conto soprattutto in tema di comportamento sotto azioni sismiche.

La tecnica di rinforzo con iniezioni permette di incrementare la resistenza senza però variare eccessivamente le caratteristiche di deformabilità della muratura originaria. Tale aspetto rende opportuno l'impiego di questo tipo d'intervento per interventi globali negli edifici, dove risulta importante non alterare il comportamento statico globale, oppure per interventi parziali che possono diventare pericolosi in caso di forti variazioni della deformabilità. La stessa tecnica però presenta grosse difficoltà nella scelta del materiale più appropriato (possibili incompatibilità chimiche o fisiche dei componenti di classico uso con il substrato delle murature) e nella valutazione del numero adeguato di punti d'immissione della miscela.

Nell'ambito delle prove sperimentali in sito, la tecnica di caratterizzazione basata sull'impiego dei martinetti piatti ha mostrato di poter rappresentare il punto di passaggio nella correlazione dei risultati tra prove distruttive e prove non distruttive (prove soniche, in particolare).

7.6 Le iniezioni armate

La tecnica delle iniezioni armate consiste nel disporre armature all'interno della muratura, inserendole in fori successivamente cementati con miscele per iniezioni.

In base alla modalità di impiego, possono avere la funzione di "cucitura" tra elementi sconnessi (rinforzo localizzato delle zone d'angolo, ammortamento dei muri ortogonali, ricongiungimento di parti lesionate) oppure di rinforzo dell'intero elemento strutturale.

In presenza di murature di buona qualità, che non siano degradate, ma non presentino adeguate ammortature tra le pareti ortogonali, è possibile infatti ripristinare il collegamento tra i diversi elementi strutturali per mezzo di un reticolo di fori armati e cementati. Viceversa, se estese ai componenti strutturali (pilastri o pareti), le iniezioni armate permettono di conferire alle murature esistenti una maggiore resistenza alle sollecitazioni (taglio, pressoflessione) conferendo caratteristiche simili a quelle della muratura armata.

Dal punto di vista strutturale, tale tecnica di consolidamento associa all'aumento di resistenza a compressione della muratura, prodotta dalla cementazione, un ampliamento del dominio di rottura nel campo delle trazioni, per effetto della presenza di armatura metallica.

La disposizione trasversale nello spessore del muro delle barre di armatura consente, inoltre, di contrastare l'espansione laterale degli elementi compressi.

La tecnica non comporta modifiche dal punto di vista estetico, per cui può collocarsi tra gli interventi possibili per opere di particolare pregio artistico.

7.6.1 Modalità esecutive

Le iniezioni armate non sono quasi per niente contemplate dai decreti ministeriali presi come riferimento per questa trattazione; solo le circolari del 1981 e l'ultima del 1997, contengono una breve e sommaria descrizione dell'intervento, inclusa nella sezione dedicata alle iniezioni, e classificata alla pari con i due tipi di miscela proposti, quella a base di legante cementizio e quella a base di resine organiche.

Circolare 30 Luglio 1981:

3.3.2 Iniezioni di miscele leganti:

c) Iniezioni armate:

Tale sistema di consolidamento prevede l'inserimento nella muratura di un reticolo di barre metalliche, assicurandone la collaborazione mediante sigillatura con miscele cementanti. L'uso di questa tecnica è particolarmente consigliabile allorché si debbano realizzare efficaci ammorsature tra le murature portanti, nei casi in cui non si possa ricorrere all'uso di altre tecnologie.

In quest'ultimo caso le cuciture consistono in armature di lunghezza pari a 2-3 volte lo spessore delle murature, disposte in fori trivellati alla distanza di 40-50 cm l'uno dall'altro ed inclinati alternativamente verso l'alto e verso il basso di circa 45°. I fori vengono successivamente iniettati e la miscela si diffonde in corrispondenza dello spigolo dell'edificio determinato dalle pareti ortogonali così "cucite" realizzando un complesso molto resistente.

Le miscele leganti da impiegare sono dello stesso tipo di quelle esaminate ai punti precedenti con l'avvertenza che dovranno essere ancora più accentuate le caratteristiche di elevata aderenza e antiritiro, per poter contare sulla collaborazione tra armature e muratura, oltre che di resistenza, poiché nel caso specifico le iniezioni sono localizzate nelle zone più sollecitate.

Qualche volta può essere necessario consolidare preventivamente la muratura mediante iniezioni semplici.

Circolare 10 Aprile 1997:

La circolare riprende, nell'allegato 3 al punto 3. Iniezione di miscele e leganti, la tecnica delle cuciture armate grossomodo negli stessi termini espressi dalla circolare del 1981.

L'unica nota è che non viene dato uno specifico angolo di inclinazione per i fori trivellati (nella precedente circolare era di circa 45°).

7.6.2 Tecniche di esecuzione

L'intervento si esegue introducendo, in fori praticati nelle murature, barre di acciaio ad aderenza migliorata del diametro di 12-16 mm o trefoli di acciaio armonico che, per mezzo dell'iniezione di malta cementizia, vengono solidarizzate al supporto murario.

Per la realizzazione dei fori, generalmente inclinati, è necessario adoperare una perforatrice a rotazione capace di realizzare fori di diametro modesto (dell'ordine di 4-6 cm) e di lunghezza a volte notevole.

In fig. 7.10 è riportato uno schema con alcuni casi possibili di posizionamento delle iniezioni armate.

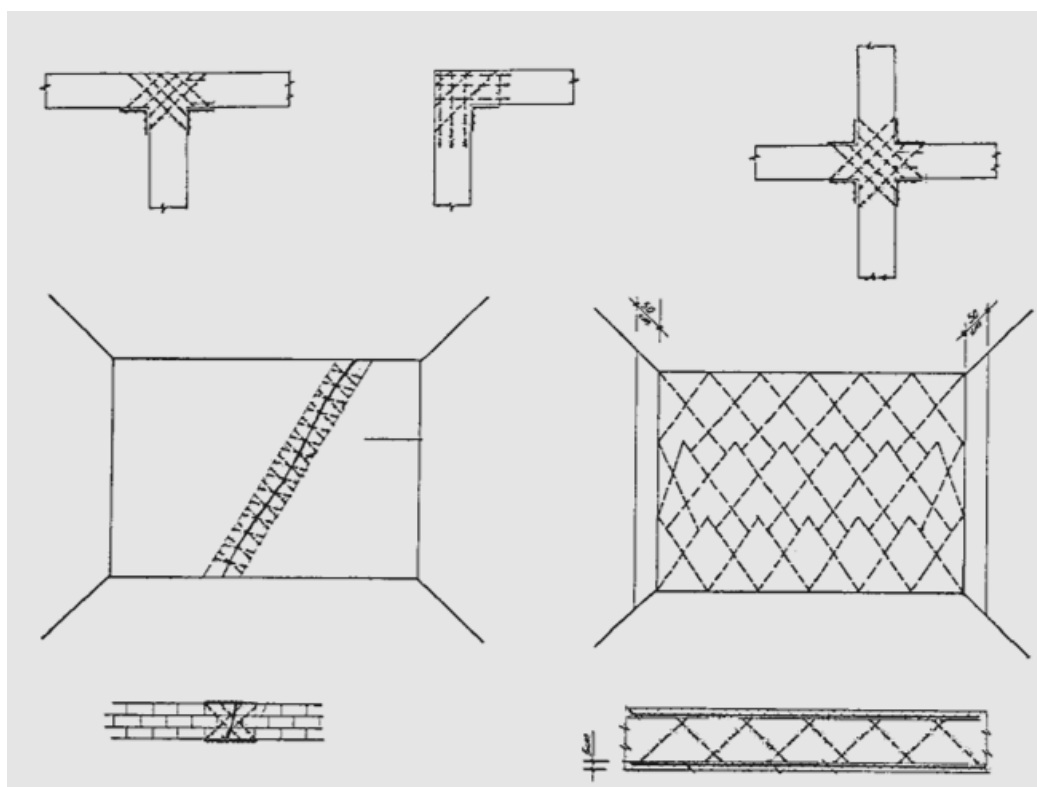


Fig. 7.10 - Schemi tipici di reticoli cementati: in corrispondenza di intersezioni murarie, per il ripristino di lesioni, e per il rinforzo dell'intero elemento strutturale.

Le fasi di esecuzione della tecnica sono:

1) *Perforazioni:*

- ✓ tracciamento della posizione e del percorso delle perforazioni;

- ✓ foratura della muratura: i fori, inclinati alternativamente verso l'alto e verso il basso e direzionati variamente in pianta, hanno interasse tra i 40 e i 50 cm e lunghezza dipendente dal livello di aderenza sia tra malta e barre, sia tra malta e tessitura preesistente;
- ✓ pulitura dei fori per mezzo di getto d'aria in pressione, al fine di garantire una perfetta aderenza tra muratura e malta successivamente iniettata.

2) *Posizionamento delle barre:*

- ✓ posizionamento delle barre d'acciaio ad aderenza migliorata; in alcuni casi è opportuno realizzare efficienti ancoraggi alle estremità delle barre al fine di evitare il rischio di sfilamento;
- ✓ eventuale messa in tensione delle barre in modo da avere un'azione di contrasto sulla muratura prima dell'insorgere di nuove deformazioni.

3) *Esecuzione delle iniezioni:*

- ✓ getto della malta di completamento (boiaccia di cemento) a bassa pressione (2 - 3 atm) e riempimento dell'imbocco del foro con malta cementizia;
- ✓ sistemazione della testa del foro con riempimento dell'imbocco con cocci di laterizi e malta cementizia.

A intervento ultimato, la sovrapposizione delle aree interessate dalla trasudazione dell'acqua contenuta nella boiaccia di cemento iniettata in pressione costituisce un segnale di buona diffusione dell'intervento.

Nel caso di consolidamento di intere pareti, l'intervento può essere eseguito in concomitanza con l'operazione di iniezione del muro; l'inserimento delle barre può avvenire, allora, negli stessi fori di iniezione, posizionati opportunamente.

7.7 Le tirantature metalliche

La tecnica d'intervento per mezzo di tirantature metalliche è particolarmente indicata nei casi in cui risultino inadeguati i collegamenti tra le pareti ortogonali, o insufficienti i vincoli tra pareti e solai. Attraverso l'applicazione delle catene è, infatti, possibile ottenere un efficace collegamento tra le strutture portanti in corrispondenza dei solai, assicurando così un funzionamento monolitico del complesso edilizio.

L'inserimento di tirantature metalliche tende, inoltre, a eliminare o ridurre le spinte orizzontali trasmesse alle murature verticali da strutture tipicamente spingenti - archi, volte, capriate - sopperendo così alla scarsa resistenza a trazione, caratteristica delle murature.

Se le condizioni della struttura su cui si va ad operare lo consentono, è opportuno porre in opera le catene sotto un'adeguata pretensione così da evitare l'aggravarsi del dissesto e anzi far regredire gli spostamenti che a esso si accompagnano. Quanto detto evidenzia come la buona riuscita di una tecnica di intervento semplice, antica e pertanto molto diffusa quale l'incatenamento, sia sostanzialmente legata ad una corretta valutazione della pretensione necessaria e al suo effettivo conseguimento.

7.7.1 Modalità esecutive

Prima di citare le prescrizioni normative, nell'evoluzione attinente alle riparazioni, è opportuno riportare alcune osservazioni sull'applicazione di tali elementi metallici, in relazione a problemi riscontrabili nella pratica corrente.

Visto il largo impiego dell'acciaio negli interventi di consolidamento statico delle murature, è importante soffermarsi su alcune considerazioni circa il problema della *durabilità* di tale materiale, tenuto conto delle difficoltà, e spesso della impossibilità pratica, di eseguire interventi di manutenzione.

In tale ambito va attentamente considerato l'impiego degli acciai speciali, in particolare gli inossidabili delle varie classi, sulla base delle loro caratteristiche di resistenza e di deformabilità, di lavorabilità e compatibilità con altri tipi di materiali.

Occorre tenere presente, a tale proposito, che le officine dove viene costruita la normale carpenteria, che utilizza acciai al carbonio, non sono necessariamente a conoscenza delle specifiche esigenze riguardanti le lavorazioni meccaniche e le saldature degli acciai inossidabili, per cui il capitolato dovrebbe essere più ricco di dettagli (attrezzature, velocità di lavorazione, tipo di elettrodi) quando è prevista possibilità che il materiale meno nobile si corroda a contatto con quello più nobile. Appare quindi opportuno diversificare in più voci questa categoria di lavoro, e in particolare prevedere descrizioni per strutture metalliche in genere; tiranti e piastre, e tasselli per cuciture localizzate, distinguendo il caso degli acciai al carbonio da quello degli acciai inossidabili.

Occorre inoltre qualche specifica per i trattamenti superficiali e per l'esecuzione dei fori, per la posa e soprattutto per l'ancoraggio dei tiranti, nel caso non possa essere realizzato con piastre esterne (esecuzione dei fori inclinati nella muratura e successiva iniezione), e dei tasselli.

Si riportano di seguito i paragrafi delle normative sulle riparazioni, che descrivono la tecnica di consolidamento strutturale per mezzo dell'applicazione di tirantature metalliche.

Legge Regionale Friuli Venezia Giulia, DT 2 del Novembre 1977:

1.2.4. Tiranti

I tiranti possono essere realizzati con barre di acciaio normale o con trefoli di acciaio armonico.

Con l'applicazione di tiranti ancorati alle murature mediante piastre si raggiunge lo scopo di realizzare un efficace collegamento fra le strutture portanti dell'edificio.

Per svolgere efficacemente la funzione di collegamento i tiranti devono essere applicati con le seguenti modalità:

- ❖ essere posizionati il più vicino possibile ai solai, avendo cura di limitare al massimo la spaziatura tra i tiranti che legano i muri tra loro perpendicolari;
- ❖ essere applicati su entrambe le facce dei muri per tutta la loro lunghezza ed essere il più possibile aderenti ai muri stessi.

Nel caso di muri a spessore variabile o che presentino curvature o sporgenze, il contatto muro - tirante deve essere garantito mediante legature trasversali; tali legature devono comunque essere effettuate quando il muro presenta uno sviluppo libero superiore a 7 m.

Per la posa di tiranti si seguiranno le seguenti modalità:

- ✓ i fori passanti saranno eseguiti con trapani a rotazione onde evitare sconessioni;
- ✓ l'area di appoggio delle piastre dovrà essere accuratamente preparata rendendola piana con malta cementizia;
- ✓ il tirante verrà posto in trazione solo a malta indurita;
- ✓ i tiranti dovranno essere protetti dagli agenti atmosferici.

Circolare 30 Luglio 1981:

3.3.5. Applicazione di tiranti

L'uso di tiranti di acciaio (analogamente a quello dei cordoli di piano) mira in primo luogo a migliorare lo schema strutturale – tramite la realizzazione di efficaci collegamenti tra le strutture murarie portanti – assicurando un funzionamento monolitico del complesso edilizio da consolidare.

Non risultano, per altro, trascurabili i vantaggi che ne conseguono nei riguardi della duttilità e della risposta ultima alle azioni sismiche, a parità di sollecitazioni agenti sull'elemento murario presollecitato.

Tuttavia, per quanto riguarda in particolare la presollecitazione verticale, si raccomanda che la tensione normale non superi, dopo la precompressione, il valore di un terzo di quella a rottura.

I tiranti possono essere posti in opera all'interno o all'esterno delle murature.

Nel primo caso (tiranti trivellati) essi sono costituiti da trefoli d'acciaio armonico disposti inguainati entro fori trivellati nello spessore delle murature.

Nel secondo caso i tiranti sono costituiti da barre di ferro disposte parallele sulle due facce della muratura e ammorsate a una piastra in testa del muro per mezzo di un sistema a vite che consente di imprimere uno stato di presollecitazione. Questo tipo di tiranti è prevalentemente usato nella disposizione orizzontale.

Gli elementi di contrasto sulle murature sono di regola costituiti da piastre metalliche che hanno il compito di distribuire la forza indotta dal tirante sulla muratura evitando concentrazioni di sforzi.

Nel caso di tirantature orizzontali queste adempiono inoltre al compito di legare le pareti ortogonali: a questo fine è opportuno che le teste dei tiranti siano collegate a piastre o a chiavi di grossa dimensione per migliorare le caratteristiche di connessione.

I tiranti esterni sono costituiti da barre metalliche aderenti alle murature e spesso poste in scanalature ricavate sulla loro superficie in modo da occultarne la vista. Anche qui, per i tiranti orizzontali, è opportuno disporre chiavi in testata, di dimensioni tali da garantire una buona legatura tra le murature.

Per i tiranti esterni sono estremamente utili dispositivi (come i tenditori) in grado di riprendere eventuali cadute di tiro che dovessero verificarsi nel corso degli anni.

Ordinanza N.230 del 5 Giugno 1984:

1.3.2. Incatenamenti

Ai livelli di volte e solai privi di cordoli o tiranti dovranno essere disposti incatenamenti sia esterni sia interni, su tutte le murature considerate resistenti alle azioni sismiche; tali incatenamenti, quando si riferiscono a murature esterne, dovranno interessare tutto il perimetro dell'edificio.

Le modalità esecutive saranno quelle della citata circolare n.21745 del 30 Luglio 1981.

Circolare 10 Aprile 1997:

Allegato 3 Punto 2. Applicazione di tiranti

Ove non sia presente un efficace cordolo in cemento armato, devono disporsi tiranti ancorati tramite piastre di dimensioni opportune o di chiavi, che consentano un'efficace cerchiatura dell'edificio.

I tiranti possono essere realizzati con normali barre in acciaio per armatura, piatti o profilati metallici o con trefoli in acciaio armonico. Questi possono essere disposti sia orizzontalmente che verticalmente, e devono essere estesi a tutta la dimensione della parete.

Se i solai non sono in grado di assicurare un sufficiente incatenamento delle pareti, si deve intervenire con tiranti orizzontali, ancorati all'esterno delle pareti medesime. In alternativa si possono far funzionare i solai come incatenamenti, applicando alle travi ed ai travetti, se questi elementi possono essere ritenuti idonei allo scopo, chiavi metalliche ancorate all'esterno della pareti. L'uso di tiranti in acciaio, analogamente a quello dei cordoli di piano, mira a migliorare lo schema strutturale tramite la realizzazione di efficaci collegamenti tra le strutture murarie portanti, assicurando un funzionamento monolitico del complesso edilizio da consolidare.

Non risultano, peraltro, trascurabili i vantaggi che ne conseguono nei riguardi della duttilità e della risposta ultima alle azioni sismiche se i tiranti sono presolleccitati.

Tuttavia, per quanto riguarda in particolare la presollecitazione verticale, è opportuno che la tensione normale, nelle murature, non superi, aggiunta alla precompressione, il valore di un quinto di quella di rottura.

7.7.2 Tecnica di esecuzione

I tiranti possono essere posti in opera all'interno o all'esterno delle murature. Nel primo caso si tratta di tiranti trivellati, costituiti da trefoli in acciaio armonico, disposti in guaine protettive entro fori trivellati nello spessore delle murature. Nel secondo caso i tiranti sono composti da barre, piatti o profilati in acciaio, aderenti alle murature o poste in scanalature ricavate sulla loro superficie in modo da occultarne la vista.

I dispositivi di ancoraggio delle catene alle murature sono costituiti da capichave metallici – a paletto o a piastra - che devono presentare caratteristiche di rigidità e resistenza tali da riportare le sollecitazioni trasmesse alla muratura entro valori ammissibili, così da evitare schiacciamenti o lesioni localizzate.

Le principali fasi di esecuzione di tale tecnica sono:

- I. *Preparazione delle pareti:* al fine di creare un'area di appoggio della piastra di ancoraggio adeguata alle sollecitazioni agenti dopo la messa in tensione della catena, è importante intervenire sulle murature con la scrostatura dell'intonaco e con eventuali operazioni di consolidamento nelle zone interessate dagli ancoraggi.
- II. *Dimensionamento delle catene e tracciamento dei livelli e degli assi dei tiranti:* per quanto riguarda il dimensionamento è da prendere in considerazione la resistenza a trazione del materiale metallico e quella a taglio del muro su cui agisce il capochave. Le catene, di sezione non inferiore a F16, non possono avere lunghezza superiore ai 20 m e devono agire per tratti rettilinei.

Per il tracciamento dei livelli vanno osservati alcuni importanti criteri di posizionamento:

- ✓ le catene vanno inserite a livello degli orizzontamenti ed in caso di solai sfalsati a metà fra i due;
- ✓ è bene mantenere eventuali simmetrie in pianta in modo da evitare l'insorgere di pericolosi effetti torsionali sulla struttura;
- ✓ le catene vanno inserite il più omogeneamente possibile lungo l'altezza dell'edificio in modo da ridurre la lunghezza libera di inflessione dei maschi murari per azioni normali al proprio piano;

- ✓ la disposizione più corretta prevede: per i muri di spina catene accoppiate, adiacenti, una da una parte e una dall'altra dello stesso muro; per i muri esterni catene singole, collocate sul paramento interno (v. fig. 7.11).
- III. *Foratura delle pareti ed inserimento dei tiranti*: la foratura è da effettuarsi a livello di ogni solaio, a intervalli di altezza non superiore ai 4-5 m. Vanno utilizzate perforatrici che non producono scuotimenti e vibrazioni sulla muratura per evitare fenomeni fessurativi sulle zone di ancoraggio. Le catene devono quindi essere protette dall'azione degli agenti atmosferici con opportuni trattamenti o con guaine protettive. In genere sono da preferirsi catene inguainate in modo da poter effettuare operazioni di ritesaggio per compensare eventuali allentamenti.
- IV. *Messa in tensione dei tiranti*: il tiro della catena deve essere calcolato in modo che sia in grado di assorbire la forza sismica orizzontale dovuta alla massa delle murature comprese tra i punti medi degli interassi di catene contigue, sia in orizzontale che in verticale.
- V. Dopo la perfetta ripresa del letto di malta cementizia a elevate proprietà antiritiro, interposto tra la muratura e la piastra di ancoraggio, si procede con il tiraggio delle catene, che può essere ottenuto a caldo o a freddo.
- VI. *Allungamento a caldo*: una volta posta in opera la catena se ne riscalda il tratto centrale fino all'allentamento dei capichave; a questo punto, bloccando nuovamente gli ancoraggi, la catena svilupperà il suo tiraggio raffreddandosi.
- VII. *Allungamento a freddo*: è possibile solo se le catene hanno almeno a un estremo una filettatura e il capochave è forato per permetterne il passaggio. Il tiraggio avviene avvitando il dado sull'estremo filettato della catena, fino a raggiungere l'allungamento calcolato. Invece del dado di testa, che contrasta sul capochave, il tiraggio può avvenire per mezzo di un manicotto intermedio con filettature destra - sinistra.

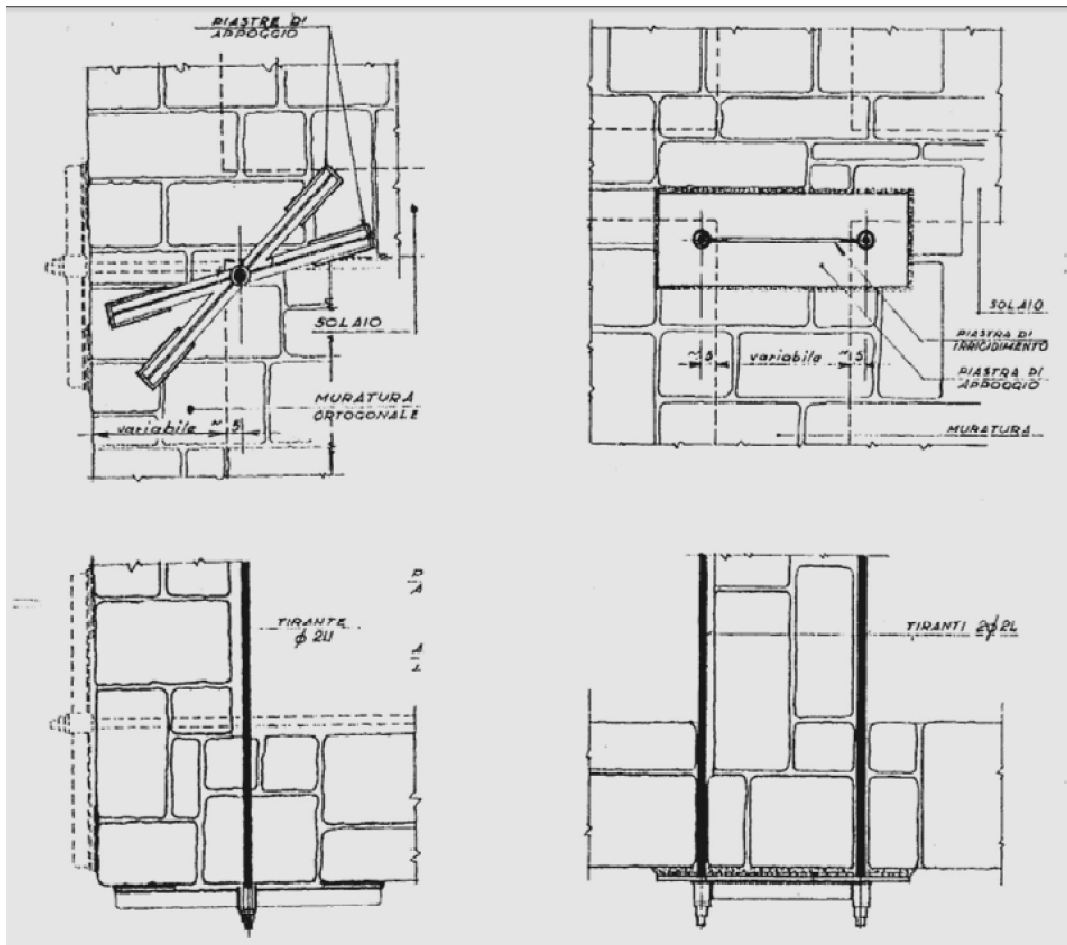


Fig. 7.11 - Sistema di ancoraggio: con chiavi in acciaio (a), con tiranti complanari con piastra irrigidita (b).

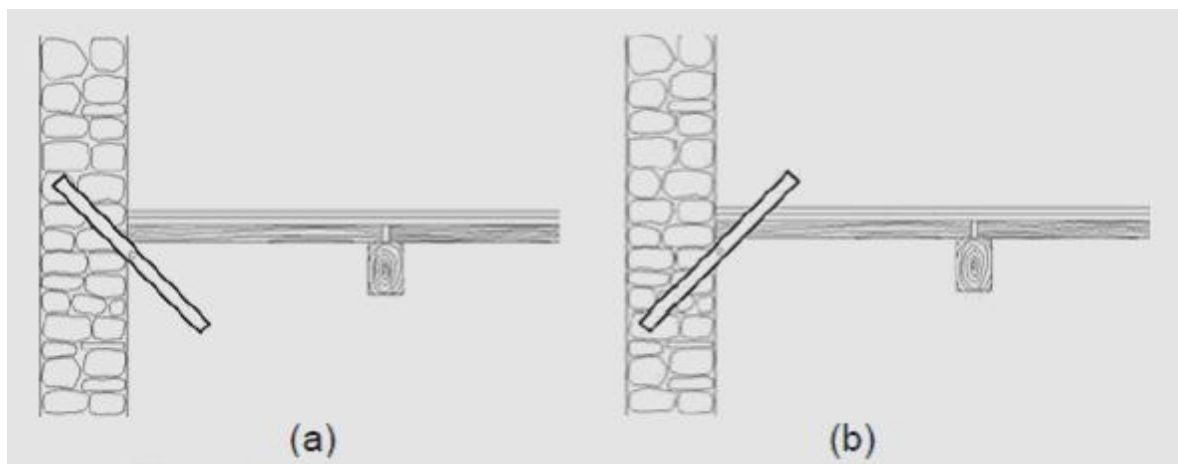


Fig.7.12 disposizione dei paletti capochiave della catena primo caso errata secondo corretta.

7.7.3 Valutazione dell'efficacia dell'intervento

Per quanto riguarda la tecnica di consolidamento per mezzo di tirantature metalliche, pochi sono i casi di studio effettuati.

A riguardo, si riportano i risultati ottenuti dalle prove eseguite dal prof. Tomazevic dell'Università di Lubiana (Slovenia), in cui vengono messi a confronto i comportamenti sismici di quattro modelli, a cui si sono applicate diverse tecniche di rinforzo.

I modelli rappresentano, in scala 1:4, semplici costruzioni di due piani in muratura di laterizio, e vengono testati su tavola vibrante, imprimendo una sollecitazione crescente fino al raggiungimento del collasso della struttura. Si riportano di seguito i principali risultati raggiunti.

	Tipo di solaio		Tiranti metallici		Tiranti pretesi
	1° solaio	2° solaio	Longitudinali	Diagonali	
Modello A	legno	legno	no	no	no
Modello B	cemento	cemento	cordolo	-	-
Modello C	legno	legno	si	no	si
Modello D	legno	legno	si	si	no

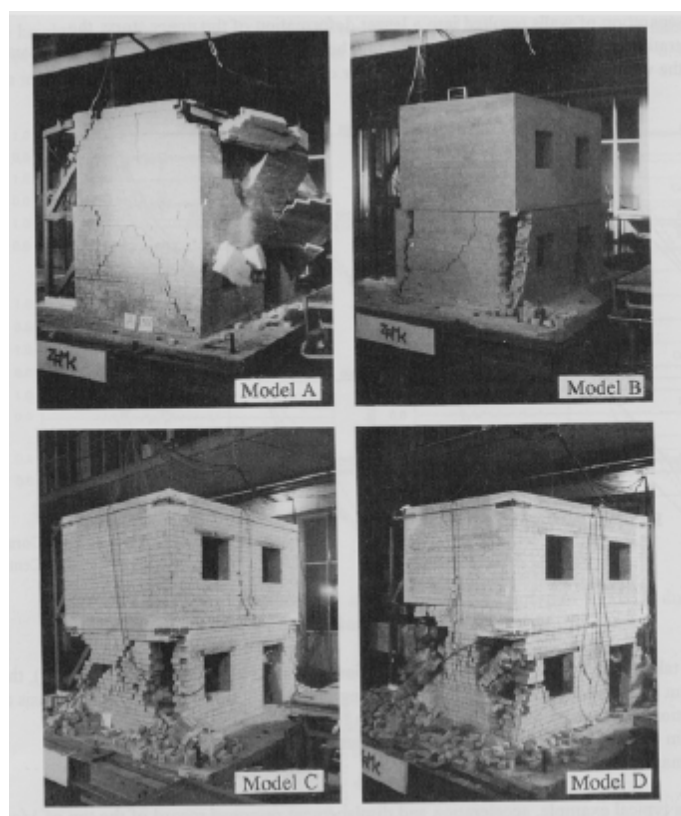


Fig. 7.13 - Meccanismi di collasso dei diversi modelli testati.

Come si può notare in fig. 7.13, nel modello A, con solai in legno non vincolati alle pareti, si sviluppano inizialmente delle lesioni in corrispondenza dei collegamenti tra pareti verticali ed

orizzontamenti, quindi si nota il formarsi di lesioni orizzontali e diagonali, che portano al crollo della parte superiore del modello.

Il modello B, rinforzato con solai in cemento, presenta una struttura più rigida. La crescente sollecitazione, a cui è sottoposta la struttura, porta allo sviluppo di una lesione orizzontale in corrispondenza del primo solaio, con lo scorrimento del piano superiore su quello sottostante.

Il comportamento a blocco monolitico della parte superiore determina, nella parte inferiore delle murature, gravi lesioni verticali e il conseguente crollo delle angolate.

Nel caso dei modelli C e D, la presenza di tiranti metallici previene il distacco delle pareti verticali. In entrambi i modelli i crolli si sviluppano a livello del piano terra, mentre nella parte superiore si notano solo lievi danni. Il comportamento osservato è simile a quello del modello B: si verifica infatti un'oscillazione della parte alta della struttura come blocco monolitico, che porta al ribaltamento fuori piano delle zone d'angolo.

E' importante sottolineare come non sia rilevante la differenza di comportamento sismico osservato nel modello con tiranti pretesi – modello C – da quello anche con tiranti posti diagonalmente – modello D – (v. fig. 7.14).

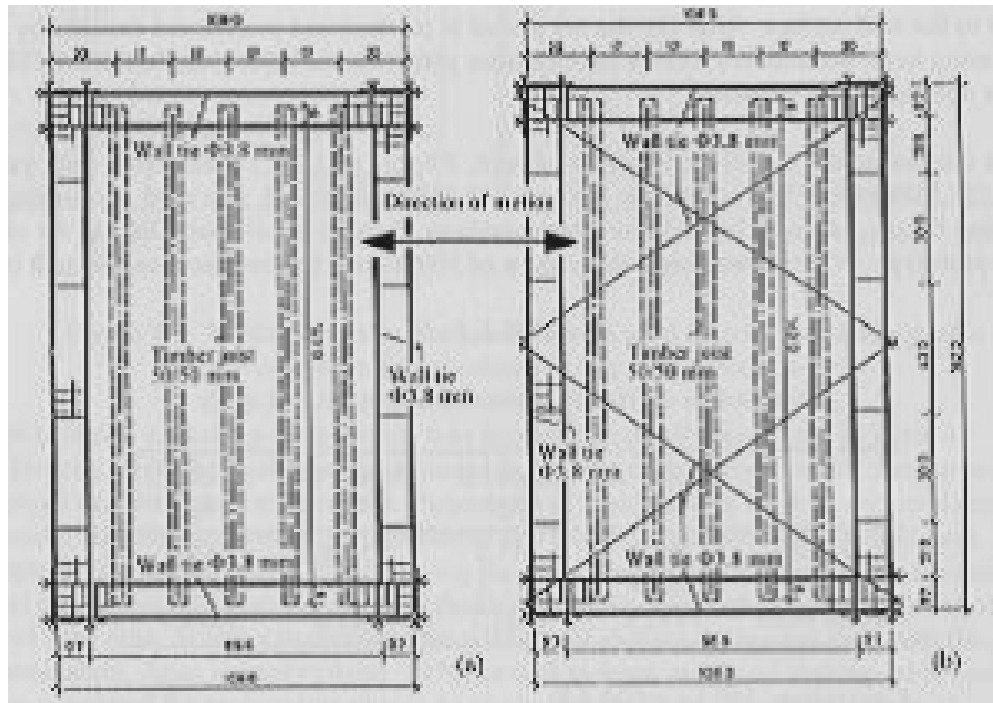


Fig. 7.14 - Posizionamento delle catene rispettivamente nei modelli C e D.

Le prove condotte in questo studio hanno confermato come il comportamento sismico degli edifici in muratura dipenda essenzialmente dalla rigidità degli orizzontamenti e dal grado di connessione esistente tra le pareti.

Nonostante la configurazione strutturale dei vari modelli sia identica, i differenti tipi di solai e il diverso sistema di collegamento tra le pareti hanno determinato diverse risposte meccaniche.

Mentre il solaio in legno del modello A non è in grado di prevenire la separazione tra le pareti, nei modelli C e D, dove le pareti sono efficacemente collegate con catene metalliche, l'integrità della struttura viene mantenuta fino al collasso finale.

Il crollo delle zone d'angolo, riscontrato nei modelli C e D, dimostra come le strutture murarie risultino vulnerabili in questi punti, che dovrebbero essere rinforzati con particolare attenzione. Il consolidamento delle angolate garantisce, infatti, un comportamento scatolare alla struttura, andando a migliorare la capacità di dissipare energia da parte dell'edificio.

I risultati di tali prove dimostrano, inoltre, come nel caso in cui le pareti siano adeguatamente collegate tra loro per mezzo di tirantature metalliche, meglio se pretese per una più efficace redistribuzione delle tensioni, la sostituzione dei solai in legno con solai in cemento non è condizione necessaria per conseguire un migliore comportamento sismico.

8. ANALISI STRUTTURALE E VERIFICHE

Si prende ora in considerazione il comportamento di elementi strutturali ovvero di pareti che costituiscono parte di organismi strutturali (edifici), e che quindi sono soggette a stati di sollecitazione complessi. In questa sezione e nel seguito del capitolo si farà riferimento ai casi di muratura ordinaria, per i quali esistono modelli di calcolo consolidati.

La progettazione e la verifica delle strutture vengono effettuate all'interno di regole di calcolo codificate, che mettono in conto, oltre alla modellazione strutturale, le aleatorietà delle azioni e delle resistenze con criteri orientati a ottenere un'accettabile sicurezza. Tali criteri mirano a garantire che non vengano superate, durante la vita della costruzione, accettate probabilità di raggiungimento di condizioni indesiderate, chiamate "stati limite". Con minime probabilità si accettano stati limite ultimi, corrispondenti al collasso della struttura o di parti di essa, e quindi con gravi conseguenze. Maggiori probabilità si accettano invece per gli stati limite di esercizio (quali fessurazione o deformazioni eccessive) che comportano solo conseguenze economiche. Si adottano quindi elevati coefficienti di sicurezza nel primo caso, molto minori negli stati limite di esercizio.

Tali considerazioni sono particolarmente importanti per le costruzioni in muratura, poiché l'elevata dispersione dei valori di resistenza delle murature implica elevati valori dei coefficienti parziali di sicurezza. In generale, comunque, una definizione meccanica degli stati limite (prima fessurazione, collasso) non comporta necessariamente l'introduzione di concetti probabilistici.

8.1 Analisi e verifica sotto carichi verticali

Per quel che riguarda i carichi verticali, il problema di principale interesse è quello della verifica dei muri portanti soggetti a carichi verticali eccentrici, in cui un ruolo fondamentale è giocato dall'eccentricità in direzione ortogonale al piano medio dei muri (parallelamente allo spessore). Si opera dunque solitamente su uno schema strutturale semplificato, costituito da una striscia della costruzione scatolare di larghezza prefissata, compresa fra due sezioni normali alle murature portanti. Tale striscia (Fig. 8.1), trascurando le interazioni con le sezioni adiacenti, può essere idealizzata come un telaio piano, assimilando i muri portanti ai ritti e i solai alle travi. Si considerano i nodi fissi: lo spostamento orizzontale dei traversi è infatti impedito dai muri di controvento ortogonali ai muri portanti e quindi paralleli al piano del telaio.

La situazione reale si avvicina a condizioni di incastro cedevole (telaio a nodi semirigidi); tuttavia nelle applicazioni si preferisce ricorrere ai due schemi limite di nodi con incastro perfetto, figura 8.1 a, e di nodi cerniera, figura 8.1 b.

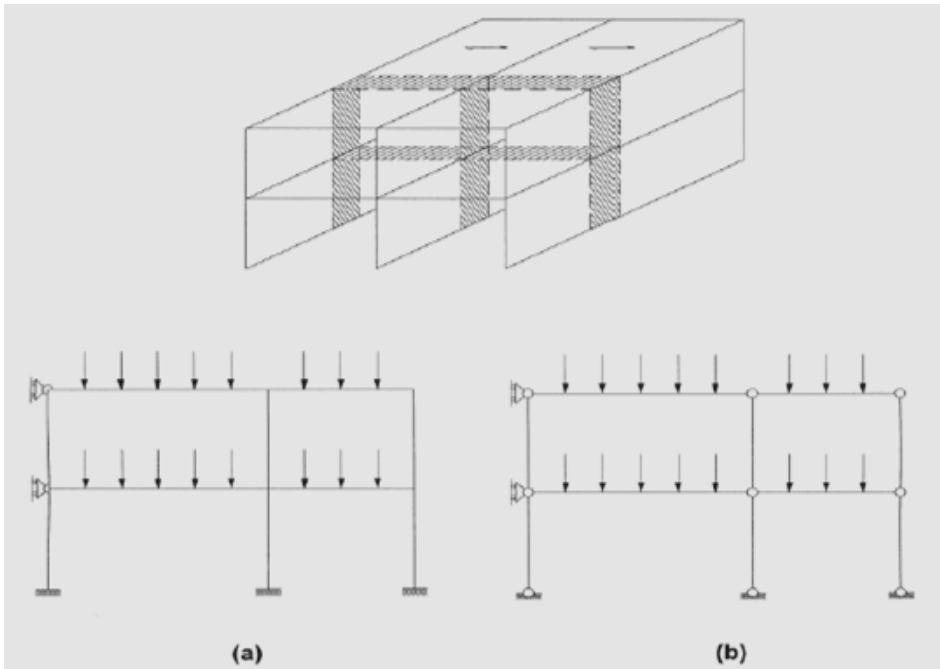


Fig. 8.1 Schematizzazioni per l'analisi sotto carichi verticali: a) schema della continuità , b) schema dell'articolazione.

I due schemi possono essere usati anche per uno stesso edificio, utilizzando il primo per i piani bassi ove le ipotesi di continuità sono meglio verificate, e il secondo per i piani alti. In generale non si ammette l'ipotesi della continuità per l'ultimo piano di edifici in muratura semplice.

La risposta strutturale è calcolata usando:

- analisi semplificate
- analisi lineari, assumendo i valori secanti dei moduli di elasticità
- analisi non lineari

Per la valutazione di effetti locali è consentito l'impiego di modelli di calcolo relativi a parti isolate della struttura.

Le resistenze di progetto da impiegare, rispettivamente, per le verifiche a compressione, pressoflessione e a carichi concentrati (f_d) , e a taglio (f_{vd}) valgono:

$$f_d = f_k / g_M ,$$

$$f_{vd} = f_{vk} / g_M .$$

Il coefficiente parziale di sicurezza g_M da utilizzare per il progetto sismico è pari a 2.

Gli stati limite ultimi da verificare sono:

- ✓ presso flessione per carichi laterali (resistenza e stabilità fuori dal piano),

- ✓ presso flessione nel piano del muro,
- ✓ taglio per azioni nel piano del muro,
- ✓ carichi concentrati,
- ✓ flessione e taglio di travi di accoppiamento.

Per la verifica a pressoflessione per carichi laterali, nel caso di adozione dell'ipotesi di articolazione completa delle estremità della parete, è consentito far riferimento al metodo semplificato di seguito riportato.

La resistenza unitaria di progetto ridotta $f_{d,rid}$ riferita all'elemento strutturale si assume pari a:

$$f_{d,rid} = F f_d$$

in cui F è un coefficiente di riduzione della resistenza del materiale i cui valori sono tabellati in funzione della snellezza convenzionale l e del coefficiente di eccentricità m . Quest'ultimo è definito dalla relazione:

$$m = 6 e/t,$$

essendo e l'eccentricità totale e t lo spessore del muro.

Le eccentricità dei carichi verticali sullo spessore della muratura sono dovute alle eccentricità totali dei carichi verticali, alle tolleranze di esecuzione e alle azioni orizzontali. Esse possono essere determinate convenzionalmente con i criteri che seguono:

- a) eccentricità totale dei carichi verticali: $e_s = e_{s1} + e_{s2}$:

$$e_{s1} = \frac{N_1 d_1}{N_1 + \sum N_2}, \quad e_{s2} = \frac{\sum N_2 d_2}{N_1 + \sum N_2}$$

dove:

- e_{s1} è l'eccentricità della risultante dei carichi trasmessi dai muri dei piani superiori rispetto al piano medio del muro da verificare;
- e_{s2} è l'eccentricità delle reazioni di appoggio dei solai soprastanti la sezione di verifica;
- N_1 è il carico trasmesso dal muro sovrastante supposto centrato rispetto al muro stesso;
- N_2 è la reazione di appoggio dei solai soprastanti il muro da verificare;
- d_1 è l'eccentricità di N_1 rispetto al piano medio del muro da verificare;
- d_2 è l'eccentricità di N_2 rispetto al piano medio del muro da verificare; tali eccentricità possono essere positive o negative.

- b) eccentricità dovuta a tolleranze di esecuzione, e_a .

Considerate le tolleranze morfologiche e dimensionali connesse alle tecnologie di esecuzione degli edifici in muratura si deve tener conto di una eccentricità almeno pari a:

$$e_a = h / 200$$

con h altezza interna di piano.

- c) eccentricità e_v dovuta alle azioni orizzontali considerate agenti in direzione normale al piano della muratura,

$$e_v = M_v / N$$

dove M_v ed N sono, rispettivamente, il massimo momento flettente dovuto alle azioni orizzontali e lo sforzo normale nella relativa sezione di verifica.

Le eccentricità e_s , e_a e e_v vanno convenzionalmente combinate tra di loro secondo le due espressioni:

$$e_1 = |e_s| + e_a \qquad e_2 = \frac{e_1}{2} + |e_v|$$

Il valore di $e = e_1$ è adottato per la verifica dei muri nelle loro sezioni di estremità; il valore di $e = e_2$ è adottato per la verifica della sezione dove è massimo il valore di M_v .

L'eccentricità di calcolo e non può comunque essere assunta inferiore a e_a . In ogni caso deve risultare:

$$e_1 \leq 0,33 t; \qquad e_2 \leq 0,33 t.$$

Non è generalmente necessario eseguire verifiche nei confronti di stati limite di esercizio di strutture di muratura, quando siano soddisfatte le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi.

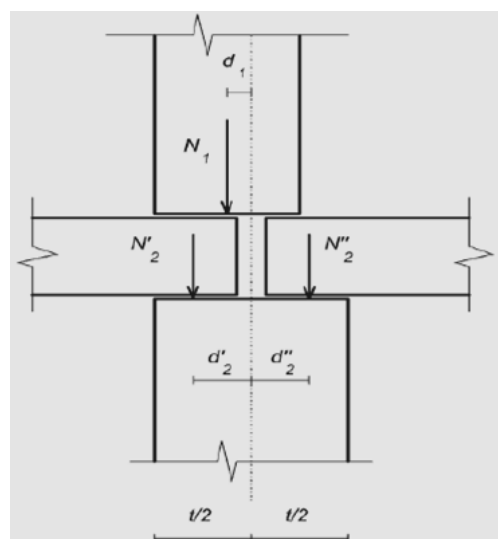


Fig.8.2 Eccentricità strutturali.

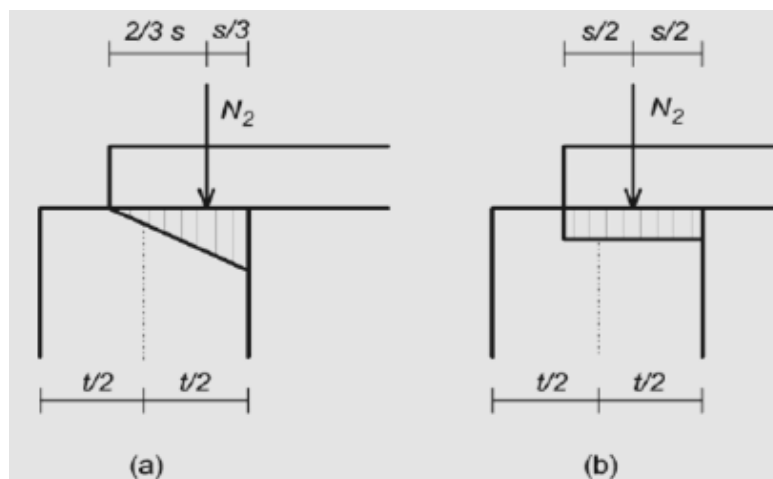
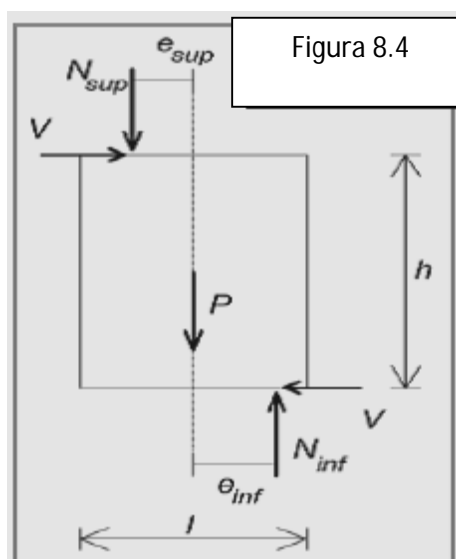


Fig.8.3 Ipotesi per la determinazione dell'eccentricità delle reazioni di appoggio dei solai.

8.2 Azioni nel piano medio

Si consideri un pannello semplice in muratura e si supponga di volerne studiare il comportamento quando sia soggetto a sollecitazioni applicate alle sezioni estreme superiore e inferiore, le cui risultanti sono contenute nel piano medio della parete stessa (rappresentata in figura 8.4). Per ogni sezione della parete è possibile definire un momento, un taglio e una azione assiale risultante. Il momento è definibile come il prodotto dell'azione assiale per la relativa eccentricità e rispetto al baricentro geometrico della sezione.



Considerando la generica condizione illustrata in figura 8.4, sussistono le seguenti relazioni di equilibrio:

$$N_{inf} = N_{sup} + P$$

$$V h = M_{sup} + M_{inf} = N_{sup} e_{sup} + N_{inf} e_{inf}$$

Si possono individuare diversi stati limite di interesse.

8.3 Fessurazione per flessione o pressoflessione

La fessurazione di una sezione avviene quando la massima tensione normale di trazione raggiunge la resistenza a trazione f_{jt} dei giunti orizzontali. Il momento di fessurazione in una generica sezione orizzontale sarà quindi dato dalla relazione:

$$M_{fess} = \left(\frac{N}{l t} + f_{jt} \right) \frac{l^2 t}{6}$$

in cui si è assunta una distribuzione lineare delle tensioni normali sulla sezione.

La resistenza a trazione f_{jt} è spesso trascurabile e assunta di conseguenza pari a zero, da cui l'equazione si riduce alla nota condizione di parzializzazione di una sezione presso-inflessa non reagente a trazione. La fessurazione per flessione non costituisce evidentemente uno stato limite ultimo, tuttavia è un fenomeno significativo nella risposta della parete alle azioni orizzontali, perché dà origine a non linearità nel comportamento come conseguenza della progressiva parzializzazione. Può essere eventualmente presa in considerazione come stato limite di esercizio o di danneggiamento.

8.4 Progettazione per azioni sismiche

Ai fini delle verifiche di sicurezza, è in ogni caso obbligatorio l'utilizzo del "metodo semiprobabilistico agli stati limite", salvo quanto previsto al § 2.7 delle NTC08, limitatamente a siti ricadenti in zona 4, e nel caso di costruzioni semplici come meglio definite di seguito.

Il coefficiente parziale di sicurezza da utilizzare per il progetto sismico di strutture in muratura è pari a 2.

I valori massimi q_0 del fattore di struttura con cui individuare lo spettro di progetto (v. § 3.2.3.5 NTC08) da utilizzare nelle analisi lineari, sono indicati in tabella .

TIPOLOGIA STRUTTURALE	q_0
Costruzioni in muratura ordinaria	2,0 α_u/α_1
Costruzioni in muratura armata	2,5 α_u/α_1
Costruzioni in muratura armata progettati secondo GR	3,0 α_u/α_1

Il valore 3,0 α_u/α_1 può essere utilizzato solo applicando i principi di gerarchia delle resistenze (GR), nel caso di muratura armata.

Si assume $q = q_0 \cdot K_R$, attribuendo a K_R i valori indicati nel § 7.3.1.

I coefficienti a_1 e a_u sono definiti come segue:

- a_1 è il moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale, mantenendo costanti le altre azioni, il primo pannello murario raggiunge la sua resistenza ultima (a taglio o a pressoflessione);
- a_u è il 90% del moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale, mantenendo costanti le altre azioni, la costruzione raggiunge la massima forza resistente.

Il valore di a_u / a_1 può essere calcolato per mezzo di un'analisi statica non lineare (v. § 7.3.4.1 NTC08) e non può in ogni caso essere assunto superiore a 2,5. Qualora non si proceda ad un'analisi non lineare, possono essere adottati i seguenti valori di a_u / a_1 :

- costruzioni in muratura ordinaria a un piano $a_u / a_1 = 1,4$
- costruzioni in muratura ordinaria a due o più piani $a_u / a_1 = 1,8$
- costruzioni in muratura armata ad un piano $a_u / a_1 = 1,3$
- costruzioni in muratura armata a due o più piani $a_u / a_1 = 1,5$
- costruzioni in muratura armata progettate con la gerarchia delle resistenze $a_u / a_1 = 1,3$.

La geometria delle pareti resistenti al sisma, deve rispettare i requisiti indicati nella tabella seguente, in cui t indica lo spessore della parete al netto dell'intonaco, h_0 l'altezza di libera inflessione della parete, h' l'altezza massima delle aperture adiacenti alla parete, l la lunghezza della parete.

Tipologie costruttive	t_{min}	$(\lambda=h_0/t)_{max}$	$(l/h')_{min}$
Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata	300 mm	10	0,5
Muratura ordinaria, realizzata con elementi artificiali	240 mm	12	0,4
Muratura armata, realizzata con elementi artificiali	240 mm	15	Qualsiasi
Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata, in siti ricadenti in zona 3 e 4	240 mm	12	0,3
Muratura realizzata con elementi artificiali semipieni, in siti ricadenti in zona 4	200 mm	20	0,3
Muratura realizzata con elementi artificiali pieni, in siti ricadenti in zona 4	150 mm	20	0,3

8.5 Modelli di capacità per le verifiche agli SLU

8.5.1 Pressoflessione nel piano

La verifica a pressoflessione di una sezione di un elemento strutturale viene effettuata confrontando il momento agente di calcolo con il momento ultimo resistente calcolato assumendo la muratura non reagente a trazione e una opportuna distribuzione non lineare delle compressioni.

Tuttavia, in analogia a quanto si considera nel caso del calcestruzzo armato, la distribuzione non lineare delle compressioni (diagramma parabola-rettangolo) viene approssimata da una distribuzione uniforme delle compressioni (diagramma stress-block) agente su di un'area opportunamente ridotta rispetto all'area di muratura compressa.

La formula fornita dalla normativa, nel caso di una sezione rettangolare, è:

$$M_u = \left(l^2 t \frac{\sigma_0}{2} \right) \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_d} \right)$$

dove:

- ✓ M_u è il momento corrispondente al collasso per pressoflessione,
- ✓ l è la lunghezza complessiva della parete (inclusiva della zona tesa),
- ✓ t è lo spessore della parete,
- ✓ σ_0 è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione ($= P/(l t)$, con P forza assiale agente, positiva se di compressione). Se P è di trazione, $M_u = 0$,
- ✓ $f_d = f_k / g_M$ è la resistenza a compressione di calcolo della muratura.

In caso di analisi statica non lineare, la resistenza a pressoflessione può essere calcolata ponendo f_d pari al valore medio della resistenza a compressione della muratura, e lo spostamento ultimo può essere assunto pari allo 0,8 % dell'altezza del pannello.

Con riferimento alla figura seguente, a partire dagli equilibri alla traslazione verticale e alla rotazione è possibile pervenire all'espressione proposta dalla normativa.

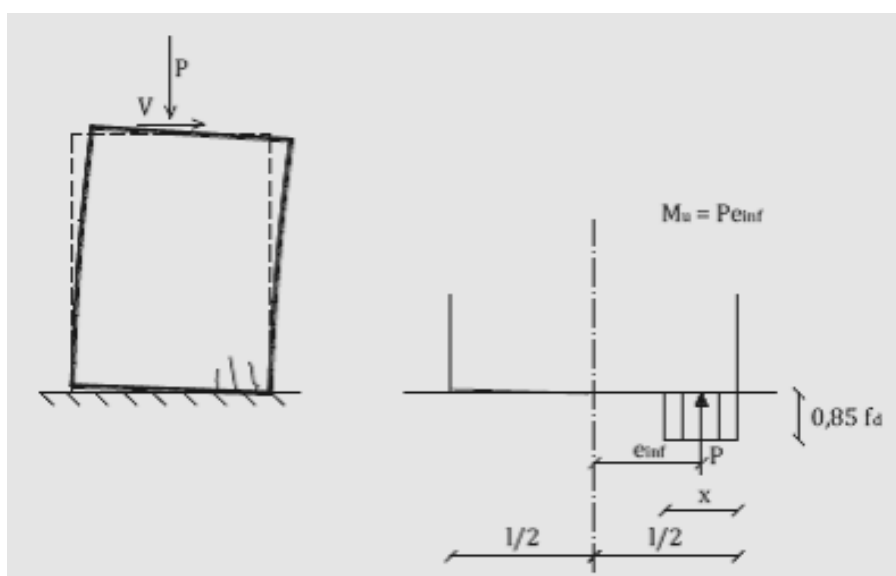


Fig. 8.5 Meccanismo di rottura per pressoflessione.

Equilibrio alla traslazione verticale : $x = \frac{P}{0.85 t f_d}$

Equilibrio alla rotazione: $M_u = P \left(\frac{l}{2} - \frac{x}{2} \right) = \frac{Pl}{2} \left(1 - \frac{P}{0.85 l t f_d} \right)$

Indicando con $\sigma_0 = P/(l t)$ il valore medio della tensione di compressione riferito all'area totale della sezione e sostituendo si ottiene l'espressione della normativa.

8.5.2 Taglio per scorrimento

La resistenza a taglio di ciascun elemento strutturale è valutata per mezzo della relazione seguente:

$$V_t = l' t f_{vd}$$

dove:

- o l' è la lunghezza della parte compressa della parete
- o t è lo spessore della parete
- o $f_{vd} = f_{vk} / g_M$ è calcolato valutando la tensione normale media σ_n sulla parte compressa della sezione ($\sigma_n = P / (l' t)$).

Il valore di f_{vk} non può comunque essere maggiore di $1,4 f_{bk}$, dove f_{bk} indica la resistenza caratteristica a compressione degli elementi nella direzione di applicazione della forza, né maggiore di 1,5 MPa.

In caso di analisi statica non lineare, la resistenza a taglio può essere calcolata ponendo $f_{vd} = f_{vm0} + 0,4\sigma_n$ con f_{vm0} resistenza media a taglio della muratura (in assenza di determinazione diretta si può porre $f_{vm0} = f_{vk0} / 0,7$), e lo spostamento ultimo può essere assunto pari allo 0,4% dell'altezza H del pannello. Il valore di f_{vd} non può comunque essere maggiore di $2,0 f_{bk}$ né maggiore di 2,2 MPa.

Il fenomeno di taglio per scorrimento (unico meccanismo di rottura a taglio previsto dalle norme per gli edifici di nuova costruzione) si manifesta con lo scorrimento di una parte del pannello rispetto all'altra e si verifica generalmente attraverso i giunti di malta, essendo la resistenza allo scorrimento tra malta ed elementi lapidei quasi sempre inferiore a quella interna che compete a questi ultimi.

Il criterio di crisi adoperato deriva da quello di Mohr-Coulomb; il termine f_{vk0} tiene conto della coesione tra malta e blocchi e 0,4 è il valore assunto per il coefficiente di attrito.

8.5.3 Taglio per trazione

Questo tipo di verifica non è richiesto dalle NTC 08 per gli edifici di nuova costruzione mentre è indicata per gli edifici esistenti dalla Circolare n.617. In particolare, per gli edifici esistenti in muratura, come suggerito al punto C8.7.1.5 della Circolare, considerata la notevole varietà delle tipologie e dei meccanismi di rottura del materiale, la resistenza a taglio di calcolo per azioni nel piano di un pannello in muratura può essere calcolata con un criterio di rottura per fessurazione diagonale o con un criterio di scorrimento, facendo eventualmente ricorso a formulazioni alternative rispetto a quelle adottate per opere nuove, purché di comprovata validità.

Nel caso di muratura irregolare o caratterizzata da blocchi non particolarmente resistenti, la resistenza a taglio di calcolo per azioni nel piano di un pannello in muratura potrà essere calcolata con la relazione seguente:

$$V_t = l t \frac{1.5 \tau_{0d}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5 \tau_{0d}}} = l t \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$

dove:

- l è la lunghezza del pannello
- t è lo spessore del pannello
- σ_0 è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione ($= P / l t$, con P forza assiale agente, positiva se di compressione)
- f_{td} e τ_{0d} sono, rispettivamente, i valori di calcolo della resistenza a trazione per fessurazione diagonale e della corrispondente resistenza a taglio di riferimento della muratura ($f_t = 1.5 \tau_0$); nel caso in cui tale parametro sia desunto da prove di compressione diagonale, la resistenza a trazione per fessurazione diagonale f_t si assume pari al carico diagonale di rottura diviso per due volte la sezione media del pannello sperimentato valutata come $t (l + h)/2$, con t , l e h rispettivamente spessore, base, altezza del pannello.
- b è un coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere $b = h / l$, comunque non superiore a 1,5 e non inferiore a 1, dove h è l'altezza del pannello.

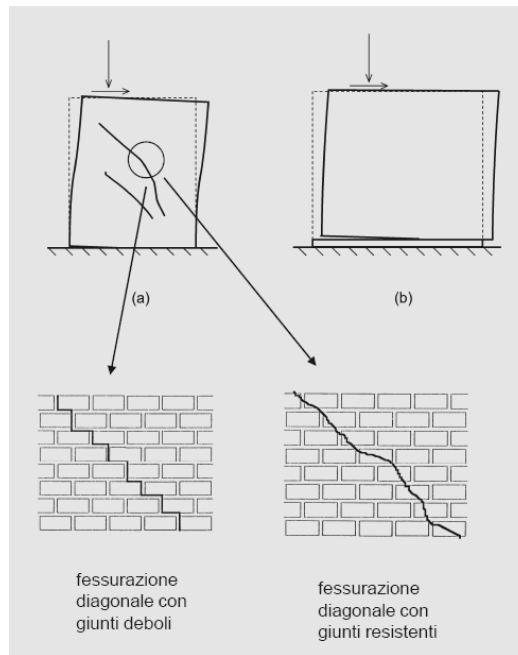


Fig. 8.6 a) Meccanismo di taglio-trazione, b) Meccanismo di taglio scorrimento

8.5.4 Azioni ortogonali al piano medio

La presenza di azioni ortogonali al piano medio della muratura induce uno stato di flessione o pressoflessione (compressione eccentrica con eccentricità parallela allo spessore del muro). Uno stato di pressoflessione è chiaramente generato anche dalla presenza di carichi verticali (ad esempio quelli trasmessi dai solai) applicati eccentricamente. È possibile individuare alcuni stati limite significativi.

Si consideri un pannello isolato di muratura non armata in condizioni di esercizio e si supponga che lo stato deformativo e di sollecitazione non subisca variazioni parallelamente alla lunghezza; in condizione non fessurata la tensione massima e minima possono essere espresse come (Fig. 8.7 a):

$$\sigma_{max,min} = \frac{N}{lt} \pm \frac{6N e_t}{lt^2}$$

in cui si è assunta una distribuzione lineare delle tensioni sulla sezione.

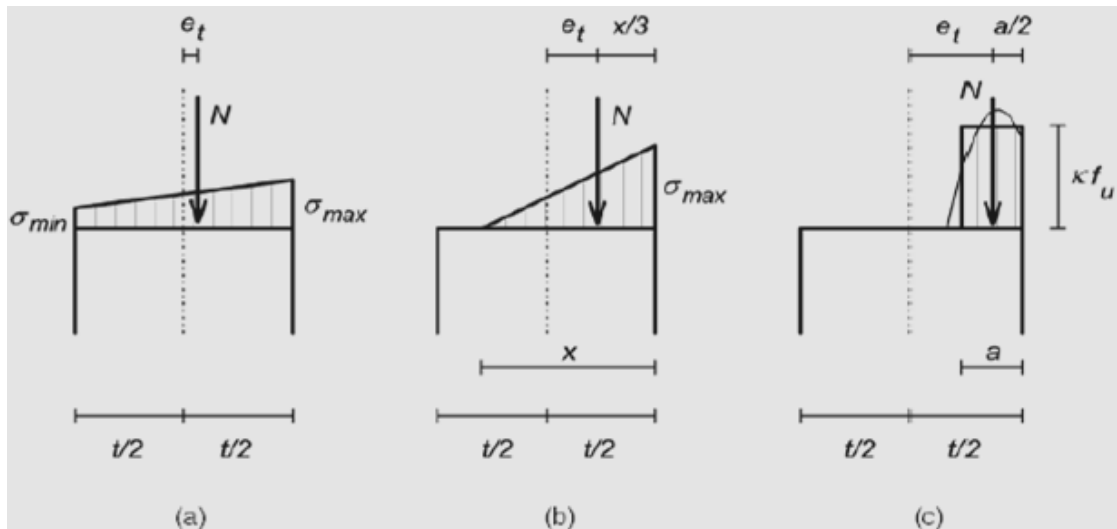


Fig.8.7 Pressoflessione ortogonale al piano medio a) sezione interamente reagente, b) sezione parzializzata con bassi valori di σ_{max} , c) sezione a rottura

La condizione di fessurazione, supponendo di trascurare la resistenza a trazione dei letti di malta è quindi ricavabile ponendo $\sigma_{min} = 0$, da cui:

$$M_{fess} = N e_t = \frac{N t}{6}$$

In condizione fessurata (Fig. 8.7 b), supponendo reagente solo la parte in compressione, e ipotizzando sempre una distribuzione lineare degli sforzi, l'equilibrio alla rotazione fornisce l'estensione della zona reagente:

$$x = 3 \left(\frac{t}{2} - e_t \right)$$

in cui si è imposto che la risultante della distribuzione triangolare degli sforzi interni sia allineata con l'azione assiale eccentrica. Dall'equilibrio alla traslazione verticale si ottiene quindi:

$$N = \frac{\sigma_{max} x l}{2}; \quad \sigma_{max} = \frac{2}{3} \frac{N}{l \left(\frac{t}{2} - e_t \right)}$$

L'ipotesi di distribuzione lineare delle compressioni, ovvero di comportamento lineare elastico del materiale, è accettabile finché la σ_{max} non supera 0,35 - 0,4 f_u . Considerando ora le condizioni ultime, in prossimità della rottura la zona compressa sarà caratterizzata da una distribuzione di sforzi non lineari. A collasso, si avrà schiacciamento della zona compressa, per la quale si può ipotizzare un diagramma stress-block rettangolare equivalente, ottenendo:

$$M_u = N \left(\frac{t - a}{2} \right) = \frac{N t}{2} \left(1 - \frac{N}{k f_u l t} \right)$$

In conclusione, qualora si trascuri la resistenza a trazione, la resistenza laterale di una parete semplice, non vincolata lateralmente a muri trasversali, e soggetta ad azioni ortogonali al piano medio (quali ad esempio la pressione del vento) è subordinata alla presenza di una azione verticale di compressione. Per edifici bassi (uno o due piani) o per i piani alti di un edificio multipiano, in cui la compressione verticale è modesta, il contributo della resistenza a trazione assume un notevole rilievo per la stabilità delle pareti.

In presenza di compressioni modeste, la resistenza di un muro caricato trasversalmente dipende in modo significativo dalle condizioni di vincolo, ovvero dalla eventuale presenza di solai rigidi collegati superiormente e inferiormente al muro e di muri trasversali ammortati lateralmente. Studi sperimentali su pareti diversamente vincolate hanno posto in evidenza l'analogia fra la propagazione delle linee di frattura in un muro e le linee di snervamento delle piastre in cemento armato. Tale analogia è tuttavia solamente geometrica, dato il carattere fragile della frattura dei pannelli (Hendry, 1990). In tali situazioni è necessario tener conto della natura anisotropa della muratura: un parametro significativo è dato dal rapporto fra la resistenza a flessione con linea di rottura parallela ai letti di malta e la resistenza a flessione con linea di rottura perpendicolare ai letti di malta (Fig. 8.8) $\mu_f = f_{x1}/f_{x2}$.

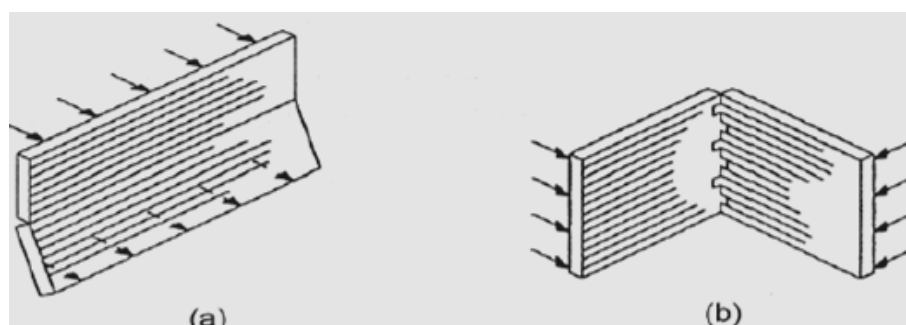


Fig. 8.8 Rottura per flessione di una parete con linea di rottura: a) parallela ai letti (f_{x1}); b) perpendicolare ai letti di malta (f_{x2}).

Nel caso di muratura armata la presenza dell'armatura incrementa sensibilmente la resistenza a flessione in un eventuale funzionamento a piastra della parete. Il calcolo della resistenza in tal caso può essere svolto con tecniche analoghe a quelle utilizzate nel cemento armato, prestando attenzione alla definizione di uno stress block adeguato per la muratura. In tal senso risulta fondamentale la distinzione fra la resistenza a compressione in direzione perpendicolare alla giacitura dei blocchi e quella ortogonale a essa, in funzione della direzione del momento flettente.

8.5.5 Effetti del secondo ordine

Le pareti in muratura possono essere molto sensibili agli effetti del secondo ordine, a causa della relativa snellezza nei confronti delle azioni fuori del piano unita alla trascurabile resistenza a trazione e alle deformazioni differite nel tempo. Per tali motivi lo studio della capacità portante di pareti in muratura e i conseguenti criteri progettuali devono di regola considerare questi fenomeni. Fra i primi esempi di modelli teorici per lo studio degli effetti del secondo ordine nella muratura si riportano i lavori di Angervo (1954) e Chapman e Slatford, (1957), che si basano sulla scrittura e soluzione dell'equazione differenziale della deformata di una striscia di muro assimilabile a una colonna in materiale non resistente a trazione (Fig. 8.9). Queste formulazioni forniscono la soluzione per il carico di instabilità della colonna doppiamente incernierata, supponendo un comportamento lineare elastico e indefinitamente resistente del materiale in compressione. Con tale approccio è possibile ricavare il carico di collasso per instabilità come il valore massimo del carico ottenibile da curve analitiche carico spostamento opportunamente adimensionalizzate.

Queste prime formulazioni hanno avuto il merito di evidenziare in modo chiaro l'importante effetto della parzializzazione e quindi della diminuzione di sezione e di rigidità. Negli studi citati sono inoltre state prese in considerazione diverse possibili condizioni di vincolo del muro. Tali condizioni sono infatti un altro fattore di estrema importanza sul comportamento dei muri presso-inflessi, come rilevato anche sperimentalmente.

Se si considerano i vincoli superiore e inferiore, in un edificio reale essi non sono necessariamente riconducibili a una cerniera, a causa dell'interazione con i solai e con le pareti sopra e sottostanti.

Laddove siano presenti solai in calcestruzzo armato continui o ammorsati per almeno due terzi dello spessore della parete, e la compressione media sul nodo muro-solaio sia superiore a circa 0,3 MPa, le condizioni di vincolo della parete possono essere assimilate a quelle di un incastro: in tale situazione infatti grazie all'elevata compressione si può verificare la congruenza delle rotazioni fra gli elementi convergenti nel nodo, e la rigidità degli elementi di solaio in c.a. limita sensibilmente le rotazioni. Viceversa, nel caso di solai flessibili (ad es. in legno) o in presenza di bassi valori di compressione media, le condizioni sono maggiormente assimilabili a quelle di cerniera o di incastro cedevole.

In generale, la rigidità di un nodo muro-solaio decresce nei piani più alti, a causa della diminuzione dell'azione di compressione verticale.

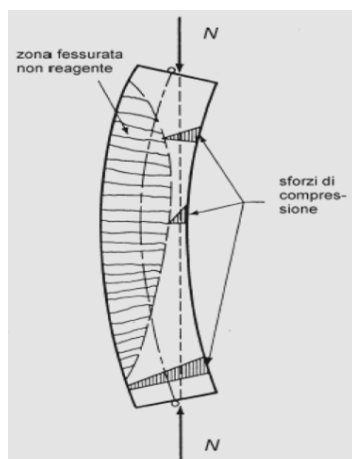


Fig. 8.9 colonna di materiale elastico non reagente a trazione soggetta a compressione eccentrica.

Una notevole influenza sulla sensibilità agli effetti del secondo ordine è infine esercitata dalla presenza di eventuali muri di irrigidimento ortogonali, di dimensioni adeguate, efficacemente ammortati, che costituiscono un efficace vincolo allo sbandamento laterale.

8.5.6 Edifici esistenti: procedure per la valutazione della sicurezza

Le norme tecniche dedicano il cap.8 alle costruzioni esistenti ma in realtà in esso vengono date solo alcune indicazioni di carattere generale. Come già detto in precedenza, risulta pertanto necessario ricorrere alla Circolare esplicativa dove è possibile trovare indicazioni più dettagliate in merito.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi su costruzioni esistenti devono tenere conto dei seguenti aspetti:

- la costruzione riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;
- possono essere insiti e non palesi difetti di impostazione e di realizzazione;
- la costruzione può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;
- le strutture possono presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria.

Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorra anche una delle seguenti situazioni:

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi,

esplosioni), situazioni di funzionamento e uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;

- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;
- interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidità.

La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.

Ogni qual volta si eseguono gli interventi strutturali di rinforzo di seguito specificati si deve determinare il livello di sicurezza prima e dopo l'intervento.

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

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

Nelle costruzioni esistenti le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal Progettista, caso per caso, in relazione al comportamento strutturale attendibile della costruzione, tenendo conto di alcune fasi conoscitive fondamentali:

- ❖ Analisi storico-critica (ricostruzione del processo di realizzazione e delle successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto);
- ❖ Rilievo geometrico - strutturale (devono essere rilevati anche i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno);
- ❖ Caratterizzazione meccanica dei materiali.

8.5.7 D.P.C.M. del 09/02/2011

La direttiva contiene gli indirizzi operativi per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale in accordo alle norme tecniche per le costruzioni.

In particolare, vengono individuati tre diversi livelli, di crescente completezza:

LV1) per le valutazioni della sicurezza sismica a scala territoriale su tutti i beni culturali tutelati;

LV2) per le valutazioni da adottare in presenza di interventi locali su zone limitate del manufatto;

LV3) per il progetto di interventi che modificano il funzionamento strutturale o quando venga comunque richiesta un'accurata valutazione della sicurezza sismica del manufatto.

Identificata la costruzione, in relazione all'approfondimento del rilievo geometrico e delle indagini materico-costruttiva, meccanica e sul terreno e le fondazioni, viene assunto dal progettista un fattore di confidenza F_C , compreso tra 1 e 1,35.

Il fattore di confidenza può essere determinato definendo diversi fattori parziali di confidenza F_{Ck} ($k=1,4$), sulla base dei coefficienti numerici riportati in Tabella 8.1, i cui valori sono associati alle quattro categorie di indagine e al livello di approfondimento in esse raggiunto:

$$F_C = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{Ck}$$

Rilievo geometrico	Rilievo materico e dei dettagli costruttivi	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo $F_{C1} = 0,05$	limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2} = 0,12$	parametri meccanici desunti da dati già disponibili $F_{C3} = 0,12$	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geologici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $F_{C4} = 0,06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi $F_{C1} = 0$	esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2} = 0,06$	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0,06$	disponibilità di dati geologici sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0,03$
	esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2} = 0$	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0$	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0$

Tabella 8.1 Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori di confidenza.

Nell'ambito del livello LV1 la valutazione della sicurezza sismica può essere condotta con riferimento a metodi semplificati che siano tuttavia in grado di stimare l'accelerazione del suolo corrispondente al raggiungimento dello stato limite ultimo. Deve essere peraltro precisato che tale valore dell'accelerazione, rapportato all'accelerazione di picco caratteristica del sito, serve solamente a definire un indice di sicurezza sismica (IS), utile a stabilire delle priorità di intervento.

L'indice di sicurezza sismica IS è così definito:

$$I_S = \frac{a_{SLU}}{\gamma_1 S a_g}$$

dove: a_{SLU} è l'accelerazione al suolo che porta al raggiungimento dello stato limite ultimo; γ_1 è il coefficiente di importanza; S è il fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione e degli eventuali effetti morfologici; a_g è l'accelerazione di riferimento nel sito.

Valori dell'indice di sicurezza sismica maggiori di 1 indicano che il manufatto è idoneo a sopportare l'azione sismica prevista nella zona; al contrario se $I_S < 1$, la sicurezza del manufatto è inferiore a quella auspicabile, coerentemente con i requisiti richiesti per le costruzioni adeguate.

Il livello di valutazione LV2 si applica nei casi in cui sono previsti interventi di restauro che interessano singole parti della costruzione ed è possibile quindi far riferimento a modelli locali, riferiti a porzioni strutturalmente autonome della costruzione (macroelementi).

L'analisi cinematica, lineare o non lineare, rappresenta lo strumento in genere più efficace e agevole per tale valutazione; i risultati ottenibili possono però essere eccessivamente cautelativi se non vengono considerati i diversi dettagli costruttivi che determinano il comportamento reale: presenza di catene, ammorsamento tra murature ortogonali, tessitura muraria, condizioni di vincolo degli orizzontamenti.

Per ciascun macroelemento analizzato, il confronto tra le accelerazioni allo stato limite ultimo prima e dopo l'intervento consente di esprimere un giudizio sul grado di miglioramento conseguito, evidenziando l'inutilità di alcuni interventi, nel caso in cui il margine di miglioramento fosse modesto rispetto al negativo impatto dell'intervento in termini di conservazione. Inoltre, considerando l'accelerazione massima al suolo di riferimento nel sito, è possibile valutare l'effettiva necessità degli interventi; infatti, negli elementi in cui l'accelerazione allo stato limite ultimo fosse già superiore a quest'ultima, non sarebbe necessario procedere al miglioramento sismico di quella parte.

Il livello di valutazione LV3 considera la sicurezza sismica della costruzione nel suo complesso, ovvero l'accelerazione del suolo che porta allo stato limite ultimo la costruzione nel suo complesso o singole sue parti significative (macroelementi). Tale livello deve essere adottato nella progettazione di interventi che modifichino il funzionamento accertato della costruzione e, comunque, quando il

restauro riguarda un edificio di tipo strategico, per l'importanza sociale di conoscere in modo attendibile la sicurezza di tali strutture. La verifica complessiva della risposta sismica del manufatto non richiede necessariamente il ricorso a un modello globale della costruzione, ma è possibile procedere alla scomposizione della struttura in parti (macroelementi), a condizione che venga valutata la ripartizione delle azioni sismiche tra i diversi sistemi strutturali, in ragione delle diverse rigidità e dei collegamenti tra le stesse. La valutazione può quindi essere eseguita con gli stessi metodi utilizzati al livello LV2, ma sistematicamente su ciascun elemento della costruzione.

Analisi del rischio sismico del patrimonio culturale		
Finalità dell'analisi	Livello di valutazione minimo	Modello di calcolo
Valutazione a scala territoriale dell'indice di sicurezza sismica	LV1	Modelli semplificati (a base meccanica, statistica o qualitativa)
Accertamento di dettaglio della sicurezza sismica sul singolo manufatto	LV3	Meccanismi locali di collasso esaustivi. Modello globale
Progettazione di interventi di miglioramento sismico		
Finalità dell'analisi	Livello di valutazione minimo	Modello di calcolo
Interventi locali su zone limitate del manufatto	LV2	Meccanismi locali di collasso su singole porzioni di manufatto
Interventi che coinvolgono il funzionamento sismico dell'intero manufatto	LV3	Meccanismi locali di collasso esaustivi. Modello globale

La Direttiva fornisce anche indicazioni esemplificative specifiche per l'analisi e la valutazione della risposta sismica nel caso delle più diffuse tipologie di manufatti tutelati (palazzi, chiese, torri, campanili, ponti in muratura, strutture ad arco).

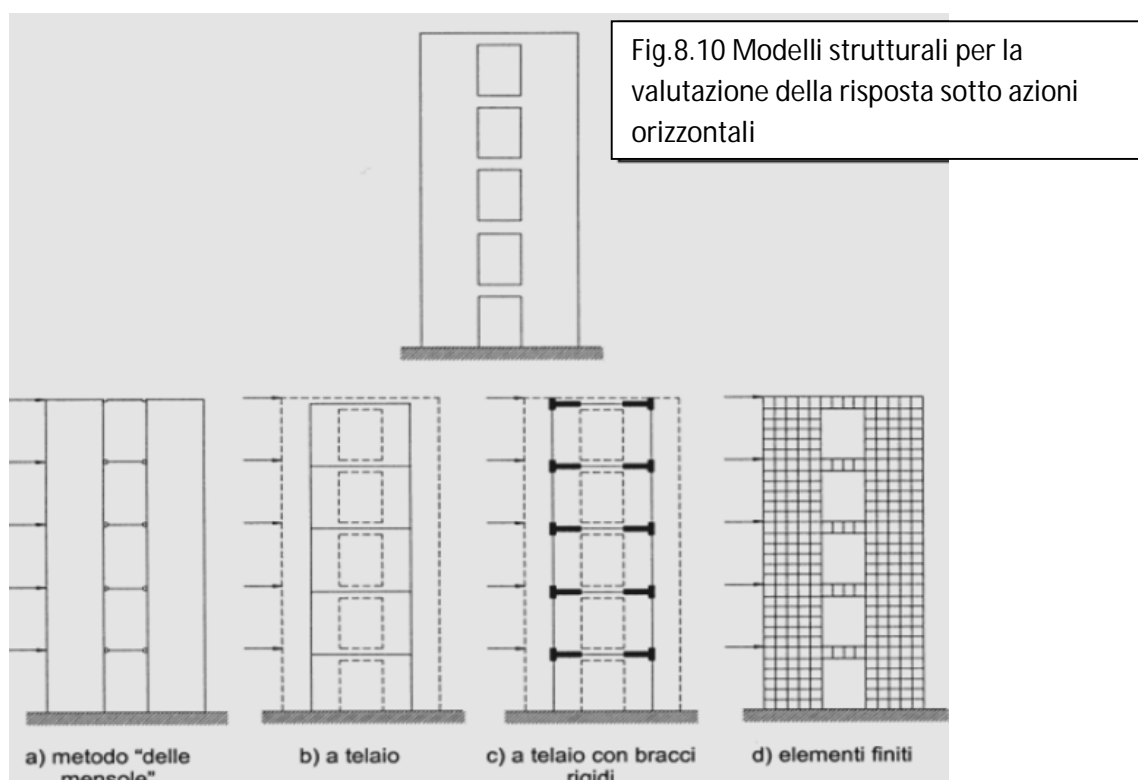
L'analisi sistematica dei danni subiti dalle chiese in occasione dei principali eventi sismici italiani ha evidenziato come il comportamento sismico di questa tipologia di manufatti possa essere interpretato attraverso la loro scomposizione in porzioni architettoniche (denominate macroelementi), caratterizzate da una risposta strutturale sostanzialmente autonoma rispetto alla chiesa nel suo complesso (facciata, aula, abside, campanile, cupola, arco trionfale, ecc.).

Sul singolo macroelemento è possibile quindi condurre un'analisi statica, lineare o non lineare, ad esempio con un modello a elementi finiti oppure utilizzare i metodi di analisi cinematica (lineare o non lineare).

8.6 Analisi e verifica sotto carichi orizzontali

La resistenza di un edificio alle azioni orizzontali è generalmente fornita dal sistema formato dai solai e dai muri di controventamento, disposti parallelamente all'azione. Su tale sistema resistente si scaricano infatti le reazioni delle pareti perimetrali direttamente investite dalle pressioni e depressioni dovute al vento. Tuttavia, se le pareti sono ben ammorsate, le pareti ortogonali alla spinta del vento possono collaborare come flange dei muri di controventamento, purché si verifichi che la connessione tra ala e anima sia in grado di resistere alle corrispondenti azioni taglianti, che non possono eccedere la resistenza a taglio della muratura stessa. Nella definizione del modello strutturale si deve inoltre valutare se i solai possono essere considerati come diaframmi infinitamente rigidi nel loro piano, prestando particolare attenzione alla presenza di vani scala ascensore che possono indebolire l'impalcato.

Solitamente si utilizzano modelli in cui i montanti murari sono assimilati a travi deformabili a taglio, accoppiate dai solai e da eventuali travi alte in muratura, se strutturalmente collaboranti. In molti casi è possibile idealizzare la struttura come un insieme di telai piani orientati secondo le direzioni di maggior rigidezza dei muri.



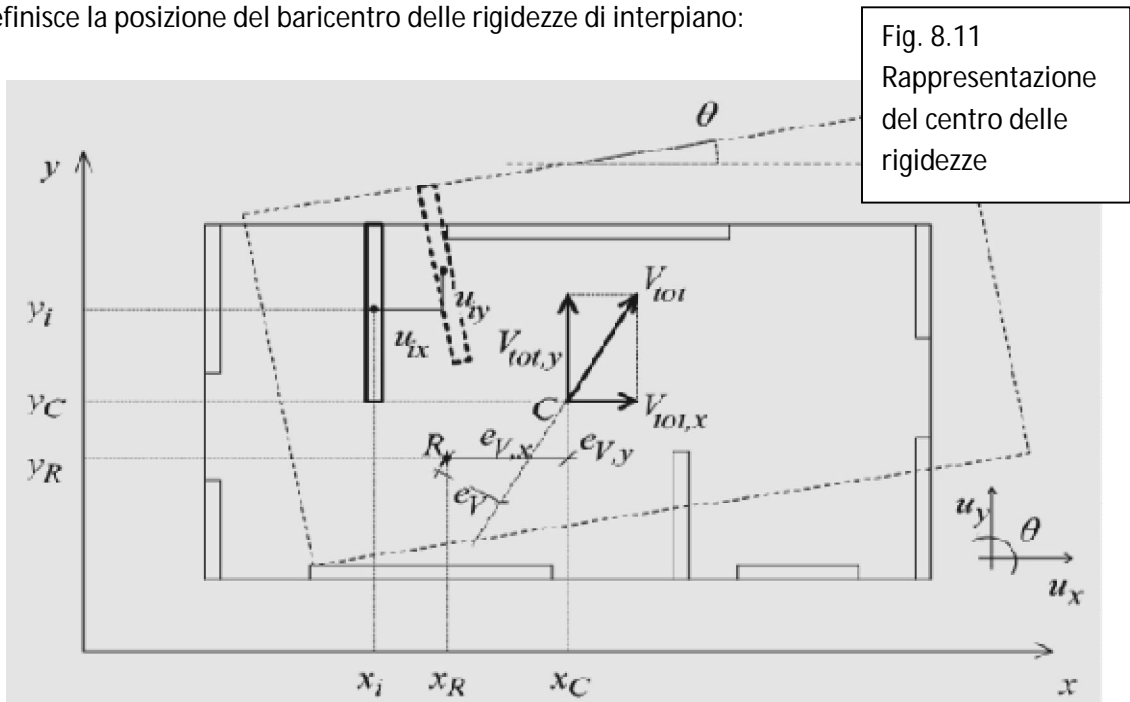
L'ipotesi del caso a) di figura 8.10 trascura completamente l'accoppiamento flessionale offerto dai solai, sovrastimando il momento alla base delle mensole, e può portare a risultati critici per pareti in muratura non armata (risultante delle compressioni esterne alla sezione), nel caso in cui il rapporto

fra le forze orizzontali e i carichi verticali assorbiti dalle mensole sia elevato (questo problema è sentito soprattutto per l'azione sismica, più raramente per il vento). In questi casi è quindi preferibile modellare l'accoppiamento flessionale offerto dai solai o dalle travi alte, anche per valutarne le sollecitazioni (Fig. 8.10 b e c). In tal caso, è opportuno introdurre dei bracci rigidi (telaio a colonne larghe) per ridurre la deformabilità degli elementi orizzontali nella parte compresa all'interno della larghezza dei montanti murari.

Più frequentemente, nella pratica progettuale, soprattutto quando la disposizione spaziale dei muri portanti è tale da non consentire di individuare agevolmente dei sistemi di telai piani, le azioni taglianti nei piani vengono ripartite ai diversi piani secondo un metodo semplificato dovuto a Benjamin.

Il metodo presuppone che gli orizzontamenti siano infinitamente rigidi nel loro piano e definisce un criterio per calcolare rapidamente la ripartizione del taglio interpiano supposto applicato in un punto C (si faccia riferimento alla Fig. 8.11). Per ogni muro, caratterizzato da coordinate baricentriche e, si definisce una rigidezza elastica traslazionale in ciascuna delle due direzioni orizzontali x e y, K_{xi} e K_{yi} , e una rigidezza torsionale $K_{i\theta}$. Si suppone per semplicità che siano nulle le rigidezze reciproche K_{xyi} , $K_{\theta xi}$, $K_{\theta yi}$ (ovvero che sia nulla la reazione elastica del muro in direzione y all'applicazione di uno spostamento u_{ix} in direzione x, mantenendo $u_{iy} = 0$, e $\theta_i = 0$, e così via).

Si definisce la posizione del baricentro delle rigidezze di interpiano:



Dove X_R e Y_R , sono dati da:

$$X_R = \frac{\sum_i K_{yi} x_i}{\sum_i K_{yi}} \quad Y_R = \frac{\sum_i K_{xi} y_i}{\sum_i K_{xi}}$$

Imponendo l'equilibrio alla traslazione in direzione x e y e alla rotazione attorno all'origine, e sfruttando le relazioni cinematiche che conseguono all'ipotesi di orizzontamenti infinitamente rigidi, si può dimostrare facilmente che le azioni taglianti V_{ix} e V_{iy} nelle rispettive direzioni e il momento torcente " T_i " in ogni muro sono ottenibili come:

$$V_{ix} = \frac{K_{xi}}{K_{x,tot}} V_{tot,x} - \frac{K_{xi}(y_i - y_R)}{J_{p,tot}} M_{tot} \quad V_{iy} = \frac{K_{yi}}{K_{y,tot}} V_{tot,y} - \frac{K_{yi}(x_i - x_R)}{J_{p,tot}} M_{tot} \quad T_i = \frac{K_{\theta i}}{J_{p,tot}} M_{tot}$$

Dove:

$$K_{x,tot} = \sum_i K_{xi}$$

$$K_{y,tot} = \sum_i K_{yi}$$

$$J_{p,tot} = \sum_i K_{xi} (y_i - y_R)^2 + \sum_i K_{yi} (x_i - x_R)^2 + \sum_i K_{\theta i}$$

sono rispettivamente le rigidezze traslazionali totali e la rigidezza rotazionale totale di piano e

$$M_{tot} = V_{tot,y}(x_C - x_R) - V_{tot,x}(y_C - y_R) = V_{tot,y}e_{V,x} - V_{tot,x}e_{V,y}$$

è il momento torcente di piano dovuto all'eccentricità e_v della risultante V_{tot} , applicata in C , rispetto al baricentro delle rigidezze di piano R .

Per la valutazione della rigidezza delle pareti, tenendo conto delle deformazioni flessionali e a taglio si pone:

$$K_{x,y} = \left(\frac{h^3}{\beta E J_{x,y}} + 1.2 \frac{h}{GA} \right)^{-1}$$

in cui è l'altezza libera interpiano del muro, è l'area resistente al taglio trascurando eventuali flange, e il coefficiente viene solitamente assunto pari a 3.

Una volta note le aliquote taglianti assorbite da ogni parete a ogni piano, è possibile calcolare i momenti flettenti lungo l'altezza solo se si introducono delle ipotesi relativamente all'accoppiamento flessionale offerto dagli elementi strutturali orizzontali (cordoli, solai e travi alte). L'ipotesi più semplice e sbrigativa è quella, per cui, in una generica sezione del muro, il momento è ottenuto semplicemente moltiplicando le forze taglianti applicate ai piani superiori per la loro distanza dalla sezione di muro considerata. Una volta note le sollecitazioni nei muri di controvento sotto forma di azioni taglianti, momenti, e azioni assiali, è necessario procedere alle verifiche di sicurezza a pressoflessione e a taglio.

Per quel che riguarda la pressoflessione, è necessario considerare l'effetto concomitante delle azioni orizzontali e verticali. In particolare, oltre all'eccentricità longitudinale dell'azione assiale dovuta alla pressoflessione nel piano del muro, possono essere presenti delle eccentricità trasversali.

Secondo la normativa italiana la verifica a pressoflessione nel caso di murature non armate consiste nel verificare che l'azione verticale di calcolo N_d sia inferiore all'azione limite resistente secondo l'espressione: $N_d \leq \Phi t \Phi l f_d A$, in cui Φt è il coefficiente di riduzione della resistenza funzione delle eccentricità trasversali e Φl è il coefficiente di riduzione della resistenza valutato per l'eccentricità longitudinale, nell'ipotesi di snellezza di progetto nulla.

Secondo gli Eurocodici la verifica alle tensioni normali viene condotta con riferimento al carico verticale per unità di lunghezza $N_{sd} \leq N_{rd} = \Phi f_d t$ in cui compare solo il coefficiente di riduzione Φ dovuto alle eccentricità trasversali e lo spessore del muro. L'effetto della pressoflessione nel piano, ovvero della eccentricità longitudinale del carico verticale, dovrà quindi essere considerato nel calcolo del carico verticale per unità di lunghezza N_{sd} , considerando la muratura non reagente a trazione.

La verifica a taglio consiste nel verificare che l'azione tagliante di calcolo V_{sd} sia minore della resistenza di calcolo del muro. Secondo un approccio comune, nel caso di murature non armate la resistenza è pari alla resistenza media della zona compressa, la cui estensione è calcolata supponendo la muratura non reagente a trazione e assumendo una variazione lineare delle compressioni lungo la sezione.

Si può verificare facilmente che in questo caso per un muro rettangolare, detta " e_l " l'eccentricità longitudinale dell'azione assiale, l'area reagente è data da:

$$A_{eff} = t l \left(\frac{3}{2} - 3 \frac{e_l}{l} \right) = A \beta \quad (\text{con } \beta = 1 \text{ per } e_l \leq l/6)$$

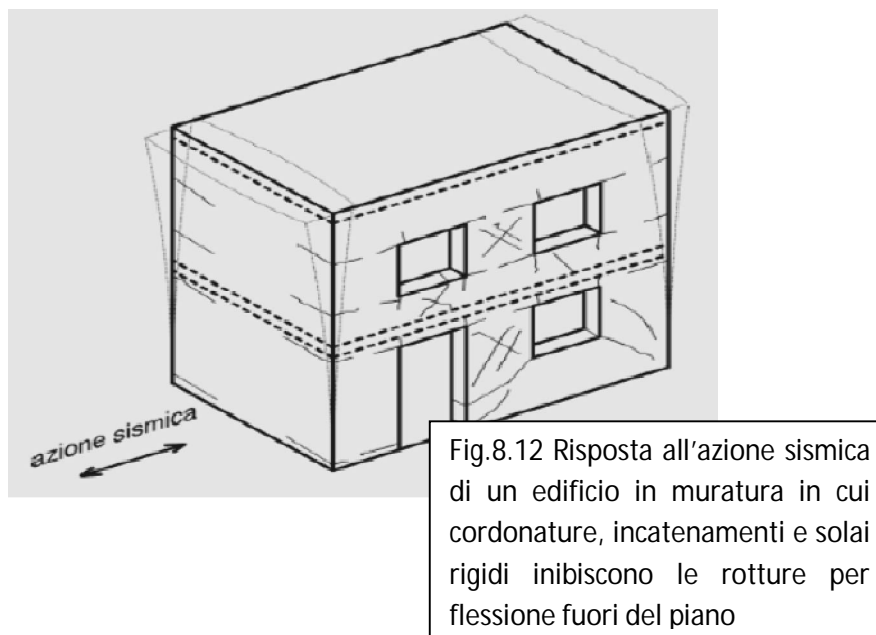
La verifica a taglio allo stato limite ultimo diventa quindi:

$$V_{sd} \leq A \beta f_{vd}$$

8.7 Edifici in muratura soggetti all'azione sismica

La risposta al sisma degli edifici in muratura è fortemente legata alla regolarità strutturale e al grado di interconnessione fra i muri e fra i muri ed i solai. Le prescrizioni in merito alla necessità di collegare in modo opportuno solai e pareti mediante cordonature e incatenamenti hanno in ambito sismico ancor maggiore rilevanza e hanno lo scopo di evitare alcuni comportamenti fortemente deficitari che sono stati riscontrati in edifici di vecchia costruzione.

Nel caso di edifici con solai in legno senza ancoraggi efficaci alla muratura e senza legature o incatenamenti dei muri, le pareti tendono a separarsi lungo le linee verticali di intersezione, con la formazione di vistose fessure. In queste condizioni i muri tendono a crollare per effetto delle accelerazioni ortogonali al piano della parete. Il collasso o ribaltamento fuori dal piano è evidentemente favorito dalla presenza di eventuali strutture spingenti (volte, archi, tetto). Tali meccanismi sono inibiti quando sono presenti tiranti o catene oppure cordoli in cemento armato che leghino efficacemente tra di loro le pareti al livello dei solai, e che assorbano le componenti orizzontali delle strutture spingenti. Inoltre, la presenza di solai con comportamento a diaframma rigido riduce sensibilmente le inflessioni fuori dal piano dei muri, favorendo il comportamento "scatolare" e aumentando il grado di iperstaticità della struttura. Negli edifici moderni ben progettati, in cui il grado di connessione fra pareti e solai rigidi è adeguato, il meccanismo prevalente di resistenza globale al sisma è associato alla risposta nel piano dei muri, e la risposta d'insieme è analoga a quella rappresentata in Figura 8.12.



8.7.1 Comportamento ciclico della muratura soggetta ad azioni nel piano

Il comportamento ciclico di pareti in muratura non armata è strettamente collegato ai meccanismi di rottura descritti precedentemente.

In figura 8.13 è raffigurato il comportamento ciclico sperimentale di un muro di mattoni pieni soggetto ad un carico verticale costante, a cui è stata imposta una storia ciclica di spostamenti orizzontali, mantenendo il parallelismo delle basi superiore e inferiore. Tale muro è caratterizzato da una rottura per taglio con fessurazione diagonale. Elementi di particolare interesse sono:

- l'evoluzione della resistenza in fase post-picco;
- l'energia dissipata, rappresentata dall'area racchiusa nei cicli di isteresi della curva forza-spostamento.

Si nota come il comportamento post-picco sia caratterizzato da un degrado di resistenza abbastanza marcato al crescere degli spostamenti orizzontali impressi, con cicli di moderata ma apprezzabile dissipazione. Il carattere fragile della rottura per taglio è quindi legato principalmente al veloce degrado di resistenza che si verifica dopo la formazione di due sistemi di fessure diagonali incrociate (Fig. 8.14).

Viceversa, un muro caratterizzato da rottura per pressoflessione con bassi valori di compressione verticale media (Fig. 8.15) presenta un comportamento quasi elastico - non lineare, dovuto in massima parte al comportamento monolatero (non reagente a trazione) dei letti di malta, con isteresi inferiore rispetto alla rottura per taglio, ma con capacità di sostenere spostamenti elevati senza danni sostanziali.

In virtù della bassa compressione media, il muro tende a sviluppare un meccanismo di ribaltamento che in condizioni dinamiche consente ulteriore dissipazione di energia per impatto delle basi del muro con la fondazione o con elementi adiacenti.

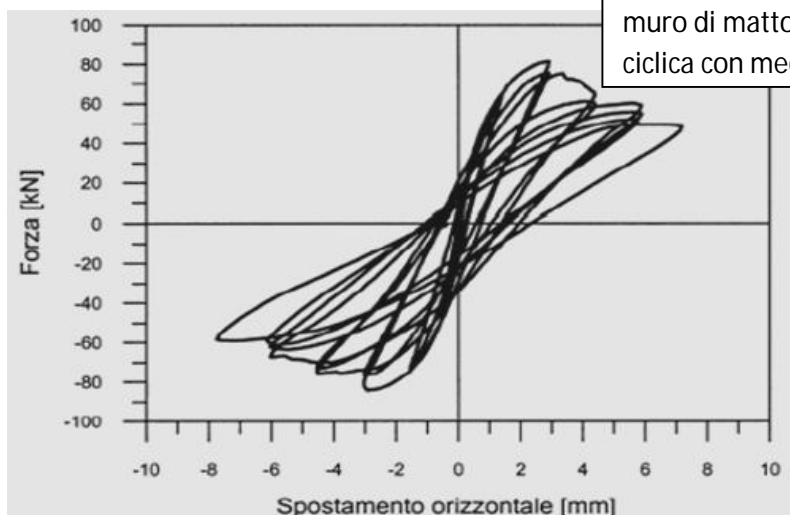


Fig.8.13 Comportamento sperimentale di un muro di mattoni pieni soggetto a una forza ciclica con meccanismi di rottura per taglio.



Fig.8.14 Doppia fessurazione diagonale per taglio ciclico in un muro di mattoni.

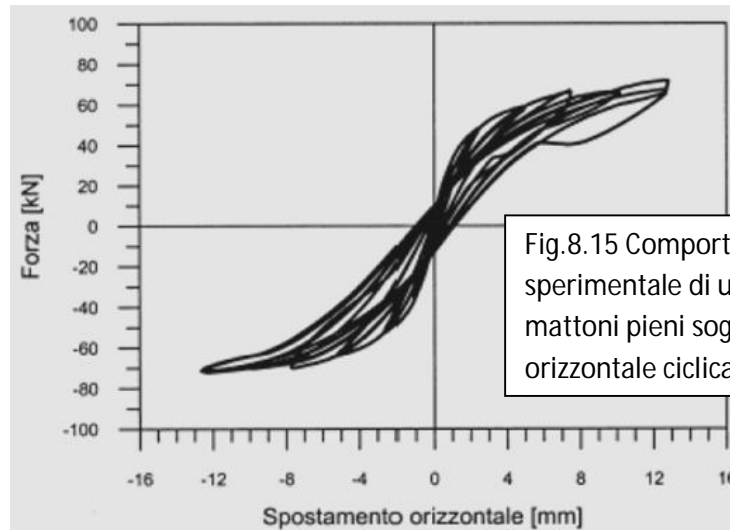


Fig.8.15 Comportamento sperimentale di un muro di mattoni pieni soggetto a una forza orizzontale ciclica con meccanismo

La rottura per taglio - scorrimento lungo un letto orizzontale di malta, possibile per muri tozzi con basso valore di compressione media, presenta in linea di principio grandi capacità di dissipazione di energia, anche se sono rari i casi sperimentali in cui tale meccanismo si presenta in modo esclusivo: molto più frequentemente esso è accompagnato da meccanismi flessionali o di fessurazione per taglio.

La conformazione degli edifici in muratura in cui la maggior parte delle azioni orizzontali è assorbita dai muri più lunghi e quindi più tozzi, tende a rendere la rottura per taglio il meccanismo di rottura più probabile per i muri di controvento.

Per tale motivo, data la natura fragile della rottura per taglio, si tende a considerare la muratura non armata inadatta alle costruzioni in zona sismica.

Tuttavia, la rottura per taglio non è il meccanismo esclusivo, e la compresenza di altri meccanismi quale quello flessionale o di scorrimento, possono rendere la risposta sismica globale di un edificio

meno sfavorevole. Inoltre, quando sono stati seguiti opportuni accorgimenti, quali ad esempio l'introduzione di cordolature e incatenamenti che inibiscano le rotture fuori dal piano dei muri, e aumentano l'iperstaticità del sistema, è possibile raggiungere un livello minimo di "duttilità" e di capacità dissipative che possono consentire all'edificio di resistere a terremoti molto intensi.

8.8 Metodi di analisi delle strutture in muratura

Nel seguente capitolo, verranno analizzati gli aspetti e le caratteristiche principali dei metodi di analisi delle strutture in muratura.

Non esiste un modello di assoluta applicabilità e di validità generale e quindi ciascuna modellazione può risultare adeguata in un numero più o meno alto, ma comunque limitato, di casi.

In base alle finalità della modellazione è possibile effettuare una prima distinzione in:

- ❖ analisi limite;
- ❖ analisi elastica e post - elastica.

Nei modelli basati sull'analisi limite lo scopo principale è la determinazione del carico di collasso, attraverso uno studio di equilibri e cinematismi di corpi rigidi, prescindendo cioè dalla deformabilità della struttura in fase elastica e post - elastica. Tali modelli utilizzano il teorema statico (analisi di tipo incrementale) e/o il teorema cinematico (analisi dei cinematismi di collasso), in genere sotto le ipotesi di non resistenza a trazione della muratura, infinita resistenza a compressione e assenza di scorrimenti tra i conci murari. Poiché l'applicazione del teorema statico risulta più laboriosa, si ricorre quasi sempre all'approccio cinematico (indicato anche dalle NTC 08) che consiste nel determinare il più piccolo tra i moltiplicatori di collasso associati ai possibili cinematismi.

L'analisi limite è uno strumento particolarmente indicato per l'analisi dei meccanismi locali di collasso (di I e II modo) di edifici esistenti e in generale per la valutazione della vulnerabilità di costruzioni storiche, in quanto consente di definire il margine di sicurezza della struttura indipendentemente dalle proprietà deformative del materiale (difficilmente definibili su base sperimentale) e dalle sue caratteristiche costruttive.

Nell'ambito più vasto e articolato dei modelli che non rinunciano a considerare l'evoluzione deformativa della struttura, è possibile individuare due differenti tipi di modellazione:

- modellazione agli elementi finiti (F.E.M.);
- modellazione ai macro-elementi.

In via generale, i metodi agli elementi finiti se da una parte offrono il vantaggio di poter modellare qualsiasi tipo di struttura, anche di forma molto irregolare, con risultati accurati, presentano d'altra parte una serie di difficoltà legate a una corretta discretizzazione della struttura (la muratura è un materiale fortemente disomogeneo e anisotropo) e dalla non semplice analisi e sintesi dei risultati.

Pertanto, per la pratica ingegneristica professionale, a meno di problemi specifici (come ad es. l'analisi di strutture voltate), conviene quasi sempre ricorrere a metodi di calcolo ai macro-elementi, che risultano più agili sia dal punto di vista computazionale che interpretativo, ma parimenti affidabili.

Inizialmente, ci si concentrerà su quella che è la base di riferimento di tutti i metodi di analisi che successivamente si sono sviluppati, cioè il metodo POR, che, con i suoi pregi e benché le numerose critiche ricevute, rimane il primo modello di riferimento. Successivamente si andranno ad analizzare i modelli per un'analisi lineare nel dettaglio i cosiddetti modelli a macroelementi, partendo dal metodo PEFV (Parete ad Elementi Finiti a geometria Variabile), incentrato su un approccio agli elementi finiti all'interno dei macroelementi stessi, continuando con i metodi SAM (Simplified Analysis Method) e 3MURI, che si avvalgono di una modellazione a telaio equivalente.

8.8.1 Metodi basati sull'analisi del singolo piano

In una parete in muratura, nell'ipotesi che le fasce di piano siano più rigide e resistenti dei maschi sottostanti, i maschi murari tendono ad assumere un comportamento shear-type piano per piano; nel caso opposto di fasce più deboli, invece, i maschi tendono a comportarsi come una serie di mensole estese sull'intera altezza della parete, con modesto vincolo flessionale da parte delle fasce.

È evidente quindi che la resistenza delle pareti alle forze orizzontali, a parità di dimensioni, carichi verticali e caratteristiche dei maschi, è assai più elevata nel primo tipo di comportamento che nel secondo. Di conseguenza, in numerosi metodi di calcolo, primo fra cui il POR, l'edificio è modellato come un insieme di pareti collegate fra loro da un solaio infinitamente rigido e con fasce di piano infinitamente rigide e resistenti che delimitano i maschi murari.

Questi metodi di calcolo sono quelli basati sul concetto di meccanismo di piano, che partono dal presupposto che per una parete in muratura il meccanismo di collasso più probabile sia quello di rottura per taglio dei maschi di un certo piano, detto piano critico (un esempio in Figura 8.16). Pertanto, si esegue un'analisi non lineare taglio – spostamento separatamente per ogni piano individuando quello più debole. Questa ipotesi, pur escludendo a priori altri meccanismi di rottura globali, può essere giudicata attendibile per una certa classe di edifici e ha comunque il grande pregio di rendere minimo l'onere computazionale del metodo.

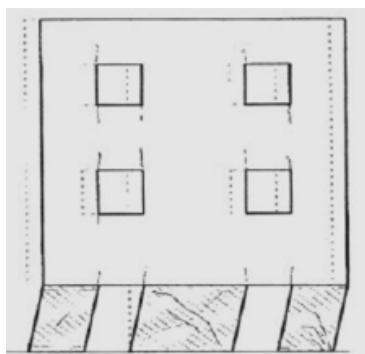


Fig. 8.16 Meccanismo di piano debole: collasso per taglio dei maschi murari del primo piano.

L'ipotesi di solaio infinitamente rigido e fasce di piano infinitamente rigide e resistenti permette il disaccoppiamento dei piani, per cui è possibile fare l'analisi piano per piano assegnando le forze sismiche (intese come statiche) alle pareti in base alla loro rigidità e alla posizione del centro di massa.

A questa classe di metodi di calcolo appartiene il POR, che costituisce il modello di riferimento per l'analisi delle murature nel nostro paese.

Si propone quindi la trattazione di tale metodo come rappresentativo di tutti i modelli semplificati con analisi piano per piano.

8.8.1.1 Metodo POR

Il metodo POR, già dalla fine degli anni Settanta, è stato considerato dalle normative italiane come possibile approccio allo studio delle costruzioni in muratura. Ideato ed elaborato dal ricercatore sloveno Tomazevic nel 1978, la sua implementazione risulta di facile applicabilità anche in campo pratico, il che gli ha conferito la popolarità di cui tuttora gode tra i progettisti del settore.

Questo metodo, tuttavia, dalla data della sua ideazione è stato oggetto di continue migliorie, sia da parte dell'autore stesso che di altri ricercatori. Le modifiche effettuate riguardano principalmente il meccanismo di collasso considerato per i maschi murari: il limite di considerare solo la rottura per taglio con fessurazione diagonale è stato superato introducendo ulteriori e opportuni criteri di rottura.

Uno dei modi per esempio per poter tenere in conto della possibilità di rottura per pressoflessione è, ad esempio, quello di ridurre la tensione tangenziale di riferimento.

Tuttavia, non è stato possibile superare il limite di considerare i maschi murari come unica sede possibile per deformazioni e rotture, in quanto è causato proprio dal concetto di meccanismo di piano che sta alla base del metodo: eseguendo un'analisi taglio - spostamento piano per piano, non

viene considerato il ruolo delle fasce, trascurando le sollecitazioni che vi si creano e questo è causa di notevoli difetti. Detto ciò, si passerà alla descrizione vera e propria del metodo.

Nel POR, una parete sottoposta a un'azione orizzontale è vista composta da maschi reagenti in parallelo (vedi Figura 8.17); questi sono ipotizzati come travi con vincolo incastro - incastro scorrevole, con rigidità di tipo trave deformabile a flessione e a taglio.

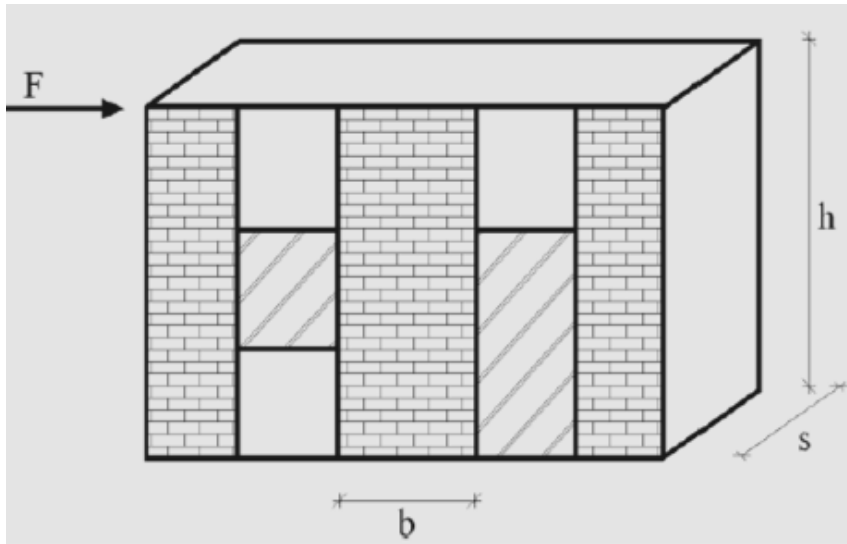


Fig. 8.17 Parete sottoposta ad azione orizzontale.

Si determina lo spostamento in sommità componendo la deformazione flessionale e tagliante; esso è dato da:

$$\delta = \delta_M + \delta_T = \frac{Vh^3}{nEJ} + \frac{\chi Vh}{GA} \quad \chi = 1.2 \quad 3 \leq n \leq 12$$

dove:

δ_M : spostamento dovuto alla flessione,

δ_T : spostamento dovuto al taglio,

χ : fattore di taglio.

Ponendo $\delta = 1$ si ottiene il valore della rigidità alla traslazione:

$$k = \frac{1}{\frac{h^3}{nEJ} + \frac{1.2 h}{GA}}$$

La rigidità elastica alla traslazione è uno dei parametri necessari per la definizione del comportamento strutturale del maschio murario. Si assume infatti una legge costitutiva elastica perfettamente plastica, che è rappresentata dal diagramma Forza-Spostamento rappresentato in Figura 8.18, per la definizione del quale occorrono i seguenti tre parametri:

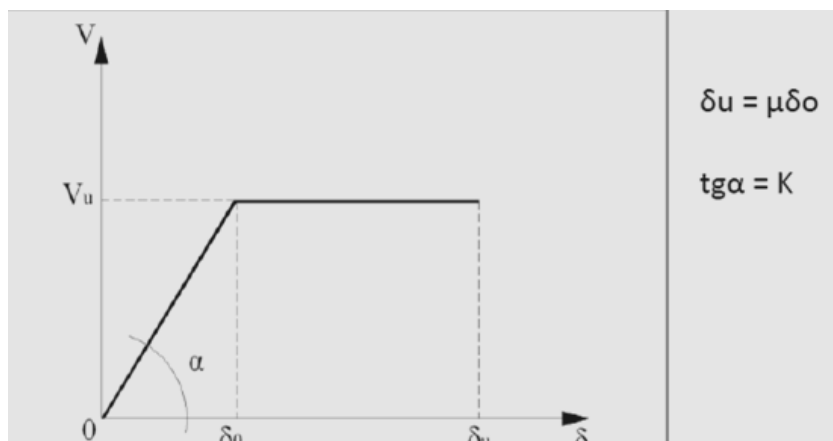


Fig. 8.18 Diagramma forza – spostamento singolo maschio murario.

- la rigidezza elastica, espressa dalla precedente, che fornisce la pendenza del tratto inclinato del diagramma (campo elastico);
- la forza ultima, che rappresenta la resistenza a taglio del maschio espressa in funzione della tensione tangenziale caratteristica della muratura e della tensione normale (cioè del carico verticale applicato);
- la duttilità, pari al rapporto tra lo spostamento ultimo e lo spostamento al limite elastico.

Il valore della tensione tangenziale caratteristica varia da 0.02 MPa fino a 0.24 MPa, mentre la duttilità assegnata è compresa tra 1.5 e 2.

La forza ultima V_u dei maschi è fornita dal criterio di resistenza di Turnseck e Cacovic, ed è ricavata partendo dall'analisi di un pannello murario sottoposto agli effetti combinati di tensione normale e tangenziale e caratterizzato, al raggiungimento della tensione principale di trazione limite, da rottura per fessurazione diagonale:

$$V_u = A \tau_{0d} \sqrt{[1 + \sigma_0 / (b \tau_{0d})]}$$

Lo sforzo principale di trazione, considerando uno stato di tensione piano, può essere valutato come:

$$\sigma_t = -\frac{\sigma_0}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

Posto $\tau = b \tau_0$ (la distribuzione degli sforzi di taglio, per una sezione rettangolare, è di tipo parabolico con valore massimo pari a $b \tau_0$), posto $\sigma_{cr} = \sigma_t$ resistenza caratteristica a trazione e facendo opportuni passaggi, si ottiene la formula finale:

$$V_u = A \tau_k \sqrt{[1 + \sigma_0 / (1.5 \tau_k)]}$$

in cui b è stato posto uguale a 1.5 ipotizzando $h/b \geq 1,5$.

Noti quindi la geometria del maschio murario (b, s, h), la tipologia della muratura (τ_k, G, μ) e il carico verticale (σ_0), il diagramma Forza-Spostamento risulta completamente definito.

Il comportamento strutturale di una parete, costituita da più maschi in parallelo, viene definito a partire da quello dei singoli maschi. Sotto l'azione di una forza orizzontale agente globalmente, la parete presenta uno spostamento comune a tutti i maschi; ognuno reagisce con una forza dipendente dalla propria rigidità alla traslazione. Pertanto il diagramma Forza - Spostamento della parete si ottiene sommando i contributi resistenti di ciascun maschio (Figura 8.19).

Per il primo tratto, corrispondente alla retta OA, la rigidità del sistema è la somma delle rigidità di ciascun maschio (1, 2, 3). Successivamente il maschio 3 presenta rigidità nulla e quindi per il tratto AB la rigidità del sistema è pari alla somma delle rigidità dei maschi 1 e 2. Nel tratto BC si annulla anche la rigidità del maschio 1 e in CD il diagramma assume un andamento costante, fino al punto in cui la resistenza complessiva registra un brusco crollo. Quest'ultimo, causato dalla definitiva rottura del primo maschio, sarà seguito da altri due crolli (corrispondenti alla rottura degli altri due maschi) e in seguito dalla totale caduta di resistenza.

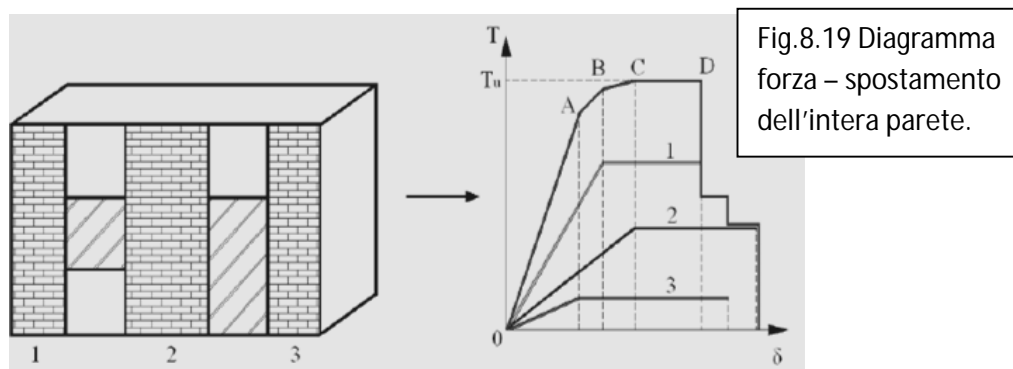


Fig.8.19 Diagramma forza – spostamento dell'intera parete.

Grazie al diagramma globale Forza-Spostamento è possibile, noto il valore della forza orizzontale, ricavare il corrispondente spostamento della parete, mentre i vari contributi resistenti dei maschi murari vengono letti sui rispettivi diagrammi.

Il diagramma AOBCE di Figura 8.18, descrive completamente il comportamento non lineare della parete muraria e risulta evidente come soltanto considerando per ogni maschio murario la fase plastica è possibile stimare correttamente forze e spostamenti sotto azioni orizzontali.

La curva del tipo di Figura 8.18 potrebbe essere agevolmente costruita considerando non solo una parete, ma tutte le pareti che costituiscono l'organismo murario resistente del piano considerato. Semplicemente sommando i contributi di tutti i maschi murari di tutte le pareti, si giunge immediatamente alla curva di capacità complessiva. Questa procedura però è lecita solo se il centro delle rigidità coincide con il baricentro (centro delle masse): infatti, viene considerata una traslazione orizzontale di tutti i maschi murari senza effetti torsionali.

D'altra parte la sollecitazione, per sua natura, è applicata nel centro delle masse e produce non solo una traslazione ma anche una rotazione intorno al centro delle rigidezze. Pertanto, per estendere al caso spaziale la curva di capacità, è necessario riferirsi al procedimento qui di seguito descritto.

Con riferimento alla Figura 8.20, la struttura muraria si considera costituita da pareti di sezione rettangolare disposte secondo le direzioni ortogonali nel riferimento X e Y.

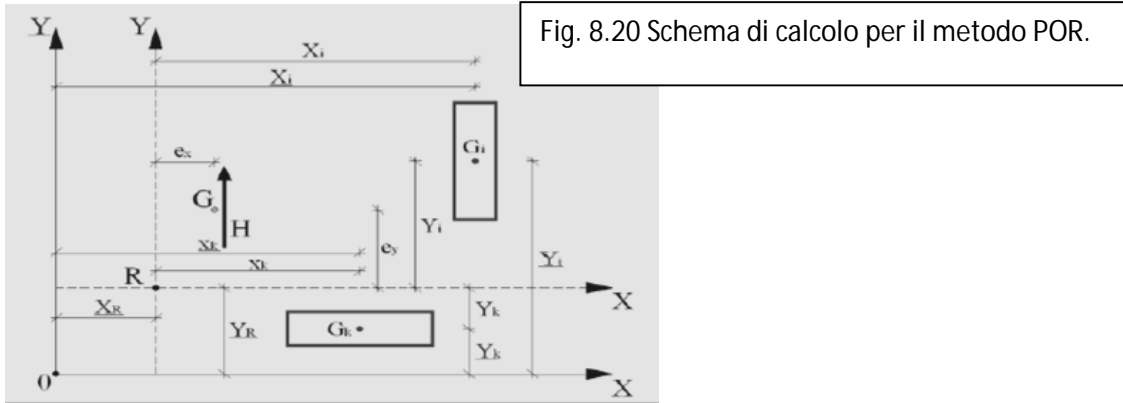


Fig. 8.20 Schema di calcolo per il metodo POR.

Si indichi con i ($i=1,2,3,\dots,n$) il setto generico disposto secondo Y e con k ($k=1,2,3,\dots,n$) il setto generico disposto secondo X. Le coordinate del centro delle rigidezze nel riferimento XY sono:

$$\underline{x}_R = \frac{\sum K_{yi} \underline{x}_i}{\sum K_{yi}} = \frac{\sum K_{yi} \underline{x}_i}{K_y} \qquad \underline{y}_R = \frac{\sum K_{xk} \underline{y}_k}{\sum K_{xk}} = \frac{\sum K_{xk} \underline{y}_k}{K_x}$$

dove K_x e K_y sono le rigidezze totali di piano alla traslazione in direzione X e Y.

Determinata la posizione del centro delle rigidezze, si può assumere il sistema di riferimento XY con origine in R.

Una forza H, applicata nel punto R, produce una traslazione relativa secondo X pari a:

$$\delta_{xR} = \frac{H}{K_x}$$

e impegna i setti k con forze proporzionali alle rigidezze:

$$H_{xk} = \frac{K_{xk}}{K_x} H$$

La stessa forza agente in direzione produce una traslazione relativa:

$$\delta_{yR} = \frac{H}{K_y}$$

e impegna i setti con forze:

$$H_{yi} = \frac{K_{yi}}{K_y} H$$

Un momento torcente di piano produce rotazione relativa attorno ad R pari a:

$$\vartheta = \frac{M_t}{J_R}$$

Dove:

$$J_R = \sum K_{xk}(\underline{y}_i - \underline{y}_R)^2 - \sum K_{yi}(\underline{x}_k - \underline{x}_R)^2$$

è il momento d'inerzia polare delle rigidzze rispetto al centro. I setti i e k risultano impegnati rispettivamente dalle forze:

$$H_{yi} = K_{yi}x_i \frac{M_t}{J_R}$$

$$H_{xk} = K_{xk}y_k \frac{M_t}{J_R}$$

Nella verifica sismica si suppone che la sollecitazione agisca in direzione X o in direzione Y, per cui lo spostamento del piano che si considera è individuato da due parametri: la traslazione nella direzione del sisma (X o Y) e la rotazione attorno al centro delle rigidzze. Quest'ultima dipende dal fatto che l'azione sismica produce una rotazione attorno a R se il baricentro non coincide con il centro delle rigidzze.

Supposto che la forza relativa al piano che si considera di intensità H abbia direzione Y ed agisca con eccentricità e_x dal centro delle rigidzze, le forze di taglio che impegnano i setti sono espresse da:

$$H_{yi}(y) = H \left[\frac{K_{yi}}{\sum K_y} + \frac{K_{yi}x_i}{J_R} e_x \right] \quad H_{xk}(y) = -H \left[\frac{K_{xk}y_k}{J_R} e_x \right]$$

dove l'indice (y) indica appunto che si sta considerando la sollecitazione in direzione Y.

Definendo i coefficienti di ripartizione:

$$\rho_{yi}(y) = 1 + \frac{K_y}{J_R} e_x x_i \quad \rho_{xk}(y) = -\frac{K_y}{J_R} e_x y_k$$

Le precedenti espressioni di $H_{yi}(y)$ e $H_{xk}(y)$, assumono la seguente forma:

$$H_{yi}(y) = \rho_{yi}(y) \frac{K_{yi}}{K_y} H \quad H_{xk}(y) = \rho_{xk}(y) \frac{K_{xk}}{K_y} H$$

Le componenti di spostamento in direzione X e Y del baricentro delle pareti i e k sono pari rispettivamente a:

$$\delta_{yi}(y) = \rho_{yi}(y) \frac{H}{K_y} = \rho_{yi} \delta_{yR} \quad \delta_{xk}(y) = \rho_{xk}(y) \frac{H}{K_y} = \rho_{xk} \delta_{xR}$$

Utilizzando le precedenti e imponendo che lo spostamento della parete sia quello al limite elastico, si ha:

$$\delta_{0yi} = \rho_{yi}(y) \delta_{Ri}$$

$$\text{da cui: } \delta_{Ri} = \frac{\delta_{0yi}}{\rho_{yi}(y)}$$

valida per le pareti disposte secondo la direzione Y e per la verifica nella stessa direzione, e:

$$\delta_{Ri} = \frac{\delta_{0xi}}{\rho_{xi}(Y)}$$

per le pareti disposte secondo la direzione X e per la verifica in direzione Y.

Il valore di δ_R che determina la fine del comportamento elastico dell'intero organismo murario resistente è dato dal minimo tra quelli di tutte le pareti, ognuno così calcolato. Ciò significa che la parete r-esima è al limite elastico, mentre ogni altra parete è ancora in fase elastica.

La forza reattiva allo Stato Limite Elastico in direzione Y è data da:

$$H_{SLE} = \delta_{R,SLE} K_y$$

A partire dallo Stato Limite Elastico, si innesca un procedimento passo-passo che consente di determinare le capacità reattive del complesso murario al limite di fessurazione e a quello di rottura.

Infatti, partendo dal valore di δ_R relativo al limite elastico, si opera per incrementi prefissati di δ_R seguendo il comportamento della struttura, fino a raggiungere i successivi stati limite. In tale procedimento è necessario mettere in conto il comportamento plastico dei pannelli che superano il proprio limite elastico sostituendo alla rigidezza K_0 la rigidezza secante $K(\delta)$. Oltre il limite elastico, infatti, la rigidezza di una parete è funzione dello spostamento, mentre la capacità reattiva corrispondente resta costantemente pari a H_u .

A ogni passo del procedimento è necessario aggiornare la posizione del centro delle rigidezze in relazione ai valori "attuali" delle rigidezze delle pareti che sono impegnate oltre il limite elastico. Al termine del procedimento passo-passo si ottiene il valore della forza reattiva del complesso murario allo Stato Limite Ultimo, valore che deve essere confrontato con la forza sollecitante di progetto.

Nell'esposizione del procedimento si è supposto la sollecitazione agente in direzione Y; il procedimento è analogo se la sollecitazione agisce in direzione X. Per descrivere il comportamento del piano i-esimo dell'edificio sottoposto all'azione sollecitante, si utilizza il diagramma forza-spostamento $H - \delta$ (H = taglio, d = spostamento del punto di controllo, coincidente con il centro di massa del piano).

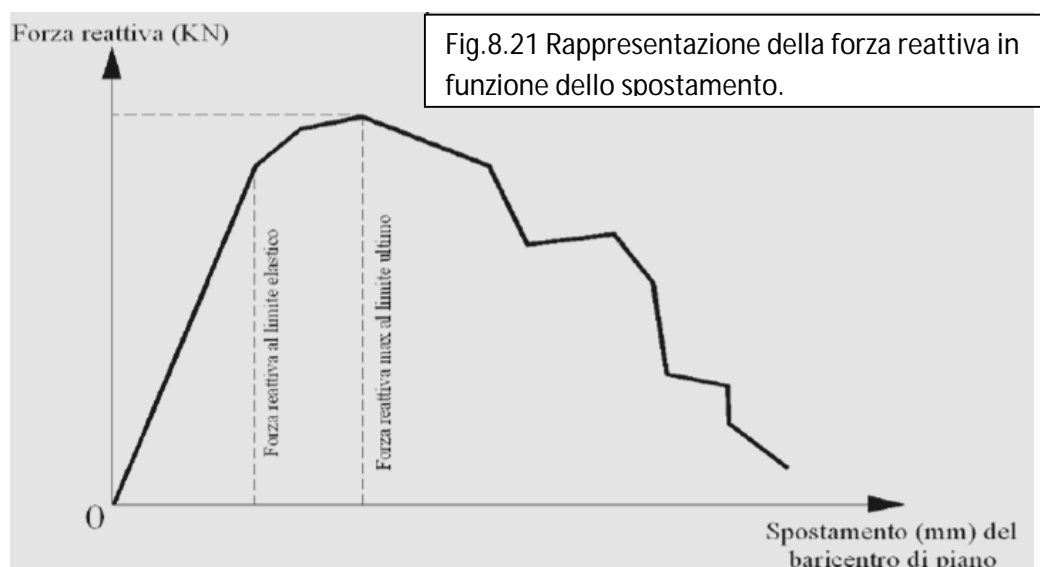
Nei passi che si susseguono durante il procedimento, finché gli spostamenti di ognuna delle pareti resistenti si trovano in campo elastico, il diagramma complessivo è costituito da una retta che parte dall'origine e ha pendenza pari alla rigidezza complessiva. Successivamente, via via che alcune pareti escono dalla fase elastica ed entrano in quella plastica, il diagramma complessivo si appiattisce, fino a mostrare cadute in corrispondenza della crisi finale di alcune pareti. Non sempre la crisi di alcune pareti segna la fine del procedimento; in altri termini non è detto che lo Stato Limite Ultimo si

verificati in corrispondenza del primo collasso. Infatti può darsi che, incrementando ancora gli spostamenti di piano, pur essendo venuto a mancare il contributo di resistenza da parte dei maschi collassati, globalmente la forza reattiva continui a crescere.

A un certo passo, tuttavia, si giungerà sicuramente al termine del procedimento: la forza reattiva cade bruscamente in corrispondenza del collasso dei principali maschi, magari dopo un tratto di stazionarietà (corrispondente ad esempio a tutti i maschi in fase plastica).

Si comprende come il diagramma $H - \delta$ così determinato caratterizzi il comportamento del piano dell'edificio nella direzione di verifica esaminata. Esso può essere visto come la somma dei contributi dei diagrammi delle singole pareti.

Nella Figura 8.21, vengono riportate le caratteristiche descritte nel diagramma $H - \delta$ (metodo POR).



In conclusione, il POR è basato sulla definizione di un legame costitutivo taglio - spostamento del singolo maschio murario, con un ramo elastico definito da una rigidezza in cui si tiene conto sia della componente flessionale che tagliante. Si considera, inoltre, un ramo plastico limitato, con una duttilità che varia da 1,5 a 2 a seconda della tipologia strutturale. La resistenza invece è misurata sulla base del meccanismo di rottura a taglio diagonale.

Questo metodo consente inizialmente (campo elastico) una ripartizione dell'azione tagliante tra elementi di diversa rigidezza; il comportamento plastico consente successivamente di definire rigidezze apparenti (secanti), dipendenti dallo spostamento inelastico raggiunto. La ripartizione è quindi possibile anche in campo plastico e la verifica viene eseguita per mezzo di un metodo al passo che si arresta quando si raggiunge la deformazione ultima dell'elemento meno deformabile. Tutto ciò è valido sia nel piano che nello spazio.

Tuttavia il metodo POR ha un campo di applicazione limitato, al di fuori del quale risulta poco sicuro; infatti si ottiene, specialmente per edifici con tre o più piani, una sovrastima della resistenza, essenzialmente per il fatto che non si tiene conto della snellezza che determina meccanismi di collasso differenti dalla rottura per taglio diagonale.

Questo metodo, d'altronde, è stato, e tutt'ora è, sottoposto a notevoli critiche per le assunzioni troppo semplicistiche sia rispetto al modello sia rispetto al criterio di resistenza.

In parte queste critiche sono già state riferite quando si è parlato del criterio di resistenza di Turnseck e Cacovic, il quale non tiene infatti sufficientemente conto dei fenomeni complessi che avvengono in un pannello murario inserito in un edificio. Altre critiche riguardano l'ipotesi di infinita resistenza delle fasce di piano che potrebbe condurre a una sovrastima della resistenza ultima dell'intera struttura.

Anche l'ipotesi di infinita rigidità del solaio va considerata con attenzione; non è infrequente trovare, negli edifici antichi, murature di notevole spessore che possano sviluppare una rigidità superiore a quella del solaio, rendendo quindi poco plausibili una delle assunzioni fondamentali della procedura.

Una ulteriore critica che si deve fare riguarda l'ipotesi che la rottura nei maschi murari avvenga solo per taglio trascurando il fatto che questa possa avvenire anche per pressoflessione. Si aggiunge a questo che fondamentale per l'uso del criterio è la conoscenza della tensione caratteristica di taglio; nel caso delle murature antiche è praticamente impossibile determinarlo.

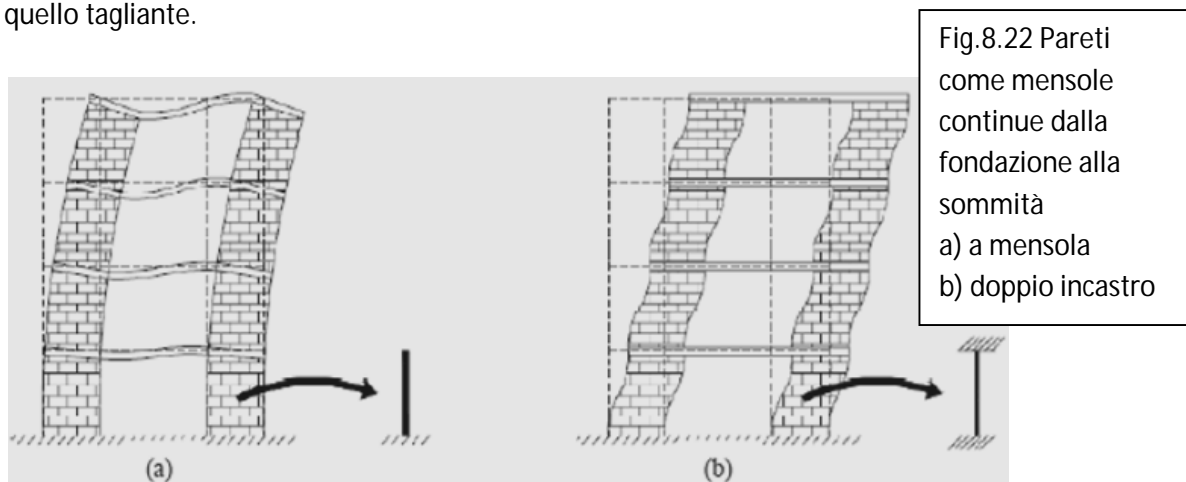
La procedura di calcolo del metodo POR, tuttavia, nonostante le critiche, possiede una sua validità storica (essendo il primo metodo di calcolo semplice che tiene conto della fase post - elastica) e pratica. Alcune sue assunzioni, come la plasticità delle murature e il metodo per tenerne conto sono sicuramente interessanti e valide e possono dare informazioni riguardo ai meccanismi locali o zone deboli della struttura.

Perché ciò avvenga, il metodo deve essere usato con estrema correttezza, verificando che ci si avvicini il più possibile alle ipotesi di calcolo (solaio infinitamente rigido, fasce di piano infinitamente rigide e resistenti).

8.8.2 Modellazione lineare

Il modello di calcolo più semplice è quello lineare, il quale considera tutte le pareti continue dalla fondazione alla sommità collegate, ai soli fini della traslazione, alle quote dei solai. In definitiva le pareti sono costituite da tante mensole incastrate alla base sulle quali si scaricano forze sismiche

proporzionali alle loro rigidezze. L'analisi viene condotta considerando solai rigidi nel piano orizzontale e calcolando le rigidezze delle singole pareti valutando sia il contributo flessionale sia quello tagliante.



Si consideri la parete di figura sopra orientata rispetto ad un asse principale (x o y), la sua rigidezza è espressa dalla relazione:

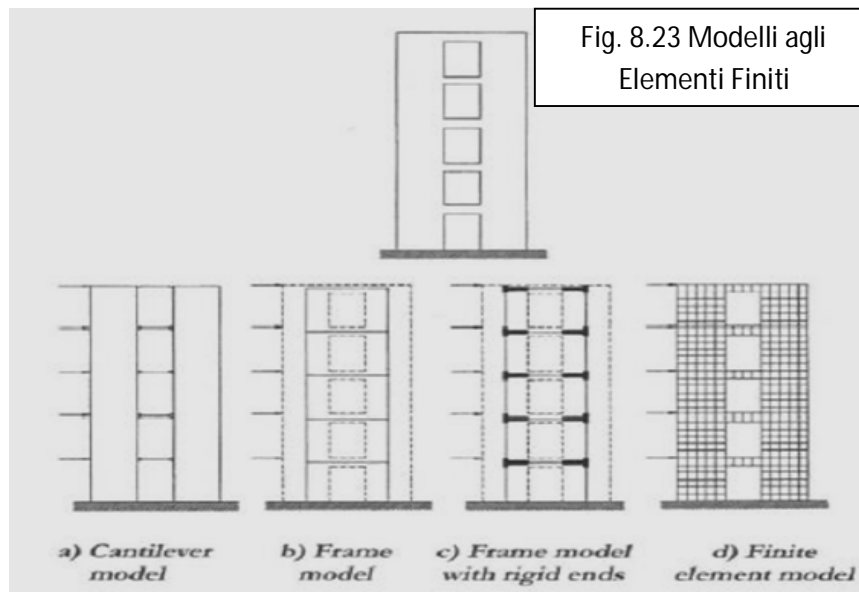
$$K_{x,y} = \left(\frac{h^3}{\beta E J_{x,y}} + 1.2 \frac{h}{G A} \right)^{-1}$$

dove h è l'altezza libera d'inflessione del pannello la cui misura dipende dal modello considerato (si veda la figura 8.22), A è l'area resistente a taglio (trascurando eventuali flange) e β è un coefficiente che dipende dalle condizioni di vincolo alle estremità di ogni pannello, la cui definizione richiede l'adozione di ulteriori ipotesi circa l'interazione esistente tra i montanti e gli altri elementi strutturali.

Generalmente si assume $\beta = 3$ nel caso di vincolo del pannello a mensola (figura 8.22 (a)) e $\beta = 12$ nel caso di doppio incastro (figura 8.22 (b)).

Inoltre la normativa consiglia di utilizzare le cosiddette rigidezze fessurate, che in assenza di analisi più dettagliate, possono valutarsi pari alla metà di quelle non fessurate. I solai possono considerarsi infinitamente rigidi nel piano orizzontale se in c.a. o se con travi in acciaio o legno dotati di soletta in c.a. di almeno 5 cm di spessore ben collegata con connettori di taglio alle travi medesime. E' consentito utilizzare un modello a telaio con traversi (in muratura, acciaio o c.a.), ma in tal caso occorre che questi siano ben ammorsati nella muratura e abbiano resistenza a trazione e flessione da verificare adeguatamente.

Da un punto di vista generale per riassumere le possibilità di modellazione strutturale, in figura 8.22, sono riportati gli schemi che è possibile adottare in caso di analisi lineare. In particolare lo schema di figura 8.22 (a) prevede traversi (o solai) non in grado di interagire flessionalmente con le pareti e capaci solo di imporne lo stesso spostamento di piano come visto in figura 8.22.



Per completezza di trattazione si espongono, sinteticamente, di seguito gli aspetti principali dei metodi basati sulla modellazione a elementi finiti sottolineando di nuovo che questo tipo di analisi, onerosa dal punto di vista computazionale.

8.8.3 Modellazione FEM (Finite Element Model)

La simulazione numerica a elementi finiti ha avuto il proprio sviluppo in seguito alla nascita degli elaboratori elettronici, attraverso la messa a punto di codici di calcolo fin dai primi anni Sessanta, in cui si diffusero codici come STRESS nel 1964, STRUDEL nel 1966, NASTRAN nel 1969, SAP nel 1970, fino a programmi più recenti come ABAQUS, ADINA, LUSAS. In generale, il metodo è un procedimento di discretizzazione "a priori" che consente di modellare la struttura come un insieme di elementi poligonali, connessi tra loro in corrispondenza dei vertici, definiti nodi. Gli spostamenti dei nodi rappresentano i gradi di libertà incogniti della struttura, noti i quali (attraverso funzioni di forma), è possibile risalire allo stato di deformazione e di tensione per ciascun elemento.

E' evidente che un'analisi di questo tipo, risultando mesh dependent, è fortemente condizionata dalle operazioni di definizione del modello. Uno dei vantaggi offerti da tale metodo è quello di consentire differenti livelli d'indagine nelle diverse parti del modello, il che permette di approfondire la conoscenza dello stato di tensione e deformazione nelle sole zone che destano maggior interesse ovvero quelle in corrispondenza delle quali si verificano elevati gradienti di tensione e deformazione. Altra prerogativa innegabile è costituita dalla possibilità di analizzare strutture aventi forma qualunque. La possibilità di impiegare elementi finiti sia piani che solidi, il metodo può essere convenientemente impiegato per l'analisi di strutture bidimensionali come le pareti o tridimensionali come le volte.

Nel caso in cui venga considerata una legge costitutiva del materiale non lineare, il metodo può prendere in esame il corretto degrado della muratura, riducendo la resistenza degli elementi danneggiati.

Occorre inoltre notare che i risultati di analisi FEM forniscono mappe che mettono in luce il livello tensionale localizzato della muratura, ma per un pannello murario un valore puntuale di tensione superiore al valore limite non ne rappresenta la rottura. I criteri di resistenza per gli elementi murari dipendono, infatti, da valori delle caratteristiche di sollecitazione che non hanno una corrispondenza diretta con lo stato tensionale, considerando quindi non gli effetti puntuali delle tensioni, ma anche possibili ridistribuzioni dovute al comportamento non lineare e al degrado. Per eseguire un'analisi corretta e coerente, quindi, è necessario rielaborare i risultati della modellazione, tramite operazioni di media e di integrazione.

8.8.4 Metodo PEFV

Il modello di tipo bidimensionale qui di seguito proposto (D'Asdia e Viskovic, 1994) utilizza tecniche che modificano la geometria degli elementi, al fine di eliminare le zone in trazione.

Il seguente approccio, basato sull'uso di elementi finiti di forma variabile (all'interno dei macroelementi stessi), essendo finalizzato specificamente all'analisi delle pareti multipiano, consente notevoli riduzioni di sforzo di calcolo e di tempo necessario alla preparazione dei dati e all'interpretazione dei risultati, mentre conserva il vantaggio, tipico dei metodi di calcolo agli elementi finiti, di non introdurre alcuna ipotesi circa le rigidzze relative e le resistenze degli elementi costituenti la parete: pannelli verticali (maschi) e pannelli orizzontali (di fascia).

Sulla base di tale modello è stato realizzato un programma di calcolo automatico denominato PEFV (Parete a Elementi Finiti a geometria Variabile). La procedura di quest'ultimo è non lineare e segue, all'incrementarsi del carico, l'evoluzione della forma della parete resistente della muratura. La discretizzazione dei pannelli murari avviene attraverso un numero limitato (8-18) di semplici elementi finiti triangolari a deformazione costante come mostrato in Figura 8.24, per un pannello, in Figura 8.25, per un elemento di nodo fra i pannelli verticali e di fascia e in Figura 8.26, per una intera parete.

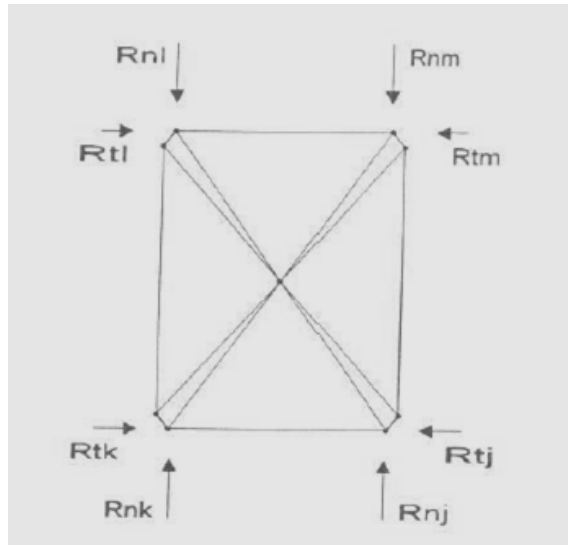


Fig. 8.24 Discretizzazione di un pannello murario (maschio o fascia).

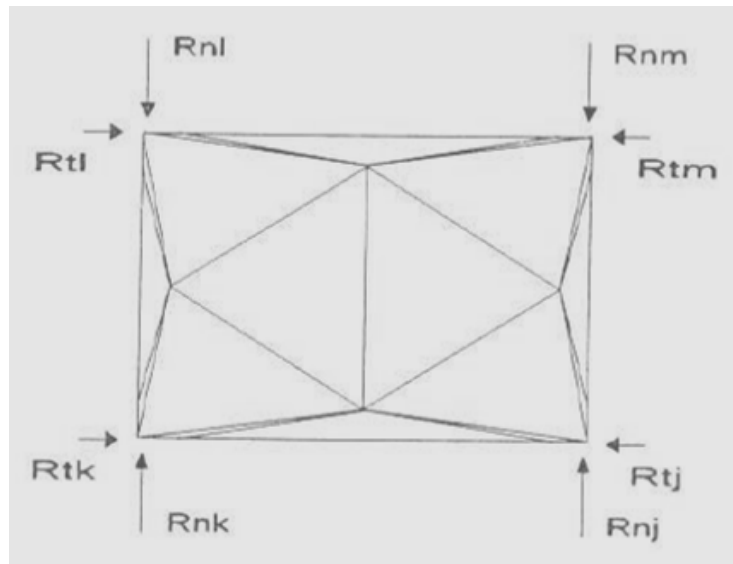


Fig. 8.25 Discretizzazione di un elemento di nodo fra i pannelli verticali e di fascia.

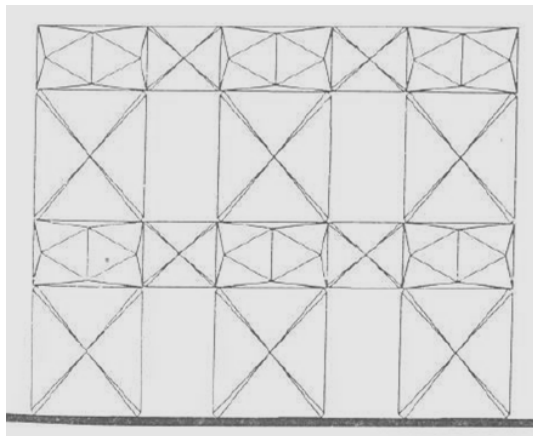


Fig. 8.26 Discretizzazione di una parete.

Tali elementi finiti sono disposti in modo tale da poter modificare a ogni passo la forma della parte reagente dei pannelli, escludendo le zone dove la trazione, nella direzione dell'asse del pannello, ha superato il valore limite prefissato.

Infatti, al termine di ogni passo di carico, vengono determinate le reazioni nodali in corrispondenza delle sezioni di estremità di ciascun pannello, con le quali si calcola l'equivalente stato di sollecitazione in termini di sforzo normale, taglio e momento flettente delle stesse sezioni, nonché la risultante dei carichi agenti sul pannello. Quindi sulla base della posizione di quest'ultima nell'attraversare le sezioni trasversali viene aggiornata la geometria della parte resistente del pannello spostando opportunamente alcuni dei nodi del suo contorno: in particolare, mentre vengono lasciati al loro posto i quattro nodi prossimi alla diagonale compressa, gli altri quattro vengono traslati ciascuno lungo il proprio lato fino al limite della zona ancora assialmente compressa (ovvero sull'asse neutro delle sezioni di estremità) se la resistenza a trazione è supposta nulla (Figura 8.27), oppure al limite di una zona assialmente tesa ma con valori rientranti nella resistenza ipotizzata ammissibile a trazione (figura 8.28). Si ottiene in tal modo la mesh di elementi finiti da utilizzare nel passo successivo, Figura 8.29.

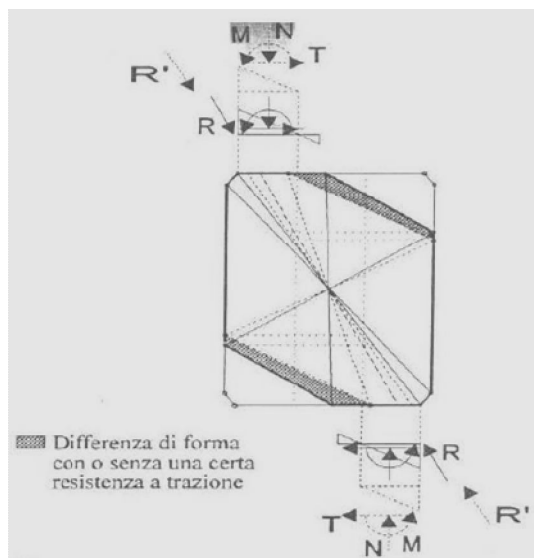


Fig. 8.27 Evoluzione della forma del pannello.

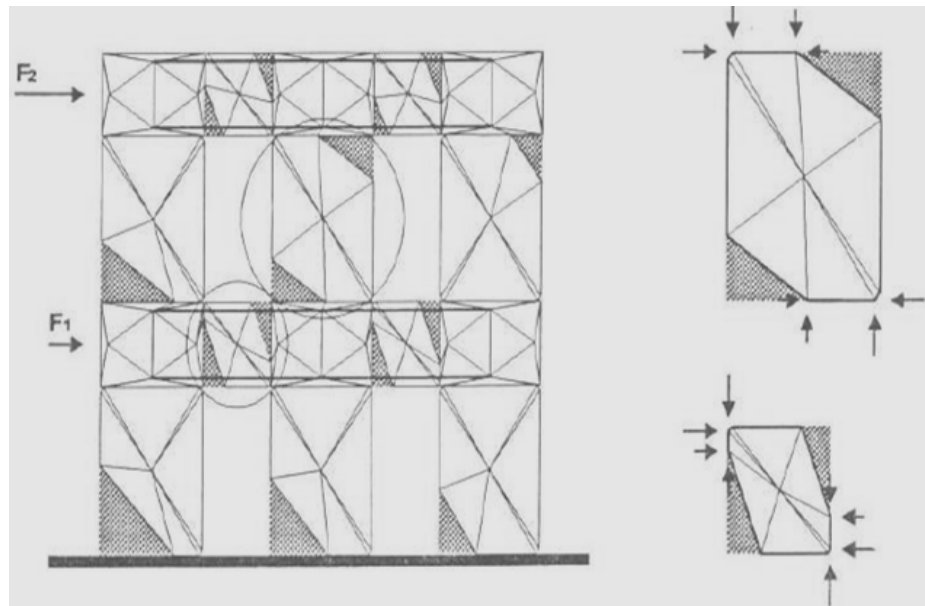
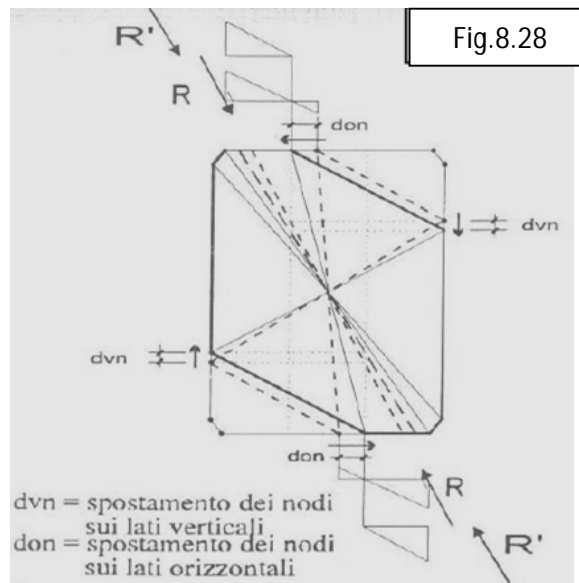


Fig.8.29 Configurazione tipica della parete sotto carico.

Si noti in particolare che l'operazione descritta, pur comportando variazioni dello stato tensionale delle forze nodali, non modifica la risultante all'interfaccia tra pannelli verticali o orizzontali e gli elementi di nodo; pertanto non ne modifica le condizioni di equilibrio.

I calcoli richiesti dalle valutazioni sopra descritte sono resi banali dall'uso di elementi finiti triangolari a deformazione costante che forniscono spostamenti e reazioni dei soli nodi di vertice, mentre, malgrado l'apparente crudezza della modellazione, i risultati in termini di risultante degli sforzi si sono rivelati comparabili con quelli ottenibili con elementi finiti più complessi. Si può notare che la struttura così modellata, all'incrementarsi delle forze orizzontali, vede ridursi la propria rigidità flessionale e di taglio mentre oppone ai carichi una crescente rigidità assiale, all'interno dei singoli pannelli, manifestando meccanismi resistenti prevalentemente a compressione. Questo è in accordo

con il reale comportamento delle strutture murarie, concepite in modo da creare nel loro ambito situazioni di equilibrio con il solo, o prevalente, apporto delle tensioni di compressione.

L'uso invece dello stesso tipo di modellazione sia per i maschi murari che per i pannelli delle fasce di piano, consente di tener conto anche della deformabilità e del comportamento non lineare di queste ultime, con valutazione automatica di tutti i tipi di comportamento della parete, dal quasi shear-type a quello di mensole indipendenti.

In Figura 8.30, è visibile la schematizzazione della parete di due piani e tre maschi murari per piano con la mesh nella configurazione assunta in prossimità del carico ultimo. In Figura 8.31, sono rappresentate la geometria in prossimità del collasso e i diagrammi di carico di una parete, ed è possibile notare la formazione di bielle orizzontali nelle fasce di piano che determinano un comportamento a mensole indipendenti degli allineamenti verticali.

Nelle Figure 8.31 e 8.32, sono riportati due casi di pareti rinforzate attraverso, rispettivamente, l'inserimento di barre orizzontali pretese solo al centro delle fasce di piano o all'intradosso e all'estradosso delle stesse (la quantità totale di acciaio e di pretensione è identica nei due casi).

Nella Figura 8.33, infine, è presentato il caso di fasce assunte infinitamente rigide e resistenti.

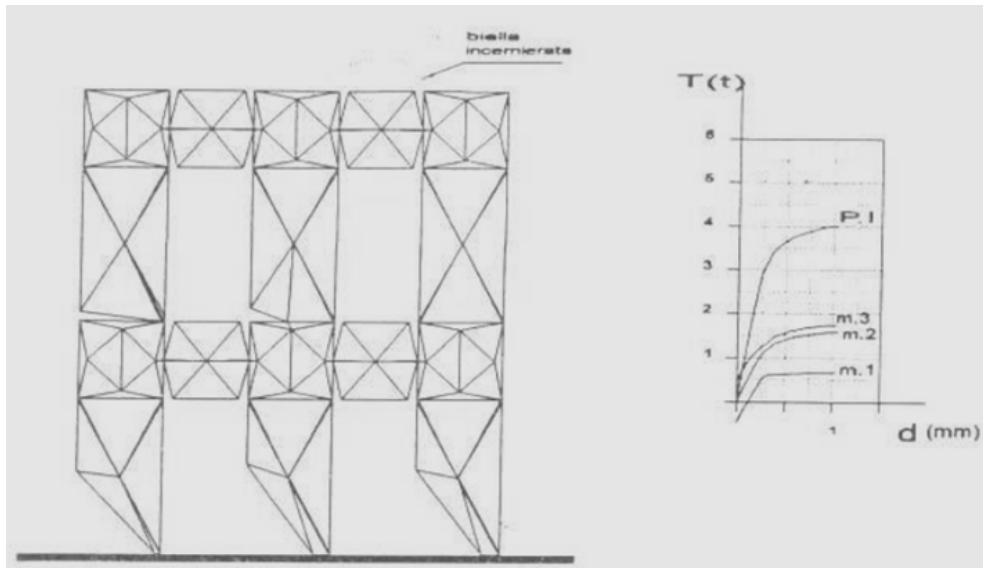


Fig. 8.30 Geometria al collasso e diagrammi di carico di una parete.

Fig.8.31 Geometria al collasso e diagrammi di carico della parete armata con briglie a centro fascia.

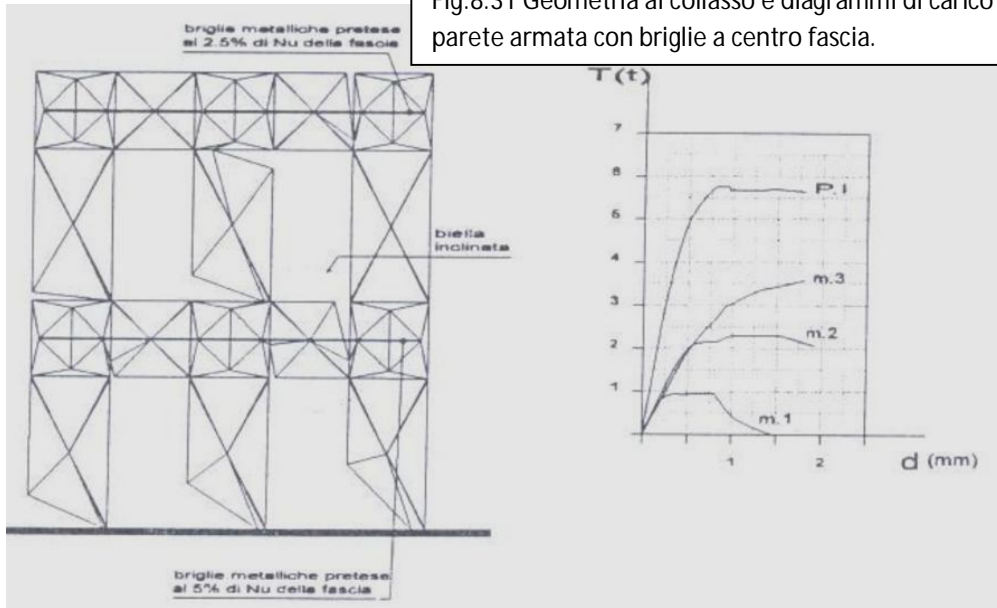


Fig.8.32 Geometria al collasso e diagrammi di carico della parete con armatura di fascia superiore e inferiore.

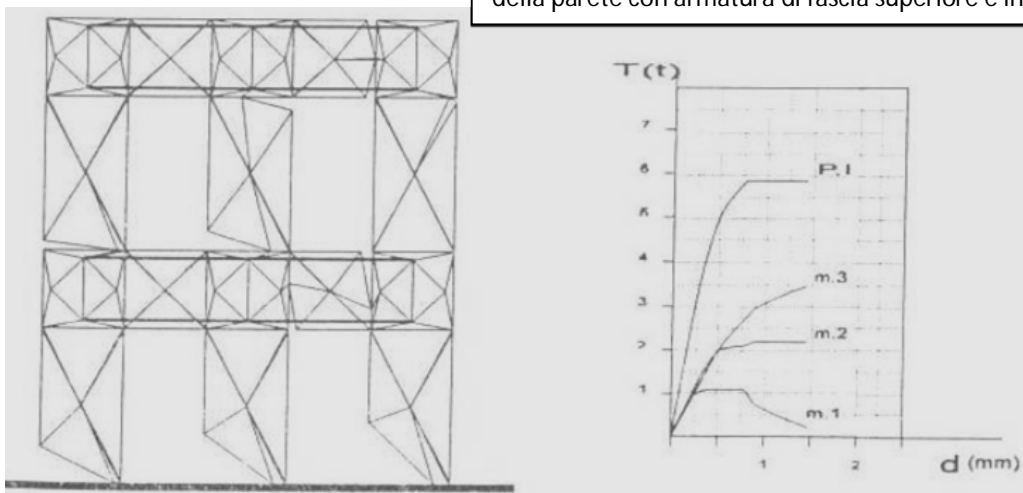
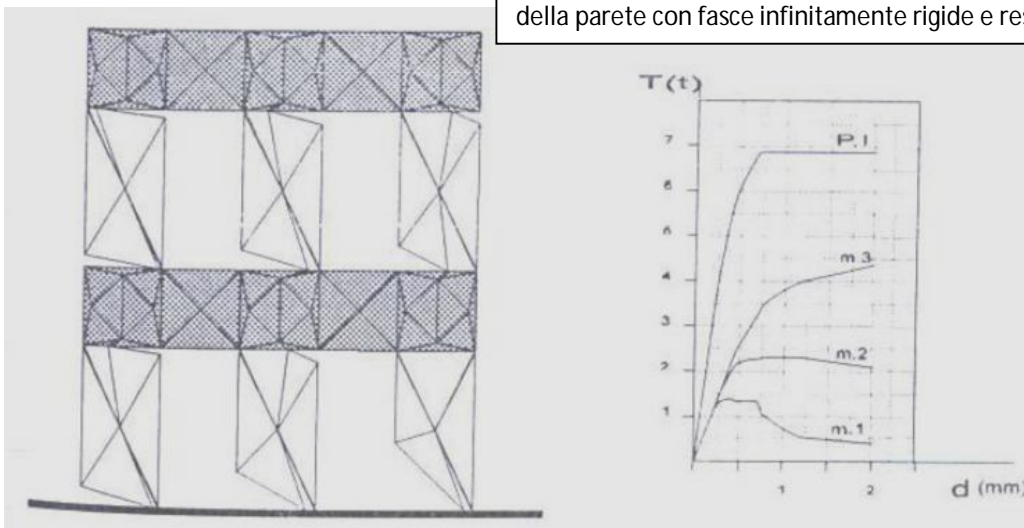


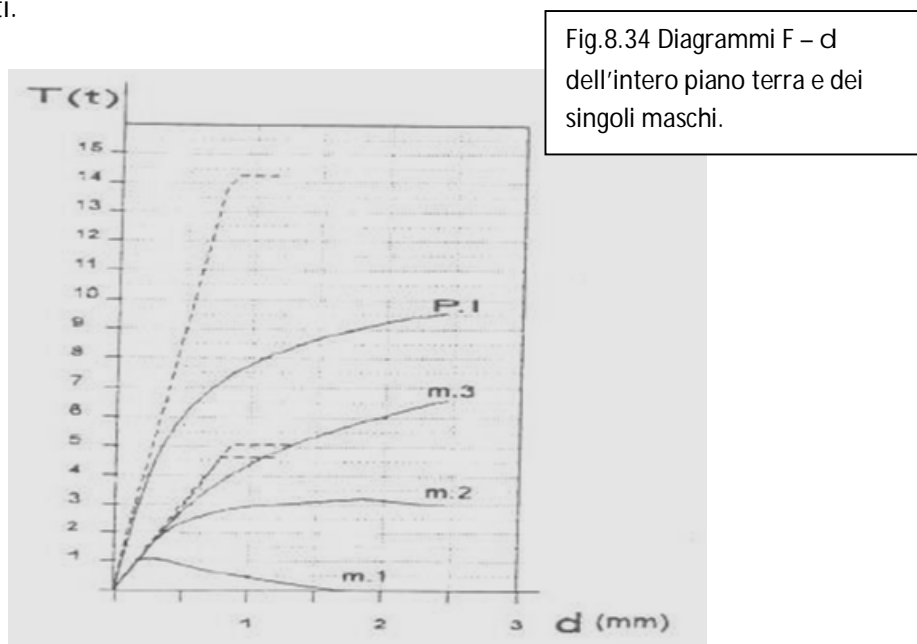
Fig.8.33 Geometria al collasso e diagrammi di carico della parete con fasce infinitamente rigide e resistenti.



Dalle figure precedentemente riportate trova conferma un notevole incremento delle forze orizzontali ultime al crescere della resistenza delle fasce e quindi al passaggio dei maschi dal comportamento a mensole indipendenti a quello più vicino ad un telaio shear - type.

8.8.4.1 Confronto tra risposta fornita dalla modellazione PEFV e quella fornita dal metodo POR

Confrontando i diagrammi T - d ottenuti per il piano terra di una parete tipo analizzata sia con il metodo POR che con il metodo PEFV (Figure 8.30 – 8.33 e Figura 8.34), si nota una sensibile variabilità dei risultati.



In primo luogo è evidente l'ottimismo del metodo POR così come è proposto nell'attuale normativa. Si può notare infatti come tale metodo, verificando ciascun maschio murario nella sua configurazione integra e con il suo carico verticale iniziale, da una parte non tiene conto del comportamento non lineare degli stessi singoli maschi murari dovuto alla loro parzializzazione, dall'altra non tiene conto dell'effetto del momento ribaltante di piano che, tendendo a scaricare i maschi sopravento, riduce notevolmente la partecipazione di questi alla portanza del piano nel suo insieme rispetto ai carichi orizzontali.

Appare evidente dalla configurazione assunta in prossimità del collasso nella Figura 8.30 come in tale caso le fasce di piano non abbiano avuto un comportamento sufficientemente rigido ma abbiano permesso la parziale rotazione dei pannelli di nodo, provocando una forte parzializzazione asimmetrica dei maschi murari.

Col metodo PEFV quindi si rileva come le fasce di piano siano lontane dal comportamento a corpo infinitamente rigido ipotizzato nel metodo POR, ed è questa la principale causa delle differenze riscontrate nei risultati forniti dai due metodi.

8.8.5 Metodo a telaio equivalente (metodo SAM)

Il metodo è stato sviluppato dapprima per pareti multipiano caricate nel proprio piano, e successivamente è stato esteso a problemi tridimensionali. Il metodo utilizza diverse ipotesi formulate in un metodo proposto da Magenes e Calvi nel 1996 (di cui si è mantenuto l'acronimo SAM – Simplified Analysis of Masonry buildings). Tale metodo era stato pensato per l'analisi di pareti piane e proponeva un algoritmo implementabile anche in un foglio elettronico. Tuttavia, i limiti riscontrati nei tentativi di applicazione di tale approccio all'analisi di strutture di una certa dimensione e complessità hanno portato alla ricerca di una implementazione diversa, più efficiente dal punto di vista computazionale. Le idee che stavano alla base del modello sono state quindi riformulate e implementate come subroutine di un programma di calcolo strutturale non lineare (Magenes e Della Fontana, 1998).

Per l'illustrazione del modello si fa riferimento in prima istanza al problema di una parete multipiano in muratura con aperture, caricata nel piano, soggetta a carichi verticali costanti e a forze orizzontali crescenti applicate al livello dei solai, secondo una distribuzione assegnata. Se la geometria della parete e delle aperture è sufficientemente regolare, è possibile idealizzare una parete muraria mediante un telaio equivalente costituito da elementi maschio (ad asse verticale), elementi fascia (ad asse orizzontale), elementi nodo (Fig. 8.35). Gli elementi maschio e gli elementi fascia vengono modellati come elementi di telaio ("beam - column") deformabili assialmente e a taglio. Se si suppone che gli elementi nodo siano infinitamente rigidi e resistenti, è possibile modellarli numericamente introducendo opportuni bracci rigidi (offsets) alle estremità degli elementi maschio e fascia.

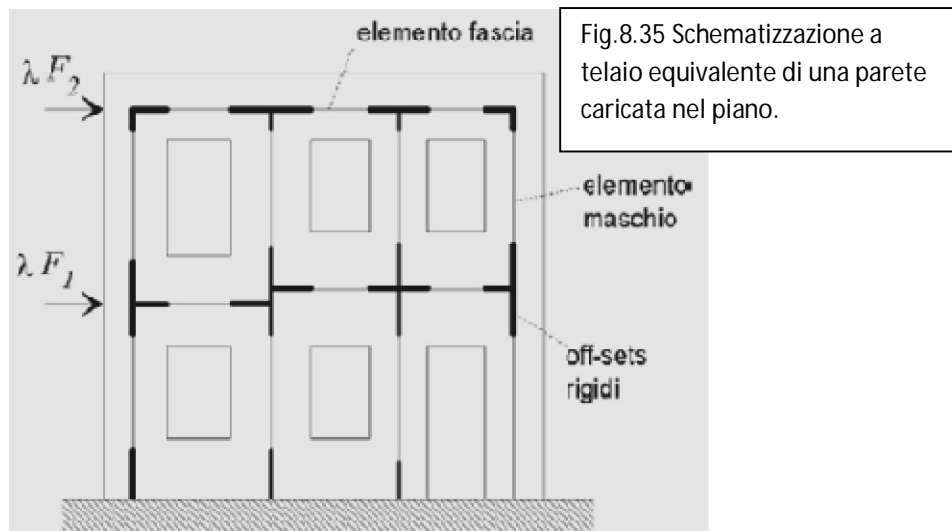


Fig.8.35 Schematizzazione a telaio equivalente di una parete caricata nel piano.

8.8.5.1 Metodo a telaio equivalente: Elemento maschio murario

Si suppone che un elemento maschio sia costituito da una parte deformabile con resistenza finita, e di due parti infinitamente rigide e resistenti alle estremità dell'elemento (Fig. 8.36).

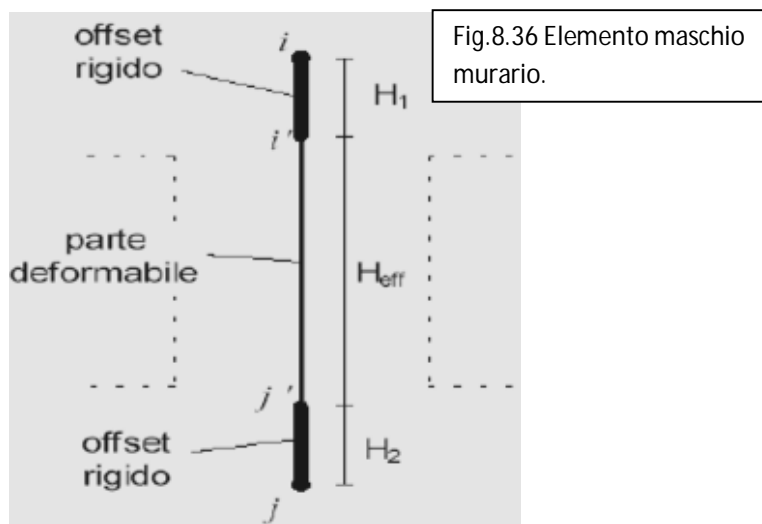


Fig.8.36 Elemento maschio murario.

L'altezza della parte deformabile o «altezza efficace» del maschio viene definita secondo quanto proposto da Dolce (1989), per tenere conto in modo approssimato della deformabilità della muratura nelle zone di nodo. L'altezza efficace è esprimibile, con riferimento alla Figura 8.37, dalla seguente formula:

$$H_{eff} = h' + \frac{1}{3}D \frac{\bar{H} - h'}{h'}$$

dove H è l'altezza di interpiano e D la larghezza del maschio murario.

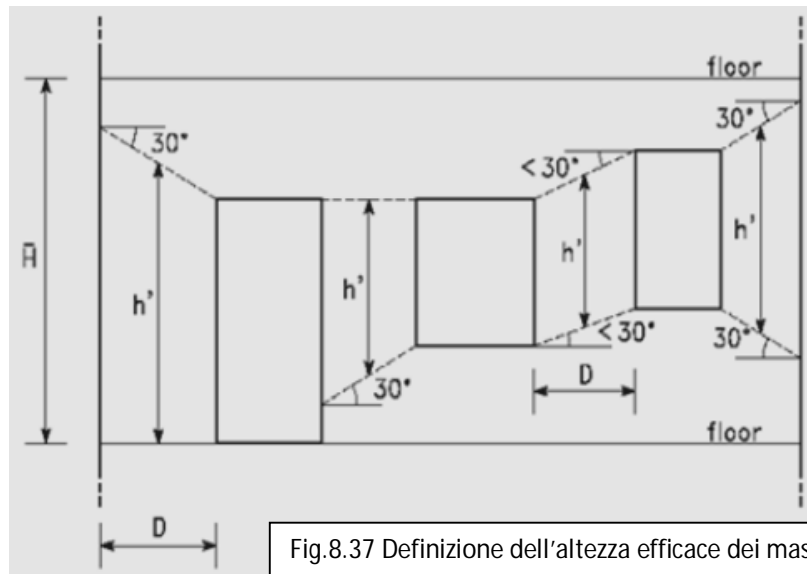


Fig.8.37 Definizione dell'altezza efficace dei maschi murari (Dolce, 1989).

Fuori dal piano, ove l'elemento in genere presenta una deformabilità maggiore, si è ritenuto opportuno porre: $H_{eff} = H$.

Nel caso più generale, h' , può essere definito dalla seguente relazione:

$$h' = \bar{H} - \max\{h_{t,inf}^{dx}; h_{t,inf}^{sx}\} - \max\{h_{t,sup}^{dx}; h_{t,sup}^{sx}\} + \frac{1}{2}(\min\{|h_{t,inf}^{dx} - h_{t,inf}^{sx}|; l \tan 30^\circ\} + \min\{|h_{t,sup}^{dx} - h_{t,sup}^{sx}|; l \tan 30^\circ\})$$

Dove

- $h_{t,inf}^{dx}$ altezza della trave muraria inferiore destra;
- $h_{t,inf}^{sx}$ altezza della trave muraria inferiore sinistra;
- $h_{t,sup}^{dx}$ altezza della trave muraria superiore destra;
- $h_{t,sup}^{sx}$ altezza della trave muraria superiore sinistra.

Le altezze H_i e H_j dei due estremi rigidi del pannello possono essere determinate come quote parti della differenza tra l'altezza netta d'interpiano \bar{H} e l'altezza efficace H_{eff} ; ipotizzando che la deformabilità della muratura nelle zone di nodo sia inversamente proporzionale all'altezza delle travi di collegamento, si possono dunque scrivere le seguenti relazioni:

$$\begin{cases} H_i = \frac{h_{s,inf}}{2} + (\bar{H} - H_{eff}) \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \alpha_j} \geq \frac{h_{s,inf}}{2} \\ H_j = \frac{h_{s,sup}}{2} + (\bar{H} - H_{eff}) \frac{\alpha_j}{\alpha_i + \alpha_j} \geq \frac{h_{s,sup}}{2} \end{cases}$$

Dove

- $h_{s,inf}$ altezza del solaio inferiore;
- $h_{s,sup}$ altezza del solaio superiore;
- I parametri geometrici a_i a_j sono definiti in funzione della altezza delle travi murarie ed espressi dalle formule:

$$\begin{cases} \alpha_i = \max\{h_{t,inf}^{dx}; h_{t,inf}^{sx}\} - \frac{1}{2} (\min\{|h_{t,inf}^{dx} - h_{t,inf}^{sx}|; l \tan 30^\circ\}) \\ \alpha_j = \max\{h_{t,sup}^{dx}; h_{t,sup}^{sx}\} - \frac{1}{2} (\min\{|h_{t,sup}^{dx} - h_{t,sup}^{sx}|; l \tan 30^\circ\}) \end{cases}$$

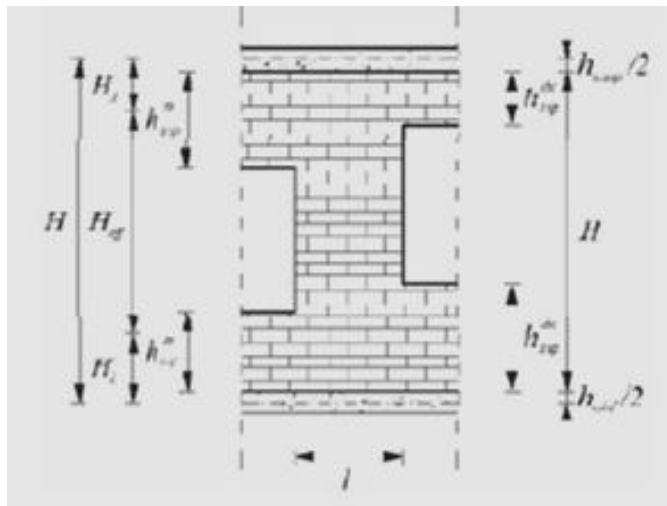


Fig.8.38 Definizione dell'altezza efficace dei maschi murari.

Il comportamento dell'elemento maschio viene supposto elasto - plastico con limite in deformazione. Si suppone cioè che il maschio abbia comportamento lineare elastico finché non viene verificato uno dei possibili criteri di rottura. La matrice di rigidezza in fase elastica assume la forma consueta per elementi di telaio con deformazione taglio, e risulta determinata una volta definiti il modulo di Young, il modulo, e la geometria della sezione.

I meccanismi di rottura previsti sono i seguenti:

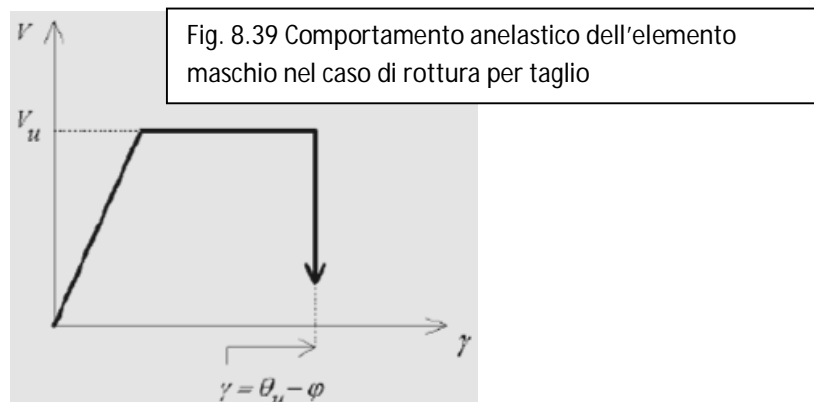
Rottura per pressoflessione o ribaltamento. Avviene quando il momento flettente M in una delle sezioni estreme della parte deformabile del maschio $i' - j'$ raggiunge il valore ultimo, corrispondente allo schiacciamento della zona compressa della sezione in cui si è posto. Nella sezione in cui viene raggiunto il momento ultimo viene introdotta una cerniera plastica (con ipotesi di comportamento perfettamente plastico).

Rottura per taglio con fessurazione diagonale. Avviene quando il taglio V nel maschio raggiunge il valore V_u ultimo. Nella seguente implementazione del metodo si utilizzano i criteri di rottura proposti da Magenes e Calvi (1997) per la muratura di mattoni. Il taglio ultimo è inteso quindi come il minore fra due valori associati rispettivamente alla fessurazione diagonale per cedimento dei giunti di malta, e alla fessurazione diagonale per rottura dei conci. Si è posto $V_u = 0,9 V_{max}$. Nel caso di muratura di altra natura può essere valutato con altri criteri di resistenza opportuni (ad esempio il criterio di Turnšek e Sheppard, 1980). Nel caso di rottura per taglio, si suppone che nell'elemento abbiano luogo deformazioni taglianti plastiche come illustrato in Figura 8.38, in cui viene posto un limite alla deformazione angolare $\theta = \rho + \gamma$ (chord rotation), oltre il quale la resistenza si annulla. La deformazione angolare θ è espressa come somma della deformazione flessionale ρ e di quella a taglio γ (Figura 8.40).

In questi metodi il modello bilineare adottato tende a riprodurre in modo approssimato l'involuppo che si ottiene da prove sperimentali cicliche (Figura 8.41), e lo spostamento ultimo viene associato al raggiungimento di un opportuno degrado della resistenza. Tale limite è comunemente espresso in termini di duttilità ultima.

L'introduzione di un limite di deformazione angolare θ_u in sostituzione di un limite in duttilità trae le sue origini dal lavoro già citato di Magenes e Calvi in cui si è notato che pannelli murari con diversi rapporti di forma portati a rottura per taglio tendono a presentare una dispersione molto contenuta della deformazione angolare ultima, e una dispersione molto maggiore della duttilità ultima in spostamento. Per tali muri, provati mantenendo il parallelismo fra la base superiore e inferiore, la deformazione angolare sopra riportata coincide con il "drift" ovvero con il rapporto fra lo spostamento orizzontale e l'altezza del muro H (si confrontino la Fig. 8.40 e la Fig. 8.42). Si assume inoltre che il limite θ_u sia pari allo 0.5 %.

Rottura per taglio-scorrimento. Si assume che la rottura del maschio per scorrimento avvenga lungo un letto di malta in corrispondenza di una delle sezioni estreme o della parte deformabile.



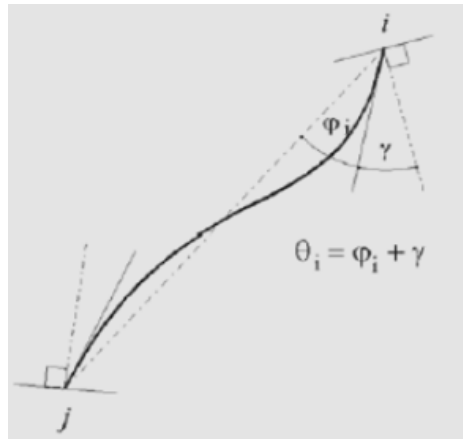


Fig.8.40 Deformazioni angolari pertinenti all'estremo "i" di un elemento "beam - column".

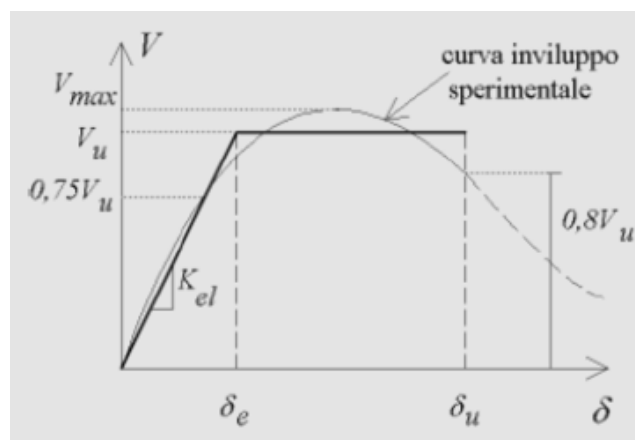


Fig. 8.41 Interpolazione dell'involuppo sperimentale taglio - spostamento di un pannello murario mediante una bilatera.

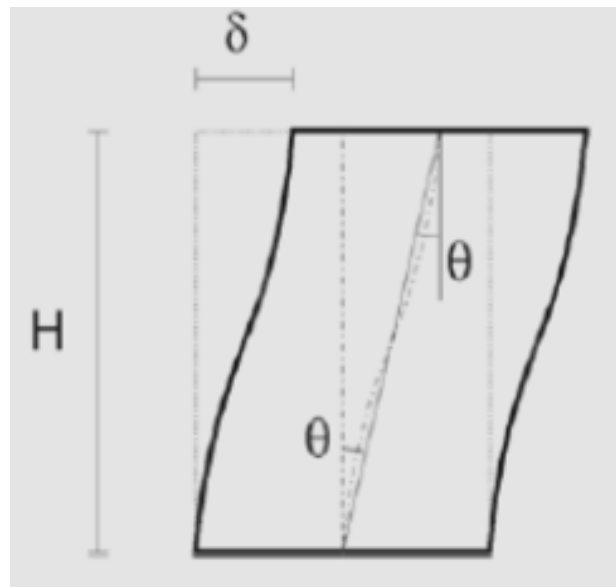


Fig.8.42 Prova a taglio su un pannello murario in cui si mantiene il parallelismo delle basi si ha che: $c_j = c_j =$
 $c = d / H.$

La deformazione anelastica associata alla rottura per scorrimento viene modellata in maniera analoga alla rottura per fessurazione diagonale, con una deformazione a taglio plastica che si sviluppa come riportato in Fig. 8.39.

I criteri di rottura sono formulati in modo tale per cui all'annullarsi della compressione verticale si annulla sia la resistenza a flessione che la resistenza allo scorrimento. In aggiunta a ciò, si suppone anche che la rigidità assiale del maschio si annulli in caso di deformazione di trazione, per cui l'azione assiale può assumere solo valori positivi (se di compressione) o nulli. Il maschio con azione assiale nulla risulterà quindi completamente scarico da ogni tipo di sollecitazione.

8.8.5.2 Metodo a telaio equivalente: Elemento fascia muraria

L'elemento fascia è formulato in maniera analoga all'elemento maschio, ma con alcune differenze. Vengono mantenuti gli offset rigidi, individuando quindi una lunghezza efficace dell'elemento. Nel caso di aperture allineate verticalmente (Fig. 8.43) le analisi comparative finora svolte indicano che si ottengono buoni risultati assegnando una lunghezza efficace pari alla luce libera delle aperture. Sono state svolte anche analisi con aperture non allineate verticalmente, per le quali si può pensare, in fase preliminare, di assumere una lunghezza efficace come indicato in Fig. 8.43 b. Per l'elemento fascia si distinguono due possibili meccanismi di rottura: per pressoflessione e per taglio.

Rottura per pressoflessione. Il momento limite è espresso come nell'elemento maschio. Nella sezione in cui viene raggiunto il momento ultimo viene introdotta una cerniera plastica (con ipotesi di comportamento perfettamente plastico).

Rottura per taglio. La resistenza a taglio della fascia viene espressa con criteri simili a quelli utilizzati per l'elemento maschio, tenendo conto però della diversa giacitura dei letti di malta rispetto alla linea d'asse dell'elemento e considerando che la compressione normale ai letti di malta al di sotto delle aperture è praticamente nulla. Nell'implementazione corrente la resistenza a taglio è definita da $V_u = D \cdot t \cdot c$ ovvero dal prodotto della coesione per l'area della sezione della fascia, in cui si è indicata con l'altezza della fascia e lo spessore. Al fine di tener conto della possibilità di un comportamento maggiormente fragile delle fasce, la deformazione anelastica associata alla rottura per taglio prevede una deformazione plastica a taglio costante a cui segue un degrado di resistenza a un valore αV_u , una volta superato un valore limite di deformazione γ_1 angolare (Fig.8.44). A tale degrado segue poi l'annullamento del taglio resistente per deformazioni angolari superiori al limite γ_2 . La possibilità di assegnare in ingresso i valori dei parametri α , γ_1 , γ_2 , consente di riprodurre comportamenti marcatamente fragili, ottenibili ad esempio facendo coincidere γ_1 con il limite elastico (Fig. 8.45), oppure più duttili e simili quindi al comportamento dei maschi, ponendo $\alpha = 1$.

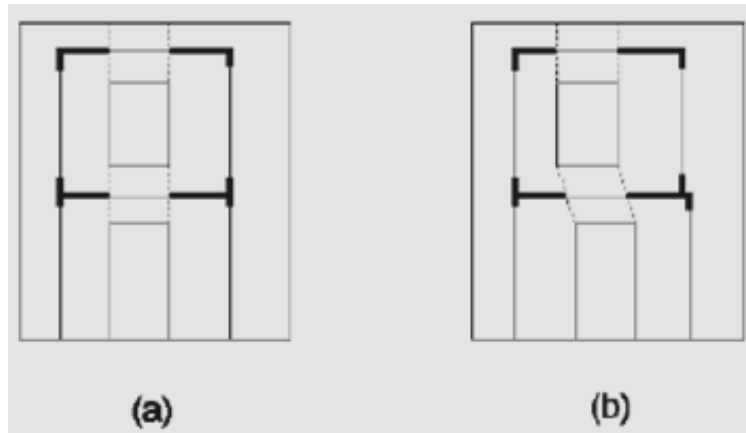
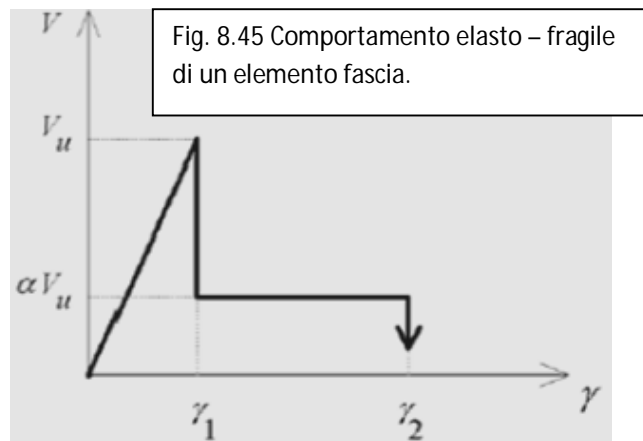
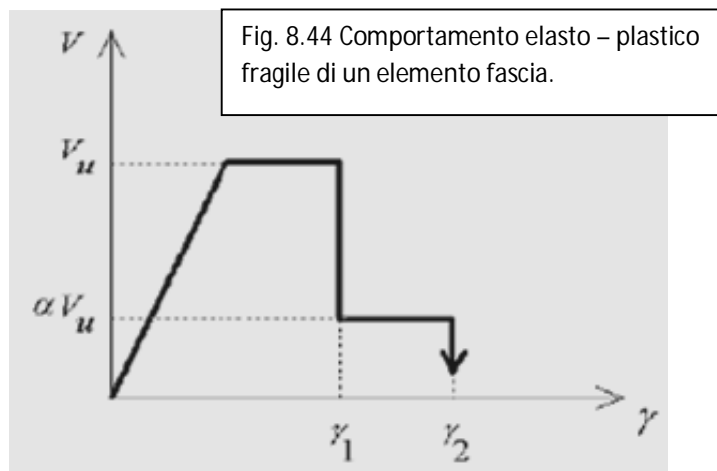


Fig. 8.43 Definizione della lunghezza efficace delle fasce.



8.8.6 Metodo RES

Il metodo RES (Rapporto Equivalente di Snellezza) nasce con l'obiettivo di considerare l'influenza della snellezza geometrica e della effettiva rigidità delle fasce di piano sulla valutazione della resistenza ultima di pareti murarie multipiano. Le ipotesi assunte alla base sono:

- o vengono considerati tutti i possibili meccanismi di collasso (taglio a scorrimento, diagonale, pressoflessione);

- o nella verifica del maschio viene assunta una snellezza che non dipende solo dal rapporto h/b del singolo maschio, ma deriva dalla snellezza dell'intera facciata e dal grado di efficienza della connessione tra i diversi pannelli murari a livello di piano.

Mentre per edifici bassi con efficienti fasce di piano il metodo POR e i metodi da esso derivati forniscono indicazioni sufficientemente attendibili sulla resistenza tagliante ultima, nel caso di pareti forate multipiano con elevati rapporti geometrici tra altezza e larghezza tali metodi risultano completamente inaffidabili e a svantaggio di sicurezza. Il metodo RES si pone pertanto l'obiettivo di fornire correttivi ed estendere il campo di validità del metodo POR, restando cioè nell'ambito di una modellazione semplificata e adattabile nelle applicazioni professionali.

In particolare il metodo introduce un coefficiente k_t funzione di r , $\bar{\sigma}$ e di l , che modifica la resistenza a taglio adimensionale per fessurazione diagonale (come assunta nel POR) attraverso la seguente relazione:

$$\bar{\tau}_u = k_t(\bar{\sigma}, \lambda, \rho) \bar{\tau}_{u,POR}$$

dove:

- $\bar{\tau}_u$ è la resistenza tagliante ultima normalizzata rispetto al parametro $\tau_k b t$, con b e t dimensioni della sezione retta del pannello murario;
- $\bar{\tau}_{u,POR}$ è la resistenza tagliante ultima per fessurazione diagonale normalizzata;
- $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_0}{f_{wc}}$ è la tensione normale adimensionale, con f_{wc} resistenza a compressione;
- $\rho = \frac{f_{wc}}{\tau_k}$ è il rapporto tra resistenza a compressione e resistenza a taglio;
- l è il rapporto di snellezza del pannello.

Limitando l'analisi al caso, di maggior interesse, di fasce di piano con cordolo di piano e con piattabanda sul vano, si considera l'influenza dell'altezza della fascia di piano attraverso un coefficiente $\psi = h_v / h_i$, rapporto tra altezza del vano e l'interpiano. In base all'altezza della fascia di piano si ha un maggiore o minore effetto di accoppiamento tra le pareti e di conseguenza una maggiore o minore efficienza strutturale.

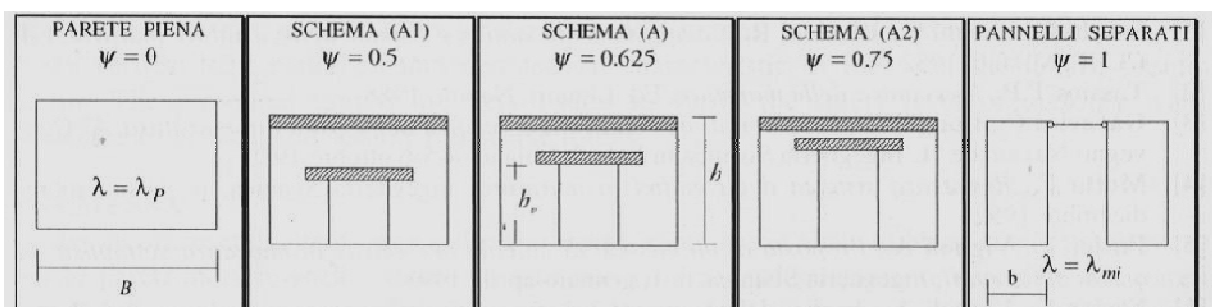


Fig 8.46 Schemi per l'esame dell'influenza dell'altezza della fascia di piano.

Viene quindi derivata la seguente espressione per il rapporto di snellezza ottimale $l'_{m,i}$ in funzione delle dimensioni della fascia di piano, rappresentate dal coefficiente y :

$$l'_{m,i} = l_p + (l_{m,i} - l_p) y^n$$

dove:

- $l_p = h_0 / B$ è il rapporto di snellezza della parete piena con B la larghezza della parete intera e $h_0 = 2M / T$ il doppio del rapporto tra il momento complessivo alla base e il relativo tagliante;
- $l_{m,i} = h_0 / b_i$ è il rapporto di snellezza del singolo maschio con b_i larghezza del maschio;
- n può essere assunto pari a 7.

Sono state poi esaminate alcune pareti caratterizzate da due file di aperture, numero di piani variabile da 1 a 5, maschi di uguale o diversa larghezza, spessore dei maschi costanti o variabili lungo l'altezza. Per i vari casi in Figura 8.46 vengono riportati i taglianti $T_{u(1,2)}$, $T_{u(1,5)}$ e T_u ottenuti da un'analisi agli Elementi Finiti con il codice ADINA (1,2 e 1,5 si riferiscono ai valori di duttilità assunti), il tagliante ricavato con il metodo POR e il tagliante dedotto con il metodo RES. Il metodo POR conferma la sua sostanziale validità per i casi di 1,2,3 piani, mentre la non conservatività presente già nelle pareti a 3 piani, diventa inaccettabile in quelle a 4 e 5 piani.

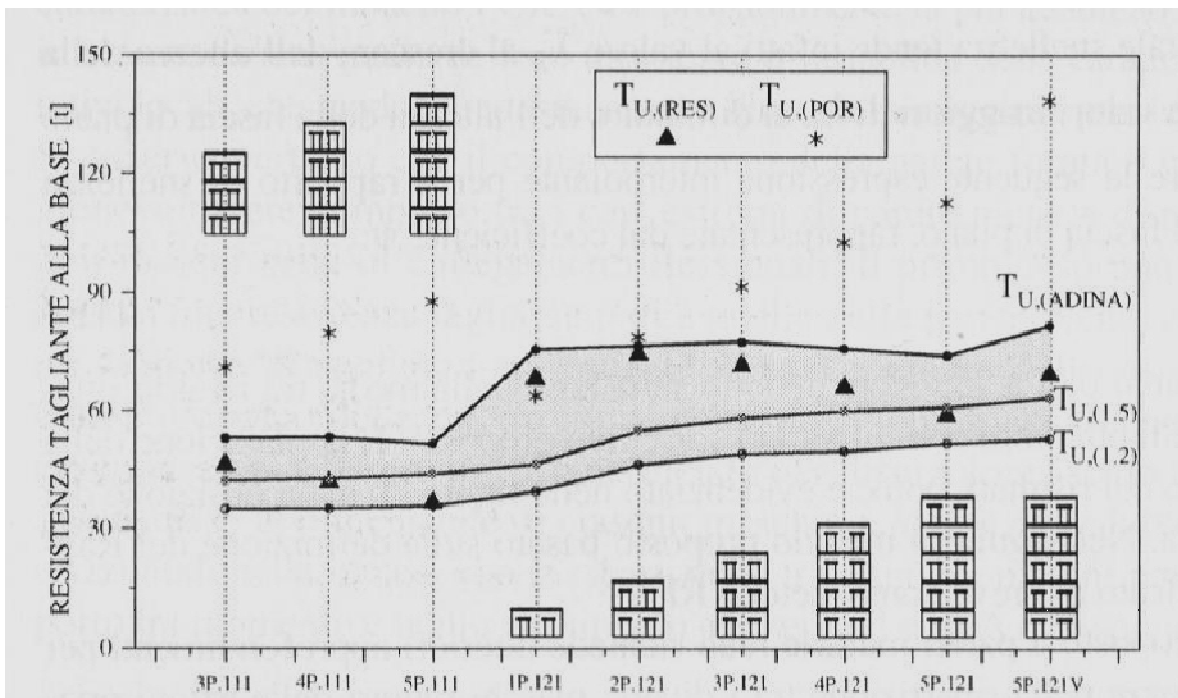


Fig. 8.47 Analisi e confronti su pareti multipiano.

8.8.7 Modelli a plasticità concentrata o diffusa

Per analizzare il comportamento non lineare di una struttura è possibile seguire due differenti modellazioni: a plasticità concentrata o diffusa. La differenza fondamentale tra i due modelli è costituita dal diverso approccio allo studio della formazione delle inelasticità conseguenti in particolare ad azioni sismiche di elevata intensità.

I modelli a plasticità concentrata (*lumped plasticity models*) provvedono a concentrare tutte le risorse inelastiche in opportune zone di dissipazione dell'energia a comportamento genericamente non-lineare.

I modelli a plasticità diffusa (*distributed plasticity models*), di impiego più recente e avanzato anche se con maggiori oneri computazionali, si basano sull'integrazione della risposta non lineare di un certo numero di fibre o conci che suddividono l'elemento.

Generalmente nei modelli a telaio equivalente le non linearità di maschi e fasce sono portate in conto con un approccio a plasticità concentrata, inserendo opportune cerniere plastiche flessionali ai due estremi dell'asta, definite in termini di legame momento - rotazione, e molle traslazionali a taglio nella mezzeria, o anche alle estremità, definite in termini di leggi taglio - spostamento.

Tuttavia, poiché in realtà si ha uno snervamento progressivo lungo la lunghezza dell'elemento e nella sezione trasversale, con la formazione di zone plastiche distribuite, sarebbe più rigorosa e accurata una modellazione a plasticità diffusa.

Nell'ambito di quest'ultima si distingue un approccio "a conci", in cui ogni elemento è suddiviso in un certo numero di conci con sezione trasversale omogenea e si va a determinare lo stato di sforzo e deformazione al centro di ognuno di essi (la risposta del pannello è quindi data dalla somma dei contributi di ogni concio), e un approccio a "fibre", in cui per ogni fibra che divide longitudinalmente l'elemento viene definito il legame costitutivo del materiale.

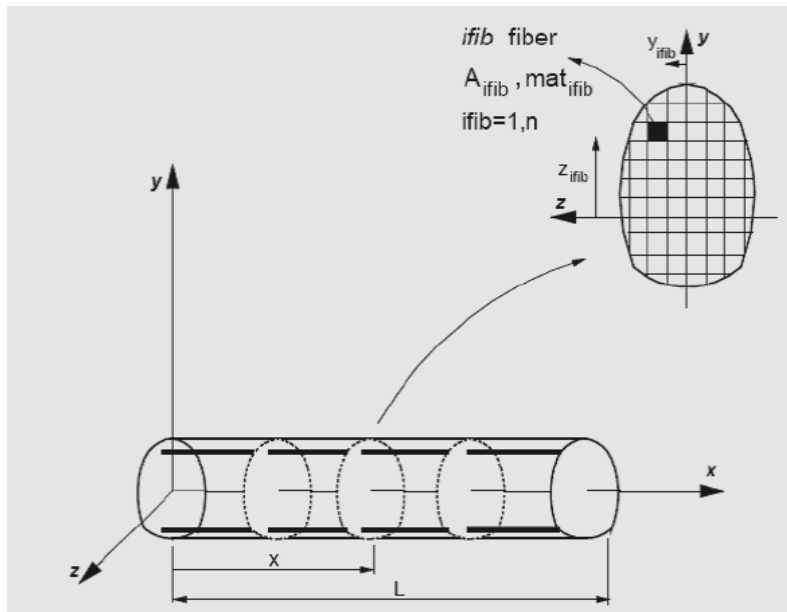


Fig.8.48 Modellazione a plasticità diffusa con approccio a fibre.

I modelli a plasticità concentrata sono in genere, dal punto di vista computazionale, di più agevole applicazione e se opportunamente calibrati forniscono comunque ottime previsioni della risposta strutturale dell'elemento. Nell'ambito in particolare dei modelli a telaio equivalente sono poi possibili diverse schematizzazioni della generica asta con tratti rigidi ed elementi non lineari opportunamente localizzati.

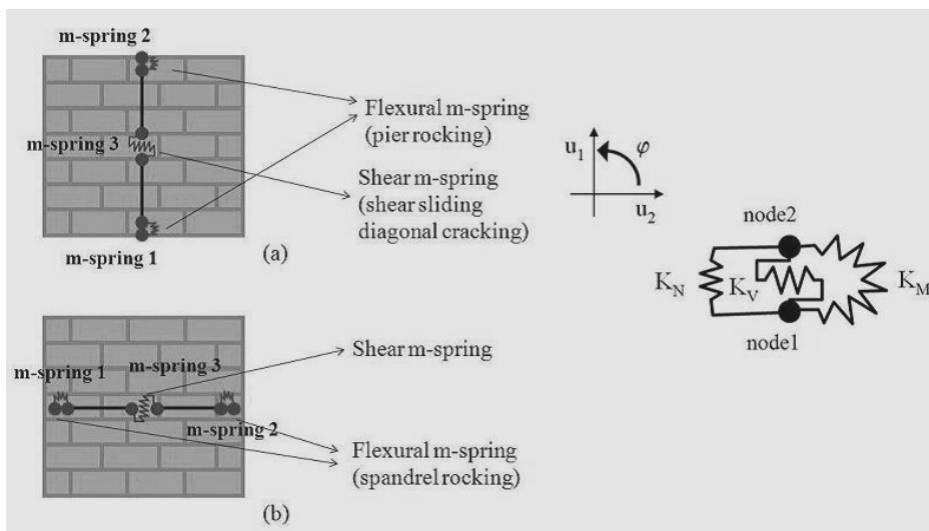


Fig. 8.49 Modellazione di maschi e fasce con elementi molla non lineare concentrati.

9. CASO DI STUDIO

Il progetto in esame, del quale verranno di seguito illustrate le fasi di analisi e di calcolo, è relativo a un edificio storico in muratura portante sito in Cavasso Nuovo, nell'area pedemontana del Friuli occidentale, in destra del torrente Meduna.

Dal punto di vista della morfologia il territorio comprende essenzialmente due diversi aspetti. Il settore superiore è caratterizzato dalle boschive alture collinari che si sviluppano per oltre 2 km da Sud-Ovest a Nord-Est con altezze massime di poco superiori ai 500 m sul mare; il settore inferiore si estende sull'alta pianura, circa fra le quote di 275 e 233 m sul mare, e include anche un tratto della ghiaiosa gola del Meduna.

Sotto l'aspetto geologico le colline di Cavasso Nuovo e Fanna rappresentano l'ultimo corrugamento verso la pianura del complesso sistema tettonico delle Prealpi Carniche. Le masse rocciose prealpine sono tutte di origine sedimentaria, cioè provengono dai depositi, in gran parte di natura organica, raccolti a strati sul fondo di un antico mare, compattati e consolidati. In tempi successivi essi sono emersi dall'acqua, spinti verso l'alto da imponenti forze interne. Il sollevamento ha dato origine a un'alternanza di catene montuose e di strette vallate assai articolate, ma dirette prevalentemente da Ovest a Est. Le montagne sono segnate da numerose fratture (faglie); di norma hanno versanti meridionali assai ripidi, spesso bordati da vaste falde di detrito, mentre i versanti rivolti a nord sono meno acclivi.



Fig. 9.1 Localizzazione geografica.

In Friuli i movimenti orogenetici sono iniziati nell'Oligocene-Miocene, 35 milioni di anni fa, e non si sono ancora conclusi, come lo dimostra la notevole sismicità della regione. Il terremoto del maggio

del 1976 provocò ingenti danni in tutte le borgate di Cavasso Nuovo; lesionò gravemente anche il massiccio “Palazat”, Palazzo Polcenigo, l’edificio oggetto di studio, seicentesco palazzo dei Signori di Polcenigo – Fanna.



Fig. 9.2 Palazzo Polcenigo, “Palazat”.

Tuttavia, se quello del 1976 fu per il Friuli il più tragico evento sismico di tutti i tempi, si trova memoria di altri gravi sismi avvenuti in epoche precedenti. Particolarmente distruttivi, come si desume anche dai registri parrocchiali di Cavasso, furono gli eventi del marzo 1511 e del novembre del 1575; questo ferì mortalmente il castello di Mizza: *“fuit terremotus magnus... munitas turres aperuit et squassavi”*, riferisce una cronaca dell’epoca riportata da mons. Ernesto Degani nella sua opera storica *“La Diocesi di Concordia”* (1924). In altri appunti si legge che il sisma del 1511 fu accompagnato da un terribile *“reboar dell’aria o come un orrendo fragore di armi scendente dall’alto”*. Per la Val Tramontina furono devastanti anche i terremoti del luglio 1776, al quale – come si apprende dalle stesse cronache – *“seguirono fitte tenebre”*, e del giugno del 1794 che scosse l’intera valle provocando lutti e rovine. L’elevata sismicità di questa zona deriva dal fatto che essa è attraversata da tre grandi faglie, nonché da una serie di dislocazioni minori: i repentini spostamenti dei bordi delle fratture sono avvertiti come scosse sismiche. La faglia principale è quella più meridionale che passa anche per la stretta di Ponte Racli, solo qualche chilometro a monte di Cavasso, e si manifesta in superficie con una diffusa franosità, particolarmente evidente sulla sponda destra del torrente.

In merito ai tipi di rocce si può in buona approssimazione affermare che nell'area più interna del territorio prealpino predominano le formazioni dell'era mesozoica, con età decrescenti da 220 a 70 milioni di anni, costituite da dolomie e calcari variamente stratificati, appartenenti a tutti e tre i periodi dell'era: il Triassico, il Giurassico e il Cretacico. Nel settore inferiore affiorano rocce dell'era cenozoica, in particolare dell'Eocene (con età media di 50 milioni d'anni) che rispetto alle precedenti presentano una coerenza minore. Infine, nella fascia pedemontana, come sulle alture di Cavasso e Fanna, prevalgono le rocce terrigene dell'Oligocene e del Miocene (da 40 a 15 milioni di anni di età) rappresentate da molasse, arenarie, argille, marne e conglomerati calcareo-dolomitici, che offrono scarsa resistenza all'azione demolitrice degli agenti atmosferici. Durante la loro genesi alcune formazioni rocciose hanno incorporato anche piccoli esseri marini che con il passare dei millenni si sono trasformati essi stessi in pietra diventando fossili.

9.1 Generalità e descrizione dell'opera

Interventi puntuali, ma molto significativi come emergenze all'interno del processo evolutivo dell'insediamento principale del comune di Cavasso Nuovo tra la fine del '600 e l'arco del '700, hanno riguardato i palazzi dei conti di Polcenigo attribuiti, da quanto desunto da precedenti studi, a due rami della casata nobiliare.

Il primo tramite ampliamenti, senza contraddire le caratteristiche di impianto preesistenti, del complesso edilizio di abitanza oggi conosciuto come palazzo Ardit, le cui origini attribuite al secolo XV, periodo non esente da problemi di sicurezza, possono trovare sostegno nel carattere di ambito in qualche misura fortificato che lascia trasparire la sua configurazione, pur con le trasformazioni subite in epoche diverse.

Il secondo tramite completo rimaneggiamento e ampliamento verso la fine del '600 del preesistente palazzo, che la ricercatrice Costanza Munari fa risalire al 1586, il quale finì per assumere più tardi il minaccioso nome di Palazat, evidenziando forse, come da ipotesi avanzata dallo studioso M.G.B. Altan, una certa avversione della comunità locale per quell'edificio così severo visto come segno di consolidamento della giurisdizione feudale.

Innanzitutto esso risulta aver accorpato nella parte sud il volume principale del palazzo cinquecentesco, la cui immagine compare nel catastico del 1606: è percepibile dalle irregolarità geometriche che distinguono l'assetto planimetrico di quella parte rispetto al resto del complesso edilizio; è riconoscibile soprattutto dalle decorazioni di matrice cinquecentesca che permangono

nelle pareti al di sopra della controsoffittatura a volte dell'interno ricadente in tale ambito, realizzata nel secolo XVIII.



Fig. 9.3 L'abitato di Cavasso agli inizi del '600, Venezia Archivio di Stato.

Ma la cosa più interessante che emerge dal confronto con l'iconografia degli inizi del '600 è rappresentata dal corpo cilindrico, molto probabilmente costituito da un pozzo o da una cisterna, allora collocato nell'angolo sud del palazzo, il quale appare essere stato assunto tra gli elementi

generatori della soluzione progettuale che è seguita e che corrisponde alla attuale configurazione del palazzo.



Fig. 9.4 L'abitato di Cavasso agli inizi del '600 particolare torre sud del "Palazat", Venezia Archivio di Stato.

Non solo, ma si può sostenere anche che la torre sud sia derivata dalla sopraelevazione dello stesso corpo cilindrico preesistente: basti verificare l'irregolarità tutt'ora percepibile della sua forma esterna rispetto alla torre nord, ma anche considerare gli effetti del terremoto del 1976, che hanno fatto crollare proprio la torre sud e in particolare nella parte oggetto di probabile sopraelevazione.



Fig. 9.5 Il "Palazat" dopo il settembre 1976, particolare torre sud.

Dal punto di vista architettonico invece, solo a prima vista l'opera potrebbe considerarsi espressione netta e genuina dell'architettura civile medioevale alla stregua dei numerosi castelli, testimoni di lotte secolari e di episodi sanguinosi, che vennero popolando l'Italia e il resto dell'Europa durante le invasioni barbariche; un'osservazione un po' più approfondita ci rivela subito nell'opera la presenza dello spirito rinascimentale cinquecentesco, dello spirito quindi successivo a quello medioevale, che trovò la sua espressione artistica e stilistica più completa ed esplicita nel palazzo fiorentino.



Fig. 9.6 Veduta d'insieme Palazzo Polcenigo - Cavasso Nuovo.

L'opera infatti rivela sì l'impronta dell'arte medioevale nella prevalenza del pieno sul vuoto, nell'impostazione massiccia e robusta, nell'equilibrio delle grandi masse, nella mancanza di pregio e degli ornamenti tanto cari all'arte classica greca, nella presenza di torri laterali circolari e del torrione quadrato centrale, il cosiddetto maschio, e in generale nella tendenza all'utilità e alla praticità piuttosto che alla finezza artistica, ma l'assenza dei merli sia di tipo guelfo sia ghibellino e la conseguente terminazione dei muri laterali con un cornicione, la divisione della facciata in due piani, la presenza di molte finestre dotate di architrave, ampie, luminose e rettangolari con riquadratura laterale formata da blocchi di pietra incastrati nel muro, che scandiscono orizzontalmente la facciata, e così diverse da quelle anguste, incassate e buie dei castelli medioevali, e inoltre la presenza non tanto frequente dell'arco e della volta e nel complesso la maggior eleganza e finezza testimoniano in modo molto esplicito e chiaro una non trascurabile influenza dell'architettura civile del primo rinascimento.



Fig. 9.7 Palazzo Polcenigo facciata Ovest, ristrutturato a seguito del terremoto del 1976

Proprio questa coesistenza di elementi artistici diversi, medioevali da una parte e rinascimentali dall'altra dà all'opera una sua originalità e un suo ben preciso carattere e le dona pure una importanza artistica di un certo rilievo, quale momento visibile e toccabile di passaggio tra una corrente artistica e un'altra.

Per quanto riguarda la data di edificazione dell'opera si sa che nel 1562 il Signore Fantussio di Polcenigo promise per il matrimonio della figlia Properzia duemila ducati, i mobili e gli ornamenti personali e inoltre fece costruire a Cavasso Nuovo, sostituendolo a quello rovinato di Mizza, il castello originale e imponente da noi considerato. Lo stemma della casata è murato sopra l'ampio portale e ci ricorda che i conti avevano appena raggiunto il massimo del loro splendore, quando furono colpiti da gravi sventure che li misero in serie difficoltà: infatti il Governo Veneto – informa il Prof. Benedetti – incamerava nel 1607 un terzo, cioè otto carati, del fondo giurisdizionale del castello

Polcenigo e Fanna e ville annesse, che, con ducale 4 febbraio 1607 (more veneto), reinvestiva al ricchissimo nobile Filippo Manin.

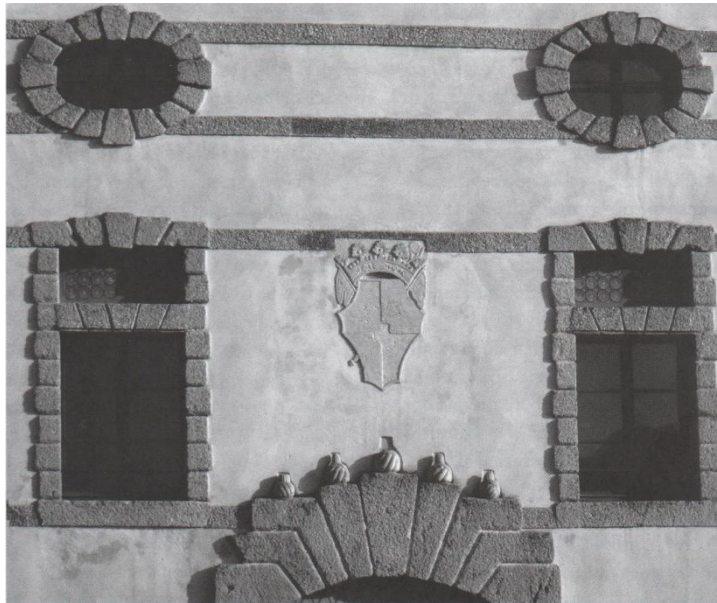


Fig. 9.8 Stemma della casata dei Polcenigo posto sulla facciata del Palazat.

Il progetto dell'opera, forse fu affidato all'architetto Lucchesi, il quale progettò sempre per conto dei Signori di Polcenigo anche un palazzo a Polcenigo, considerato uno dei più belli e maestosi del Friuli per il disegno e per la ricchezza dei marmi d'Istria, tuttavia non si è certi in quanto i disegni originali sono andati persi con l'incendio del comune di Cavasso Nuovo avvenuto all'epoca della II Guerra Mondiale.

Il complesso edilizio comprendente il palazzo Ardit e i relativi annessi, passato nell'arco dell'800 in eredità da Elia di Polcenigo a Elisabetta Maraldo, non risulta in tale periodo e anche successivamente aver registrato sostanziali trasformazioni per effetto di smembramenti della proprietà.

Quello relativo al Palazat invece, su il quale risulta dai catasti storici parzialmente estesa la proprietà dello stesso ramo dei di Polcenigo rappresentato dal conte Elia, pur mantenendo pressoché integra la veste esterna del corpo principale, ha subito nell'arco del'800 e forse anche prima vari frazionamenti per cessioni di proprietà che hanno prodotto effetti trasformativi interessando particolarmente l'ala sud del fabbricato.

Il castello correntemente denominato "Palazzo Polcenigo" o in friulano "Palazat" è di proprietà comunale, risulta soggetto di tutela ed essendo sempre stato adibito a qualche funzione, sebbene non sempre a essa adeguato si mantiene in condizioni abbastanza soddisfacenti.

Nel secolo scorso è stato usato come sede delle scuole elementari, in parte come latteria, ci fu inserita anche una scuola di disegno e fu anche sede dell'ambulatorio medico e dell'ufficio postale. Il palazzo fu gravemente danneggiato dal sisma del 1976, successivamente restaurato è oggi sede comunale, oltre a ospitare il Museo dell'Emigrazione ed eventi socio – culturali.



Fig. 9.9 Palazzo Polcenigo primi anni del '900.



Fig. 9.10 Palazzo Polcenigo settembre 1976.



Fig. 9.11 Palazzo Polcenigo ristrutturazione esterni torre sud.



Fig. 9.12 Palazzo Polcenigo ristrutturazione sala interna voltata.



Fig. 9.13 Palazzo Polcenigo sala interna voltata.



Fig. 9.14 Palazzo Polcenigo ai giorni nostri.

Il palazzo è costituito da quattro aree a seconda della funzione: la zona che ospita gli uffici del comune che si sviluppa su due piani sul lato nord dell'edificio; la zona che ospita il museo permanente all'ultimo piano sopra agli uffici; la zona adibita all'esposizioni e agli eventi posta nella parte ovest – facciata principale del palazzo su due piani; ed infine la zona archivio – appartamento ex custode nel lato sud dell'edificio contraddistinta da soffitti più bassi e sviluppata su 4 piani.

L'edificio è irregolare in pianta e in altezza dovuto ai diversi ampliamenti e modifiche nell'arco dei secoli difatti presenta diversi livelli dei solai, differenti altezze degli ambienti e la presenza di tre stanze voltate.

Queste volte non sono portanti ma solo autoportanti; la struttura principale è costituita dalle centine di tavole di legno mentre la struttura secondaria è costituita da listelli a cui è fissato il materiale che

forma l'intradosso (in genere stuoie di canne semplici o intrecciate). L'intonaco è di malta di calce e gesso.

Le strutture di legno delle false volte sono in genere piuttosto deformabili e alla lunga l'intonaco tende a fessurarsi in maniera diffusa. Se la falsa volta separa due ambienti in condizioni climatiche differenti (ad esempio camera abitata da sottotetto) è in genere molto facile leggere all'intradosso la traccia delle strutture lignee.

La copertura dell'edificio è di tipo a falde in legno, con copertura in coppi, massetto isolante in argilla espansa di 4 cm di spessore, guaina impermeabilizzante, ossatura lignea in castagno restaurata e cordonatura in c.a.. L'edificio è costituito da una struttura in muratura portante e da pilastri e cordoli in c.a. realizzati nella ristrutturazione a seguito del sisma del 1976.

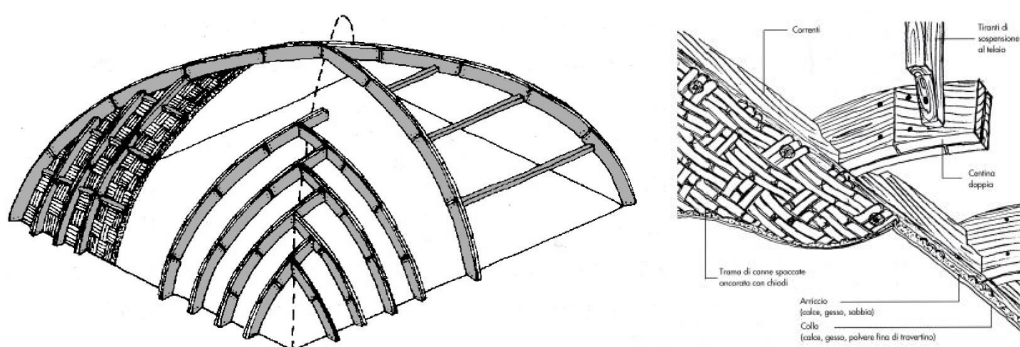
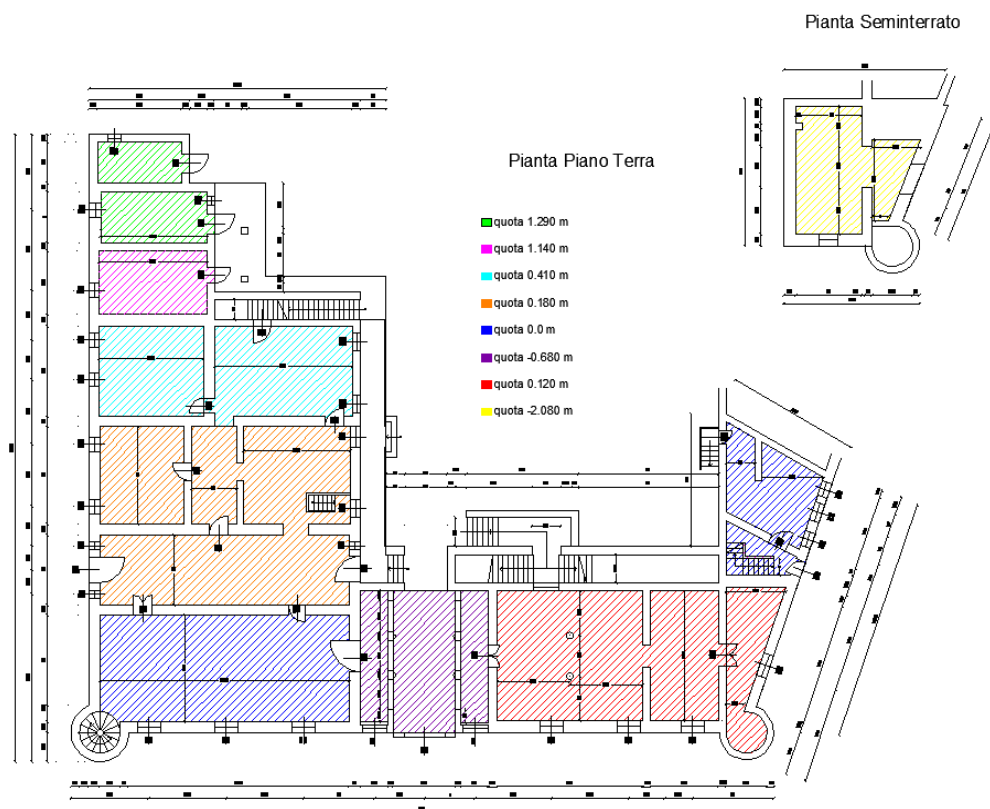
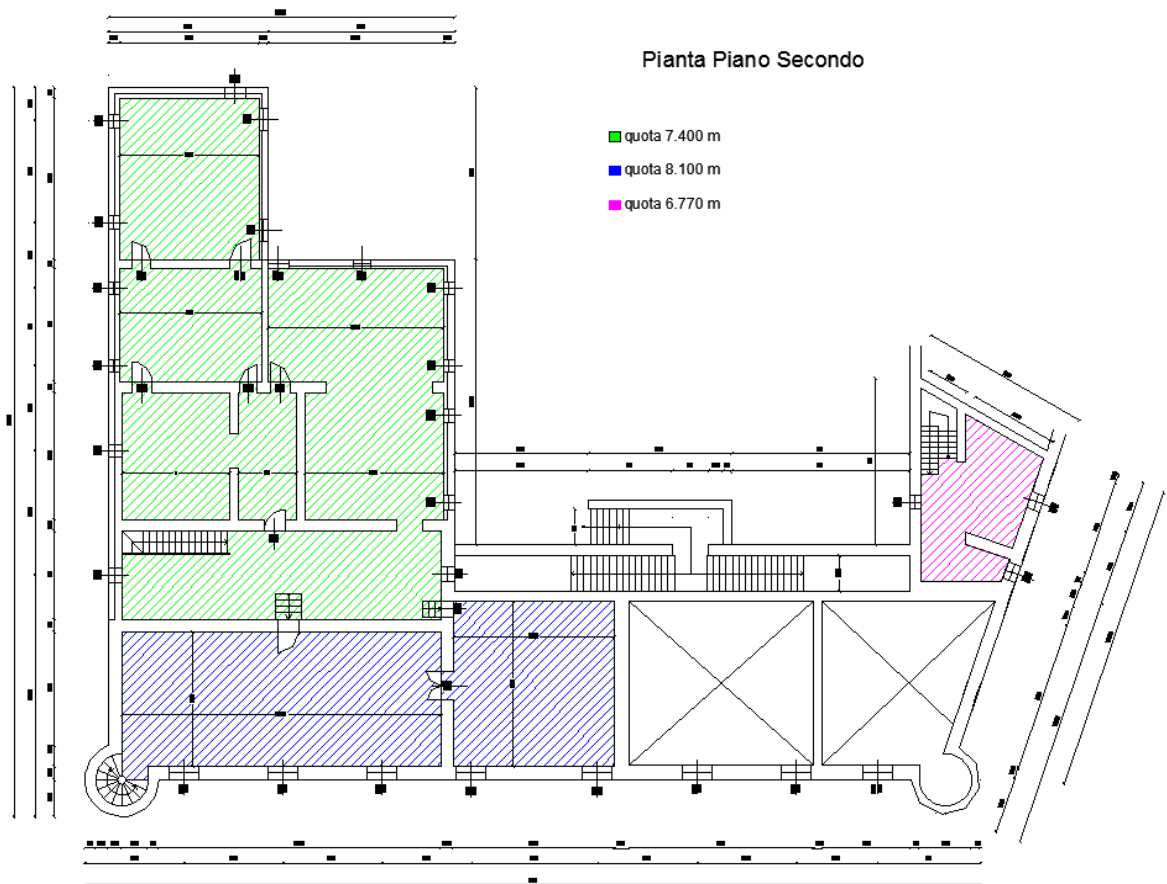
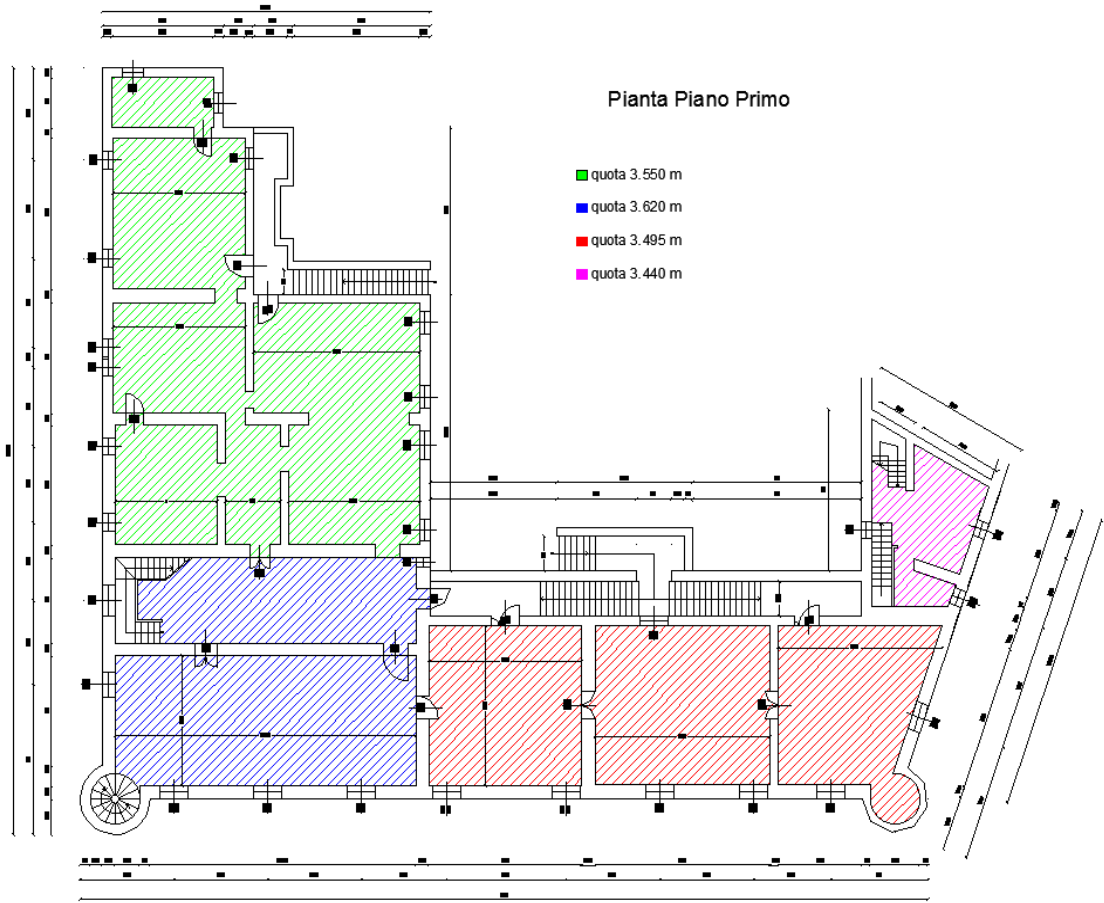


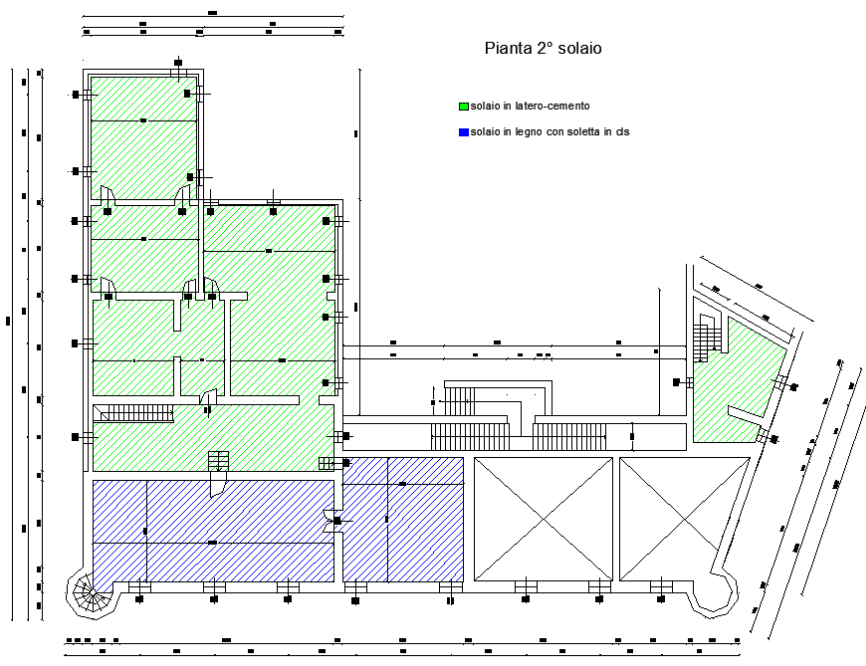
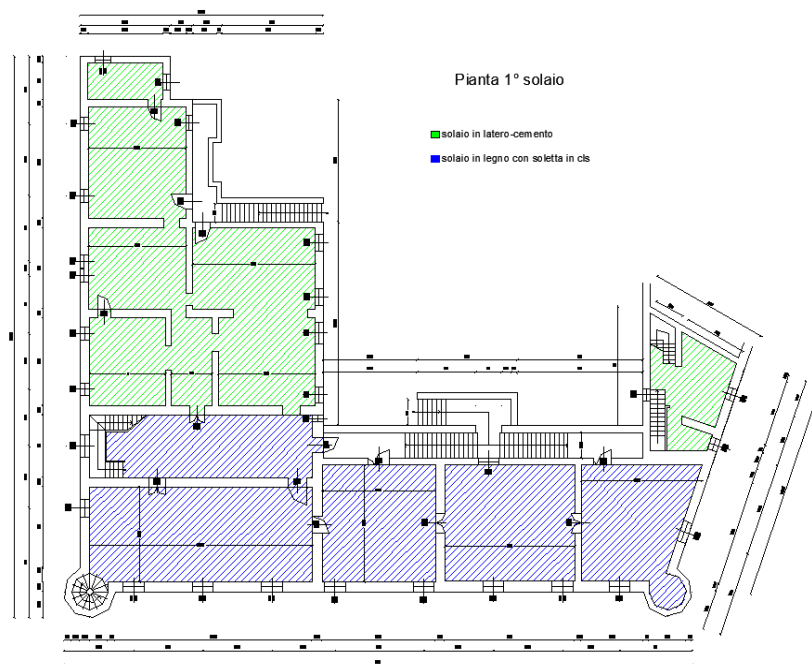
Fig.9.15 Particolari false volte.





I solai degli ambienti di prima realizzazione della parte più storica dell'edificio sono in legno in semplice orditura con trave da 28 cm e tavolato in castagno ancorato alla soletta mediante chiodi, rinforzato mediante una micro-soletta da 13 cm in c.a. (soletta monolitica con rete F6 maglia 20 cm superiore e rete F8 inferiore con ferri intermedi F12 e F14) e trave rompi tratta in acciaio HEA220 in sostituzione della precedente lignea per quanto riguarda la "stanza delle colonne".

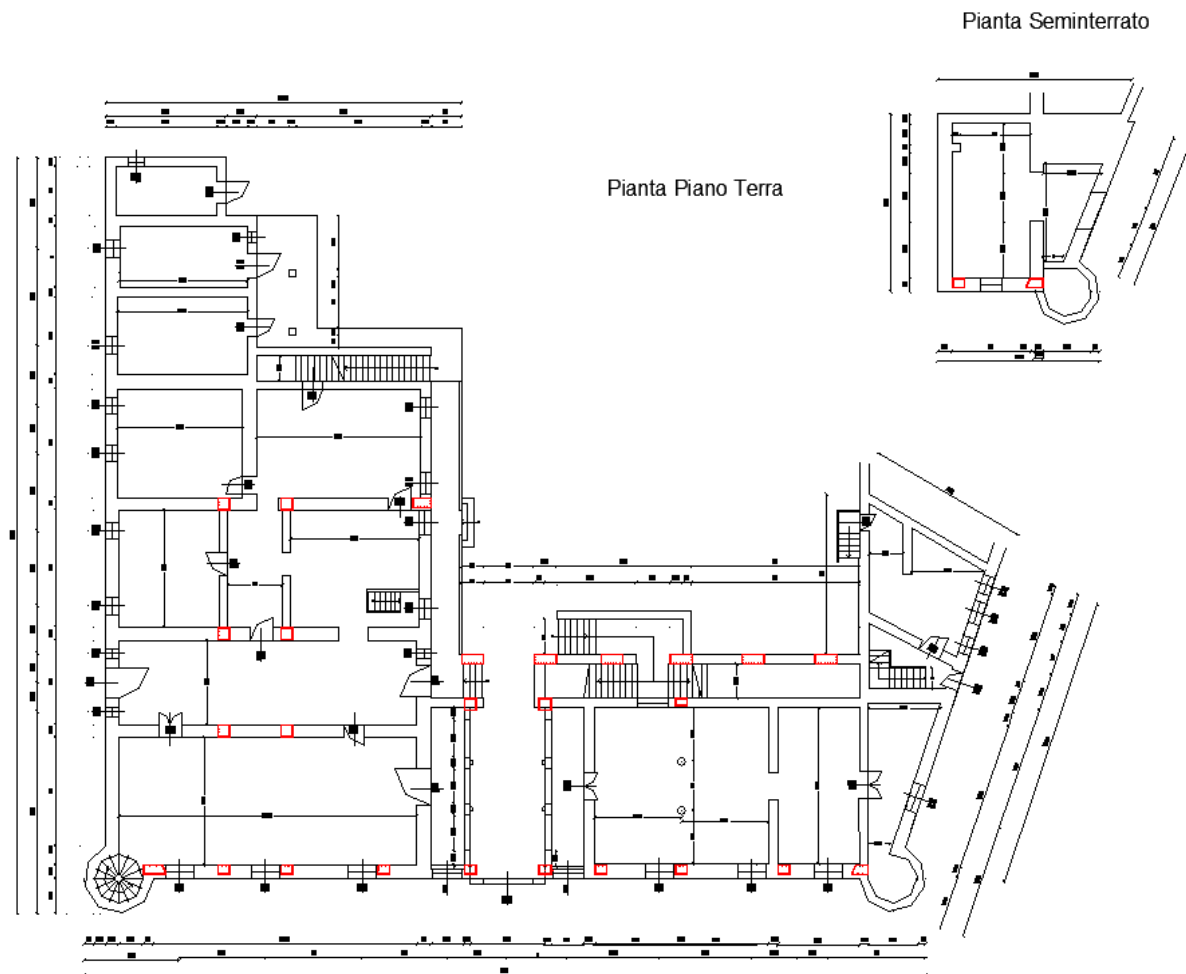
I restanti solai di più recente realizzazione sono realizzati in latero - cemento con pignatte da 24 cm e soletta da 6 cm, interasse da 60 cm e travetto da 12 cm.



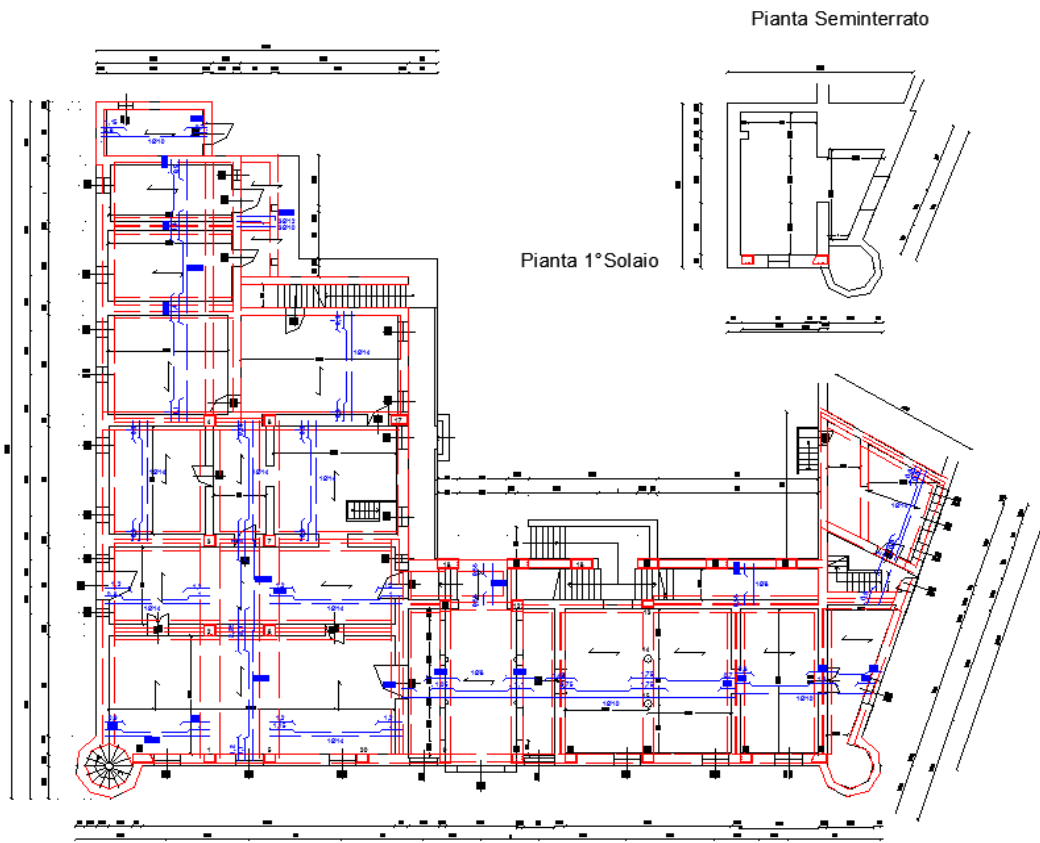
Nella "stanza delle colonne" al piano terra sono state inserite due colonne in acciaio tondo 168 x 5, costituenti telaio con la trave HEA 220, esternamente ricoperte da mattoni e finitura a malta e marmorino.

Sempre tra gli interventi a seguito del terremoto si ricordano inoltre:

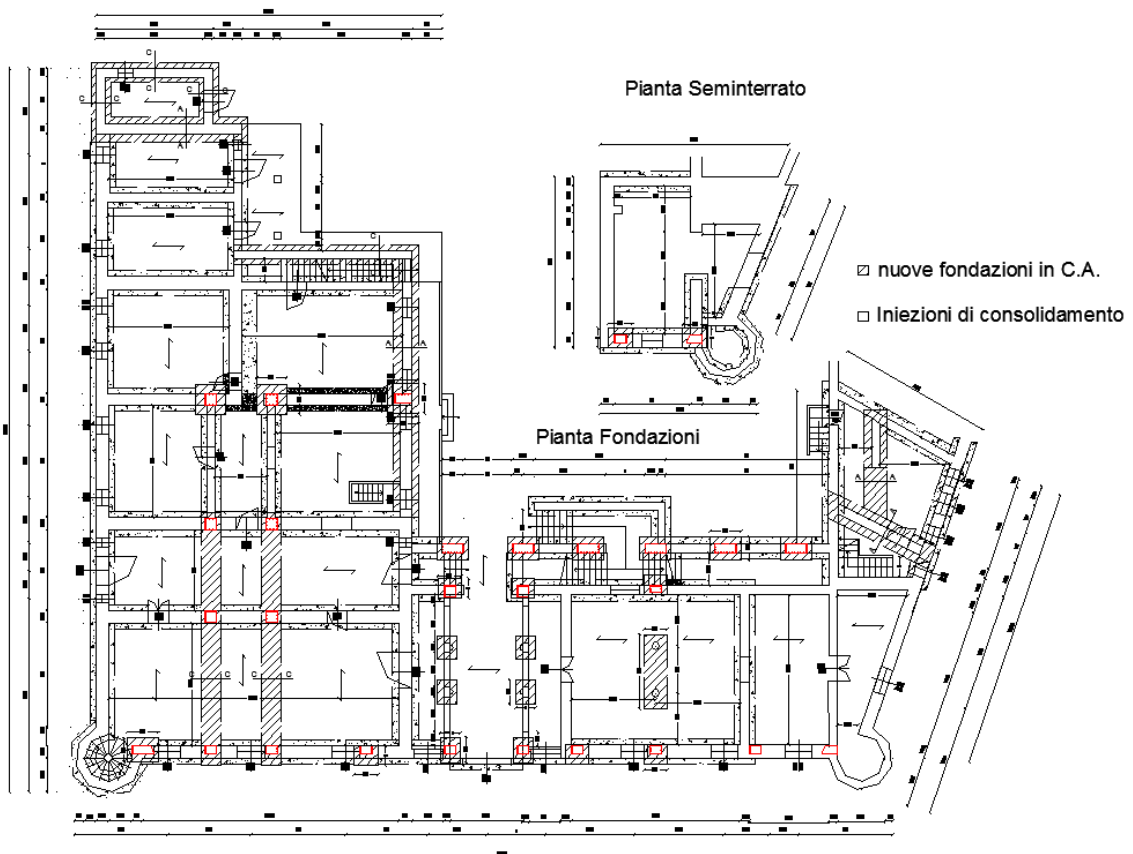
- ripristino del pavimento alla veneziana mediante anastilosi;
- realizzazione vespaio in ciottolame arido;
- realizzazione di plinti di fondazione in c.a. e iniezioni di consolidamento delle fondazioni;
- consolidamento delle compagini murarie con iniezioni diffuse;
- consolidamento con resine, piano terra e sottotetto corpo destro, in presenza di stucchi e affreschi;
- inserimento di due scale in c.a.;
- realizzazione dell'intonaco da 2 a 6 cm;
- ripristino degli architravi in mattoni rivestiti in graniglia del fiume Meduna;
- incorniciatura delle finestre in pietra in conglomerato.

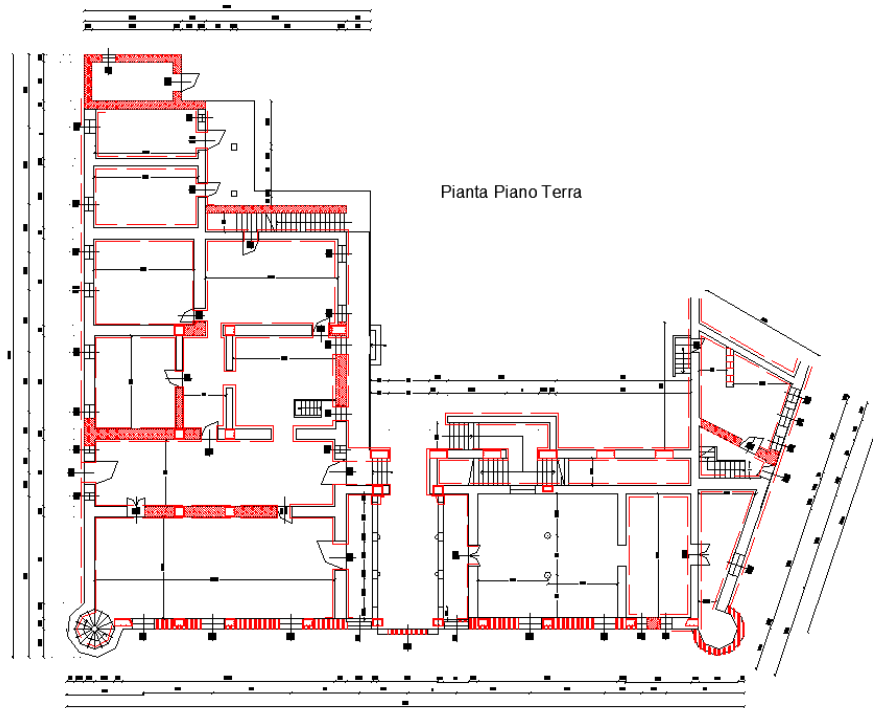


Pianta con disposizione dei pilastri.



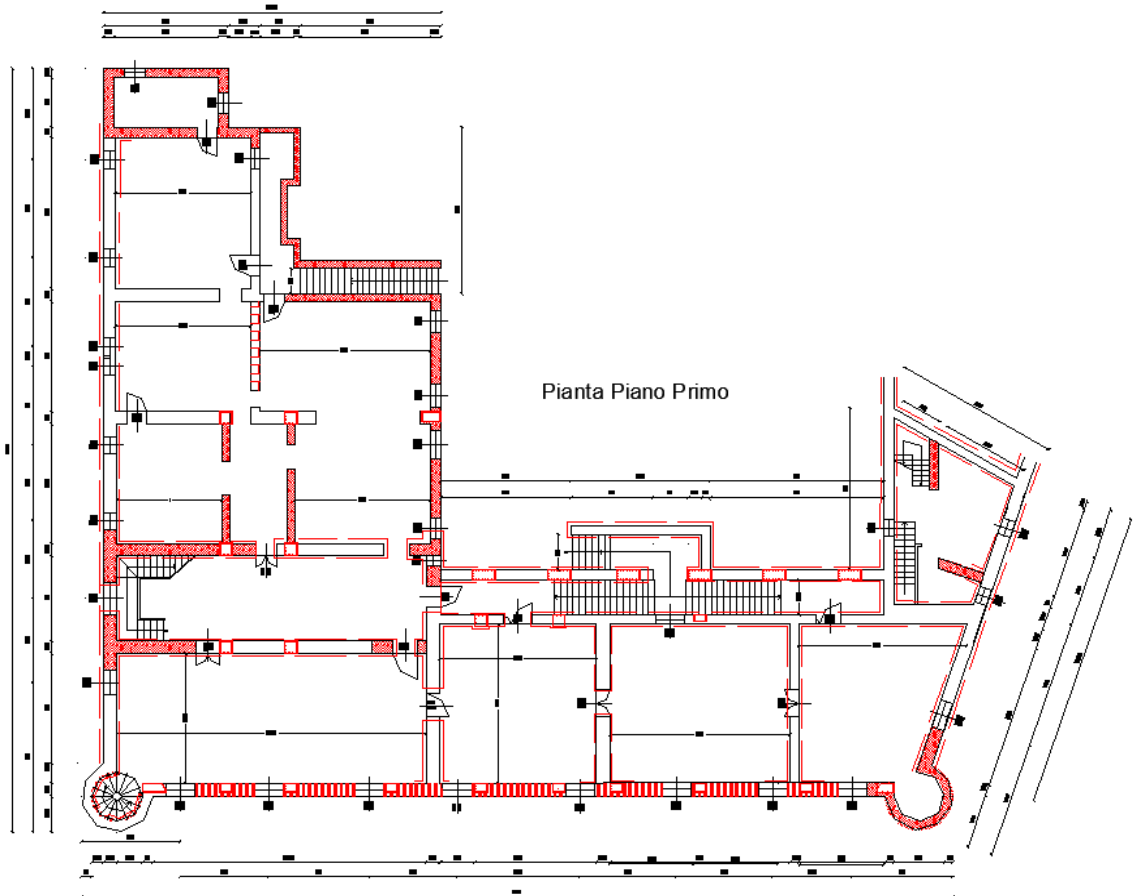
Pianta con disposizione cordoli e armatura solai.





Pianta Piano Terra

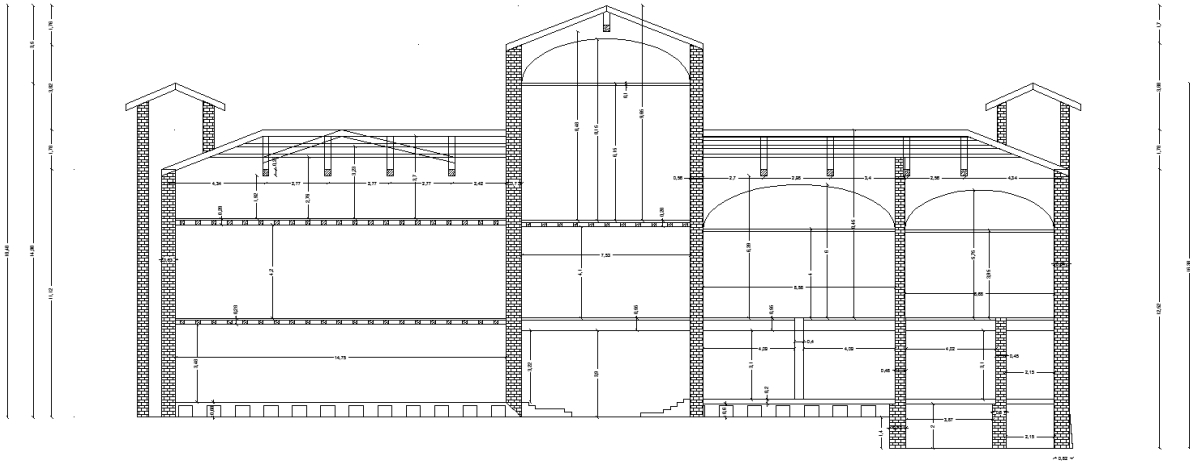
- Simbologia
- Rete metallica
 - Demolizione murature in pietra e rifacimento in mattoni pieni
 - Nuove murature
 - Cordoli
 - Travi
 - Lastra in cemento con ammassamenti alla muratura
 - Iniezioni di malta cementizia



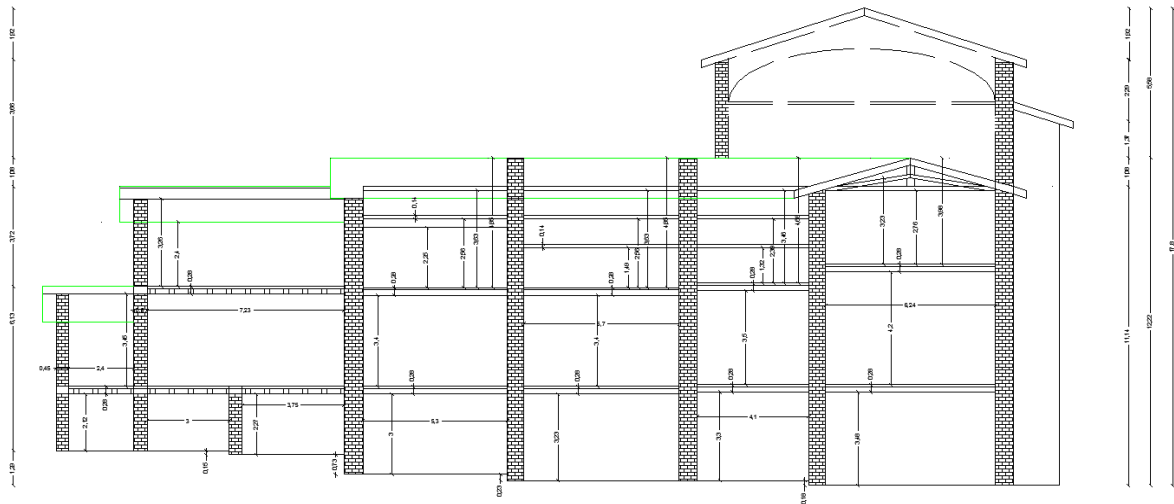
Pianta Piano Primo

SEZIONI DELLO STATO DI FATTO

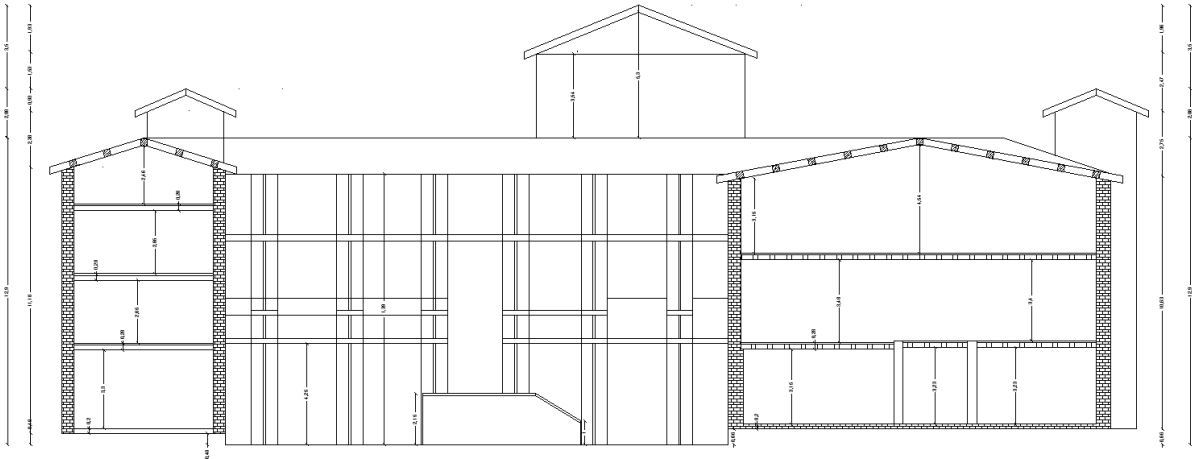
Sezione frontale – facciata principale.



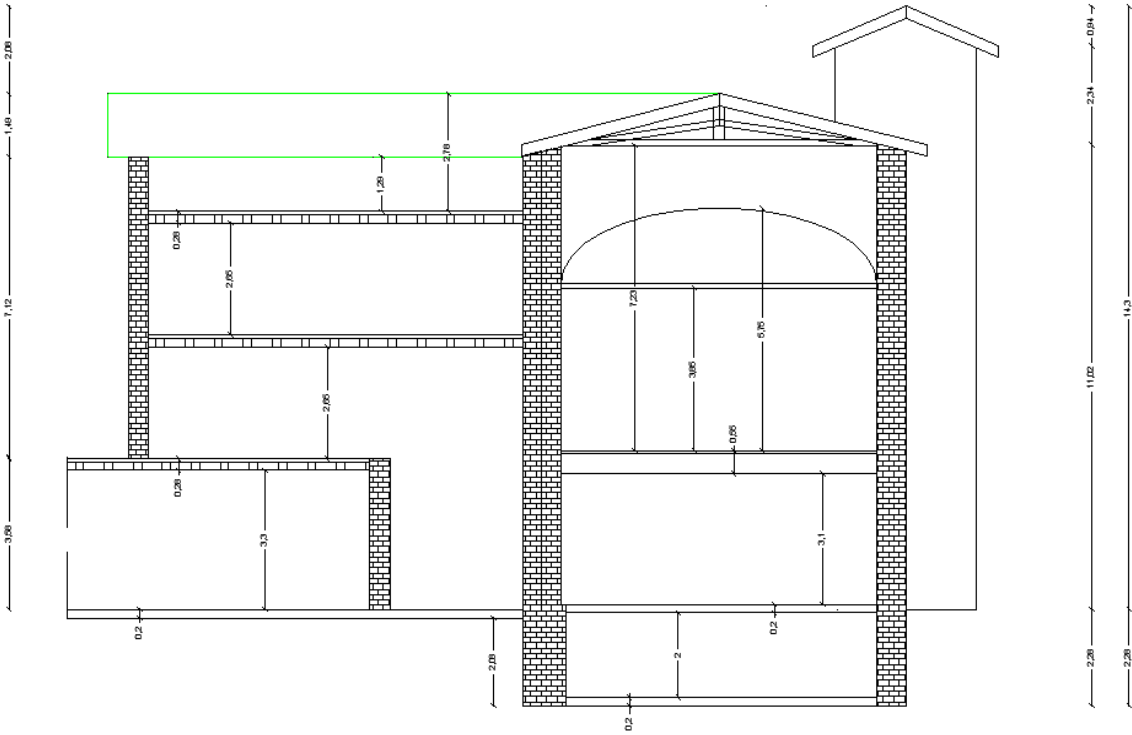
Sezione laterale – lato nord.



Sezione interna – lato est.



Sezione interna – lato ovest.



9.2 Normative di riferimento

Per effettuare le verifiche dello stato di fatto e dei successivi interventi si sono utilizzate le seguenti normative:

- ❖ D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni e relativa Circolare applicativa del 2 febbraio 2009 n.617;
- ❖ D.P.C.M. 9/02/2011 Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008, "Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008".

9.3 Descrizione dei materiali

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi su costruzioni esistenti devono tenere conto dei seguenti aspetti:

- la costruzione riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;
- possono essere insiti e non palesi difetti di impostazione e di realizzazione;
- la costruzione può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;
- le strutture possono presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria.

Nella definizione dei modelli strutturali, si dovrà, inoltre, tenere conto che:

- la geometria e i dettagli costruttivi sono definiti e la loro conoscenza dipende solo dalla documentazione disponibile e dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive;
- la conoscenza delle proprietà meccaniche dei materiali non risente delle incertezze legate alla produzione e posa in opera ma solo della omogeneità dei materiali stessi all'interno della costruzione, del livello di approfondimento delle indagini conoscitive e dell'affidabilità delle stesse;
- i carichi permanenti sono definiti e la loro conoscenza dipende dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive.

Si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e l'uso, nelle verifiche di sicurezza, di adeguati "fattori di confidenza", che modificano i parametri di capacità in funzione del livello di conoscenza relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali.

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato.

Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. Nel rilievo dovranno essere rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico critica.

Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si baserà su documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali.

I valori delle resistenze meccaniche dei materiali vengono valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e prescindono dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni.

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, saranno individuati i "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.

La struttura portante dell'edificio è costituita da muratura portante e nello specifico, facendo riferimento alla tabella C8A.2.1, da:

<i>Tipologia di muratura</i>	f_m [N/cm ²]	t_o [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [N/mm ³]
<i>Muratura a conci sbozzati</i>	200	3.5	1230	410	0.00002
<i>Muratura in pietre a spacco</i>	260	5.6	1740	580	0.000021
<i>Muratura in mattoni pieni</i>	240	6	1500	500	0.000018
<i>Muratura in blocchi di cls</i>	300	18	2960	740	0.000014

In seguito allo studio della documentazione relativa all'intervento effettuato si applicano i coefficienti correttivi e il relativo "fattore di confidenza" che per le informazioni raccolte si pone uguale a 1.35 a favore di sicurezza.

I valori che verranno utilizzati per le successive analisi sono :

<i>coefficiente correttivo intonaco armato per muratura in mattoni pieni</i>	1.5
--	-----

<i>coefficiente correttivo iniezioni per muratura in pietre a spacco</i>	1.5
--	-----

$F_c =$	1.35	$g_m =$	2
---------	------	---------	---

<i>Tipologia di muratura</i>	f_d [N/mm ²]	t_{od} [N/mm ²]	E/F_c [N/mm ²]	G/F_c [N/mm ²]
<i>Muratura a conci sbozzati</i>	0.7407	0.0130	911.1	303.7
<i>Muratura in pietre a spacco</i>	1.4444	0.0311	1933.3	644.4
<i>Muratura in mattoni pieni</i>	1.3333	0.0333	1666.7	555.6
<i>Muratura in blocchi di cls</i>	1.1111	0.0667	2192.6	548.1

Per quanto riguarda gli elementi in c.a., cordoli – travi – pilastri, le caratteristiche meccaniche sono:

<i>Calcestruzzo utilizzato</i>	C	25	/	30
--------------------------------	----------	-----------	----------	-----------

<i>Resistenze di calcolo dei materiali</i>
--

f_{cd} [Mpa]=	14.167
$g_c =$	1.5
$a_{cc} =$	0.85

<i>nel caso di elementi piani (solette e pareti)</i>
--

$0,8 f_{cd} =$	11.333	Mpa
----------------	--------	-----

$f_{ctm} =$	2.565	Mpa
$f_{ctd} =$	1.197	Mpa

$E_{cm} =$	31475.81	Mpa
------------	----------	-----

$f_{cfm} =$	3.078	Mpa
-------------	-------	-----

$n =$	0.2
-------	-----

<i>Acciaio per armature</i>			
Feb 44 k			
$f_{yk} =$	430	Mpa	
$f_{tk} =$	540	Mpa	
$g_s =$	1.15		
$E_s =$	200000	Mpa	
$f_{yd} =$	373.91	Mpa	

9.4 Analisi dei carichi

La corretta valutazione dei carichi è estremamente importante per i calcoli strutturali sismici, infatti da essa dipende la determinazione delle forze orizzontali sismiche sia attraverso le masse sia attraverso le frequenze proprie che determinano il valore dell'ordinata dello spettro di risposta.

È necessario determinare l'entità dei carichi che gravano sulle strutture portanti, distinguibili in:

- ✓ *Permanenti*: peso del solaio, delle solette, dei materiali di finitura, dei tramezzi e di eventuali altri elementi gravanti sugli elementi portanti (ex. parapetti);
- ✓ *Variabili*: dipendono dalla destinazione d'uso dell'edificio.

Le azioni da considerare nelle costruzioni comprendono in genere: pesi propri degli elementi costituenti la struttura, carichi permanenti, sovraccarichi variabili per gli edifici, variazioni termiche e igrometriche, cedimenti di vincoli azioni dinamiche in genere, azioni eccezionali.

- CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI (G_{1k})
- CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G_{2k})
- CARICHI ACCIDENTALI (Q_k)
- CARICO NEVE (N)
- AZIONE VENTO (V)

<i>Carichi solaio in legno semplice orditura in legno</i>

$i = 60 \text{ cm}$
 $trave = 16 \text{ cm}$

$pavimento = 2.5 \text{ cm}$
 $sottofondo di allettamento = 3 \text{ cm}$
 $caldana = 13 \text{ cm}$
 $assito = 3.5 \text{ cm}$
 $h \text{ trave} = 21 \text{ cm}$

Struttura

$assito = 205.926 \text{ N/m}^2$
 $travi = 329.4816 \text{ N/m}^2$

G1 =	0.00054	N/mm²
-------------	----------------	-------------------------

Analisi dei carichi

<i>caldana</i> =	3250 N/m ²	0.00325 N/mm ²
<i>sottofondo di allettamento</i> =	530 N/m ²	0.00053 N/mm ²
<i>pavimento</i> =	390 N/m ²	0.00039 N/mm ²

G2 =	0.00417	N/mm²
-------------	----------------	-------------------------

Carichi solaio latero - cemento			
--	--	--	--

<i>i</i> =	60	<i>cm</i>
<i>h</i> =	30	<i>cm</i>

<i>h pignatta</i> =	24	<i>cm</i>
<i>s pignatta</i> =	25	<i>cm</i>
<i>larghezza pignatta</i> =	38	<i>cm</i>
<i>peso pignatta</i> =	12.5	<i>kg</i>

Struttura

<i>peso cls</i> =	0.3675	kN	367.5	N su 60cm
<i>pignatta</i> =	122.57	N	su 60 cm	

G₁ =	0.00327	N/mm²
------------------------	----------------	-------------------------

Analisi dei carichi

<i>sottofondo di allettamento</i> =	530	N/m ²	0.00053	N/mm ²
<i>pavimento</i> =	390	N/m ²	0.00039	N/mm ²

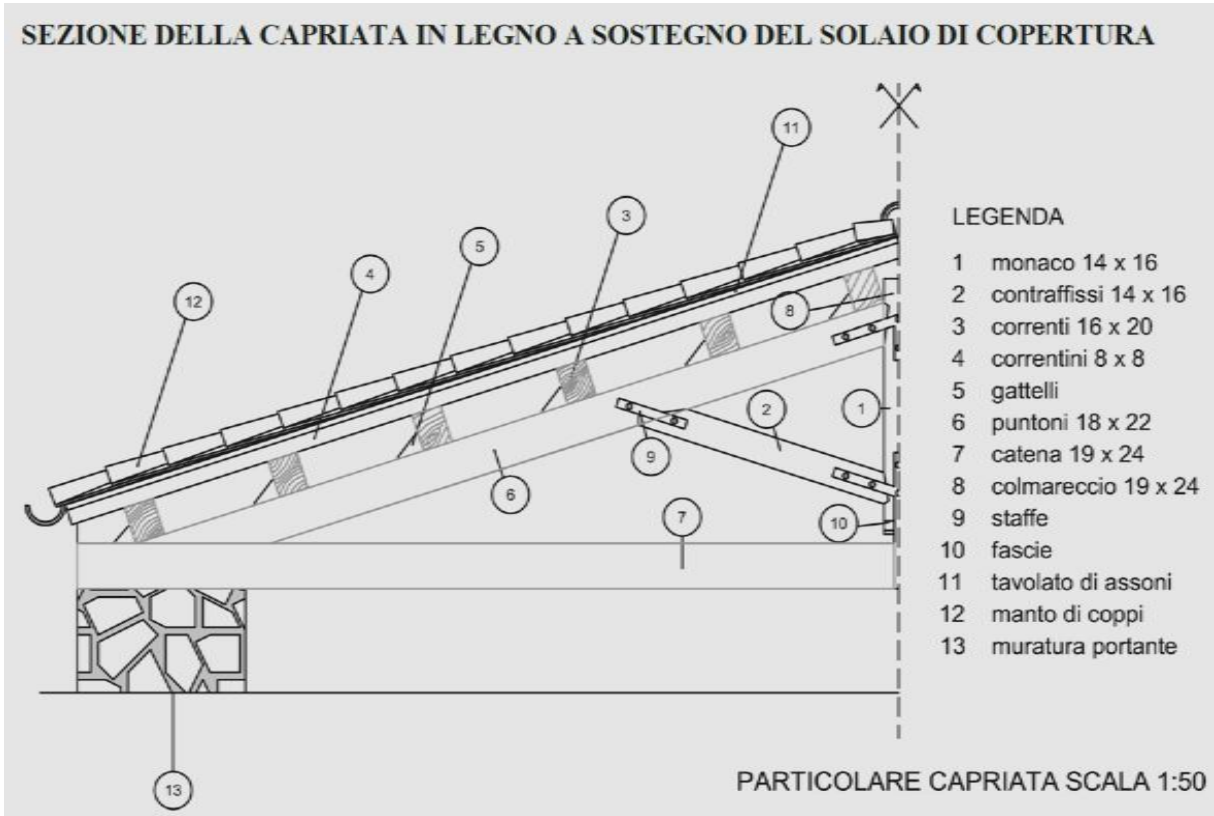
G₂ =	0.00092	N/mm²
------------------------	----------------	-------------------------

Carichi accidentali solaio			
	<i>Q_k [kN/m²]</i>	<i>Q_k [N/mm²]</i>	<i>f_{2j} Q_k</i>
<i>uffici aperti al pubblico</i>	3	0.003	0.0009
<i>ballatoi e scale comuni, sale convegni</i>	4	0.004	0.0024
<i>musei, sale per esposizioni, edifici per eventi</i>	5	0.005	0.003
<i>archivi</i>	6	0.006	0.0048

<i>categoria</i>	<i>f_{0j}</i>	<i>f_{1j}</i>	<i>f_{2j}</i>
B <i>uffici</i>	0.7	0.5	0.3
C <i>ambienti suscettibili di affollamento</i>	0.7	0.7	0.6
E <i>archivi</i>	1	0.9	0.8

Carichi tetto in legno

$G_1 =$	0.0015	N/mm^2
$G_2 =$	0.0025	N/mm^2
$Q_k =$	0.0005	N/mm^2



Azioni del vento

Zona 1	$v_{b,0} =$	25	m/s
	$a_0 =$	1000	m
	$k_a =$	0.01	
	$r =$	1.25	
	$q_b =$	390.625	N/m^2
	classe di rugosità zona 1	B IV	
$kr =$	0.22	$z_0 =$	0.3
$z =$	16.18	$ct =$	1
		$z_{min} =$	8
		$ce =$	2.1207

$cd =$	1	$cp + =$	0.8	$cp - =$	-0.4
$p + =$	662.7228	N/m2	0.000662723	N/mm2	
$p - =$	-331.361	N/m2	-0.000331361	N/mm2	

Azioni neve			
Pordenone	ZONA I - Alpina		
$qsk =$	1.5	KN/m2	$as \leq 200 m$
$as =$	300	m	
$qsk =$	1.626044862	KN/m2	$as < 200 m$
$ce =$	1		
$ct =$	1		
$m1 =$	0.8		
$qs =$	1.300835889	KN/m2	
$qs =$	0.0013008	N/mm2	

9.5 Azioni sismiche

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dello stato limite considerato, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione a essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R .

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua

funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I.

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti alla tipologia di costruzione e al sito in esame.

9.5.1 Fattore di struttura

La capacità dissipativa della struttura è messa in conto attraverso il fattore di struttura q riduttivo delle forze elastiche.

$$q = q_0 \times K_R$$

q_0 varia in base alla categoria di muratura quindi in base alla tipologia strutturale.

Tabella 7.8.I - Valori di q_0 per le diverse tipologie strutturali

TIPOLOGIA STRUTTURALE	q_0
Costruzioni in muratura ordinaria	$2,0 \alpha_u / \alpha_1$
Costruzioni in muratura armata	$2,5 \alpha_u / \alpha_1$
Costruzioni in muratura armata progettati secondo GR	$3,0 \alpha_u / \alpha_1$

a_u / a_1 per struttura in muratura ordinaria a due o più piani = 1,8

$$q_0 = 2,0 a_u / a_1 = 2,0 \times 1,8 = 3,6$$

K_R per edifici non regolari in altezza: 0,8

$$q = q_0 \times K_R = 2,0 \times 1,8 \times 0,8 = 2,88$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto a_u / a_1 .

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari a 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Per le analisi cinematiche locali lineari e non lineari si utilizzerà un fattore di struttura $q = 2$ così da tenere in conto delle riserve di resistenza del meccanismo di collasso dopo la sua attivazione.

9.5.2 Spettro di risposta

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita a uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale (Cat.A-T1).

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è stato definito ed elaborato tramite l'utilizzo di un foglio elettronico "Spettri NTC-2008- ver 1.0.3 ". Le fasi sono qui di seguito riportate:

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: LATITUDINE:

Ricerca per comune


REGIONE: PROVINCIA: COMUNE:

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

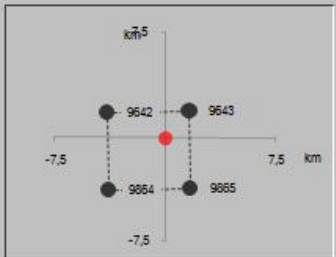
Interpolazione

superficie rigata

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Per poter ottenere la miglior posizione geografica del Palazzo Polcenigo in Cavasso Nuovo ho scelto di adottare il metodo delle coordinate per interpolazioni di nodi, infatti sono state inserite le coordinate corrette. L'edificio essendo una costruzione con funzioni pubbliche importanti ricade in *Classe IV*.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	120
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	201
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	1898
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	2475

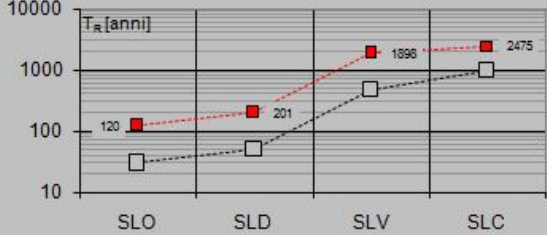
Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametrizzazione

Strategia di progettazione



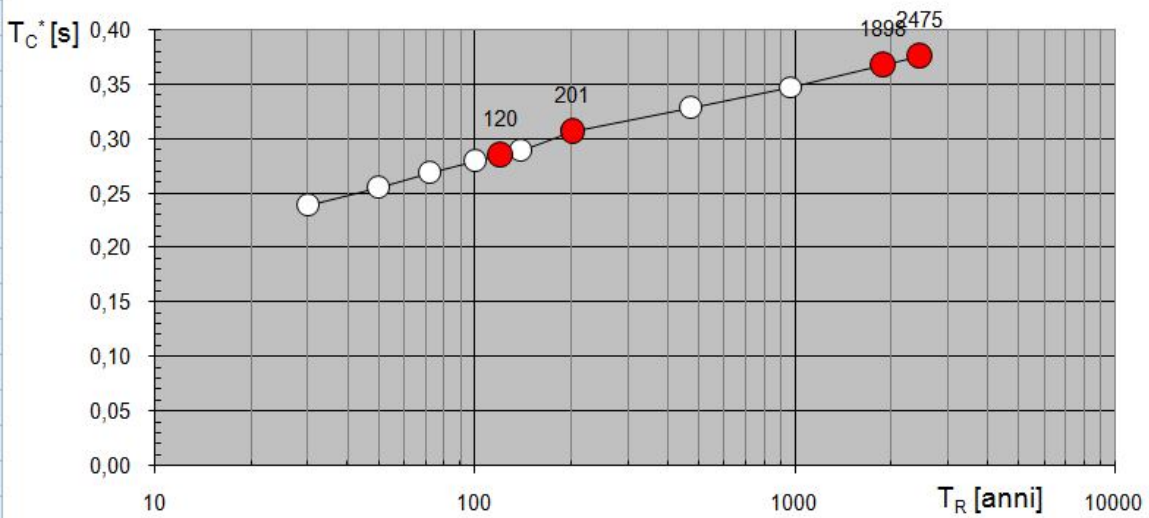
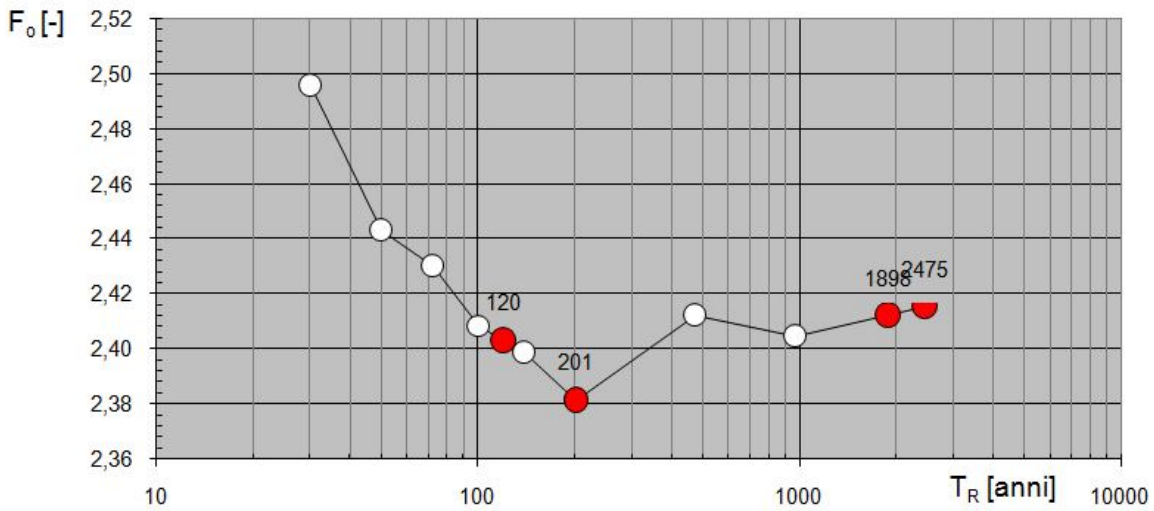
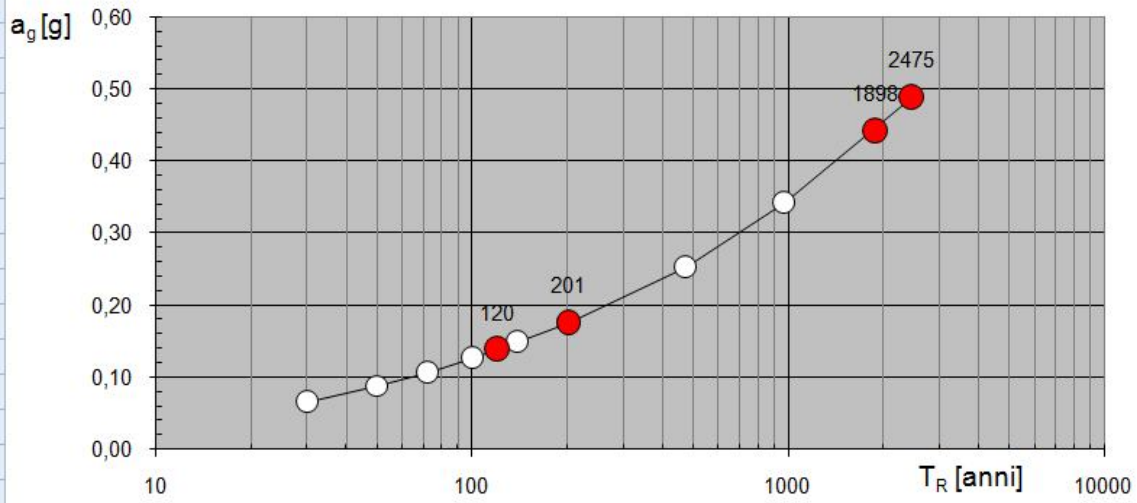
LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

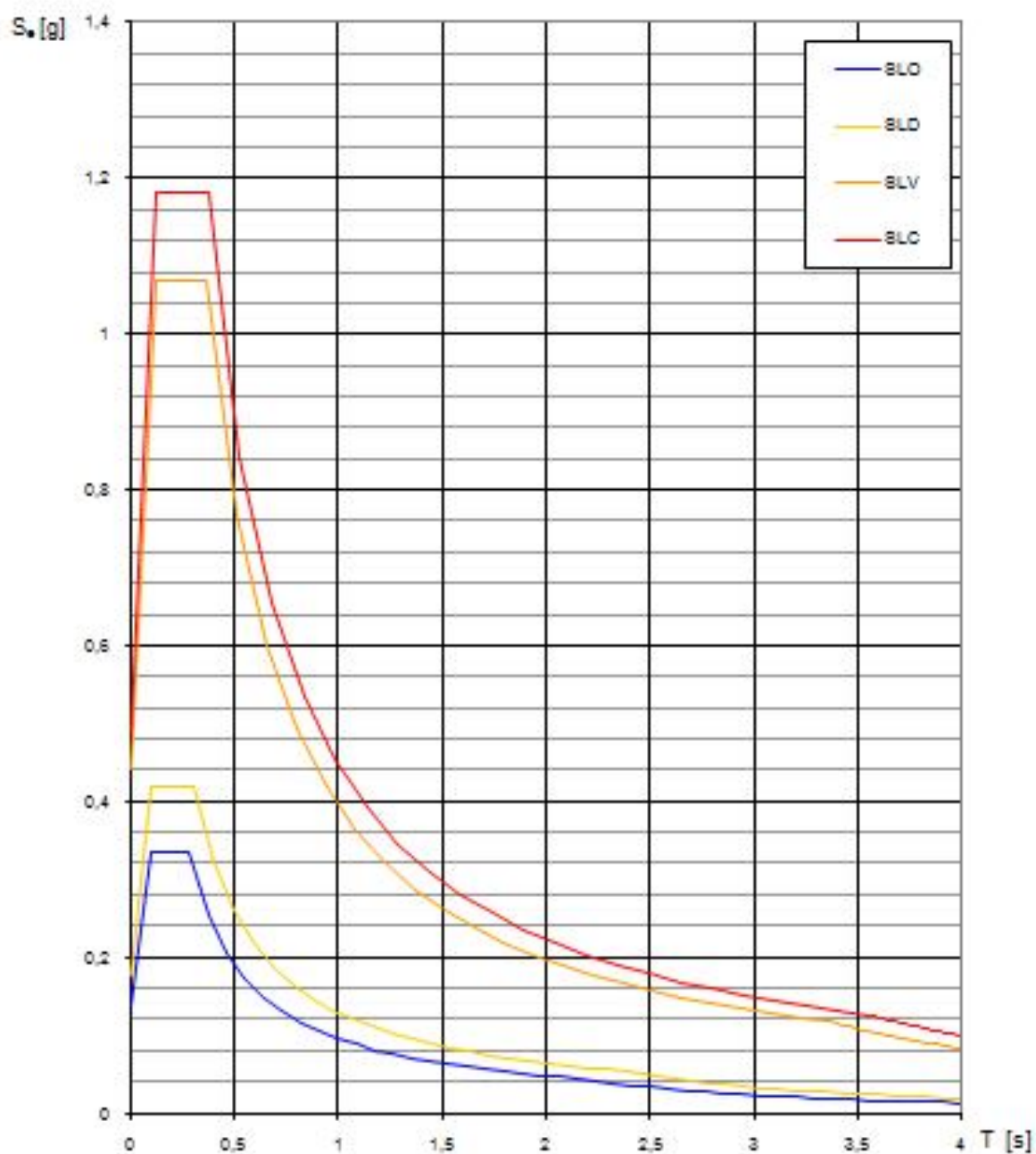
.....■..... Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0,139	2,403	0,285
SLD	201	0,176	2,382	0,307
SLV	1898	0,442	2,412	0,368
SLC	2475	0,489	2,415	0,376

La categoria di sottosuolo che interessa l'edificio è assunta dalla tabella 3.2.II

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

La categoria topografica:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

❖ SLD

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato: SLD info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo: C info $S_g = 1.448$ $C_c = 1.551$ info

Categoria topografica: T1 info $h/H = 0.000$ $S_T = 1.000$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%): 5 $\gamma = 1.000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_c : 2.88 Regol. in altezza: si info

Compon. verticale

Spettro di progetto Fattore q : 1.5 $\gamma = 0.667$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta ➔

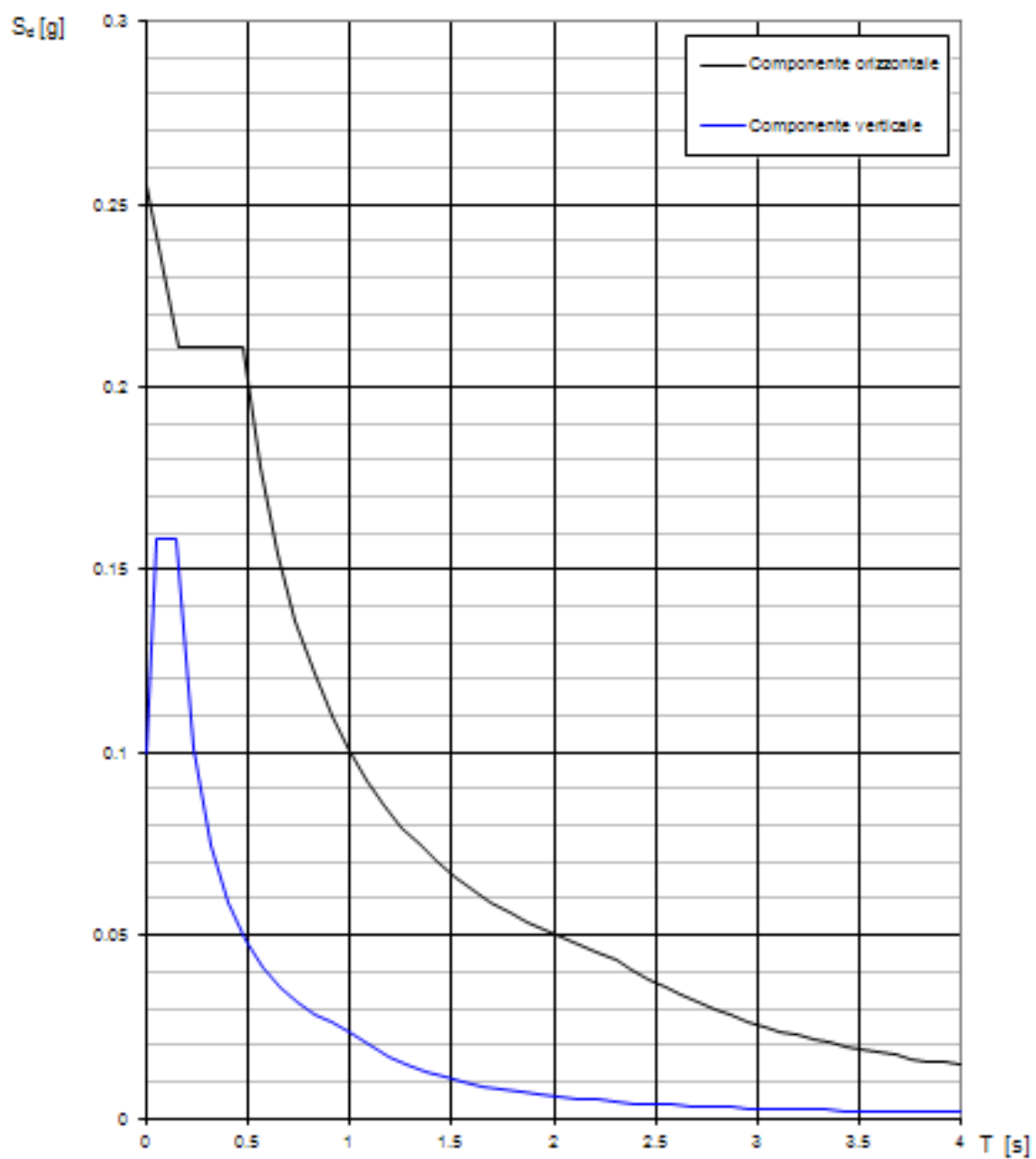
Parametri e punti spettri di risposta ➔

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato lim SLD



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limSLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_0	0.176 g
F_0	2.382
T_c	0.307 s
S_s	1.448
C_c	1.551
S_T	1.000
q	2.880

Parametri dipendenti

S	1.448
η	0.347
T_B	0.159 s
T_C	0.476 s
T_D	2.305 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_s / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con η/q , dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.255
T_B	0.159	0.211
T_C	0.476	0.211
	0.563	0.178
	0.650	0.154
	0.737	0.136
	0.824	0.122
	0.911	0.110
	0.998	0.101
	1.085	0.092
	1.172	0.086
	1.259	0.080
	1.347	0.075
	1.434	0.070
	1.521	0.066
	1.608	0.062
	1.695	0.059
	1.782	0.056
	1.869	0.054
	1.956	0.051
	2.043	0.049
	2.130	0.047
	2.218	0.045
T_D	2.305	0.044
	2.385	0.041
	2.466	0.038
	2.547	0.036
	2.628	0.033
	2.708	0.032
	2.789	0.030
	2.870	0.028
	2.951	0.027
	3.031	0.025
	3.112	0.024
	3.193	0.023
	3.273	0.022
	3.354	0.021
	3.435	0.020
	3.516	0.019
	3.596	0.018
	3.677	0.017
	3.758	0.016
	3.839	0.016
	3.919	0.015
	4.000	0.014

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{ov}	0.100 g
S_s	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.349
S	1.000
η	0.667

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.100
T_B	0.050	0.158
T_C	0.150	0.158
	0.235	0.101
	0.320	0.074
	0.405	0.059
	0.490	0.049
	0.575	0.041
	0.660	0.036
	0.745	0.032
	0.830	0.029
	0.915	0.026
T_D	1.000	0.024
	1.094	0.020
	1.188	0.017
	1.281	0.014
	1.375	0.013
	1.469	0.011
	1.563	0.010
	1.656	0.009
	1.750	0.008
	1.844	0.007
	1.938	0.006
	2.031	0.006
	2.125	0.005
	2.219	0.005
	2.313	0.004
	2.406	0.004
	2.500	0.004
	2.594	0.004
	2.688	0.003
	2.781	0.003
	2.875	0.003
	2.969	0.003
	3.063	0.003
	3.156	0.002
	3.250	0.002
	3.344	0.002
	3.438	0.002
	3.531	0.002
	3.625	0.002
	3.719	0.002
	3.813	0.002
	3.906	0.002
	4.000	0.001

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_s \cdot \left(\frac{a_s}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_s} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

❖ SLV

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
 Stato Limite considerato: **SLV** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: **C** info $S_s = 1.060$ $C_c = 1.461$ info
 Categoria topografica: **T1** info $h/H = 0.000$ $S_T = 1.000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%): **5** $\gamma = 1.000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_0 : **2.88** Regol. in altezza: **si** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q : **1.5** $\gamma = 0.667$ info

Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta ➤
 Parametri e punti spettri di risposta ➤

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

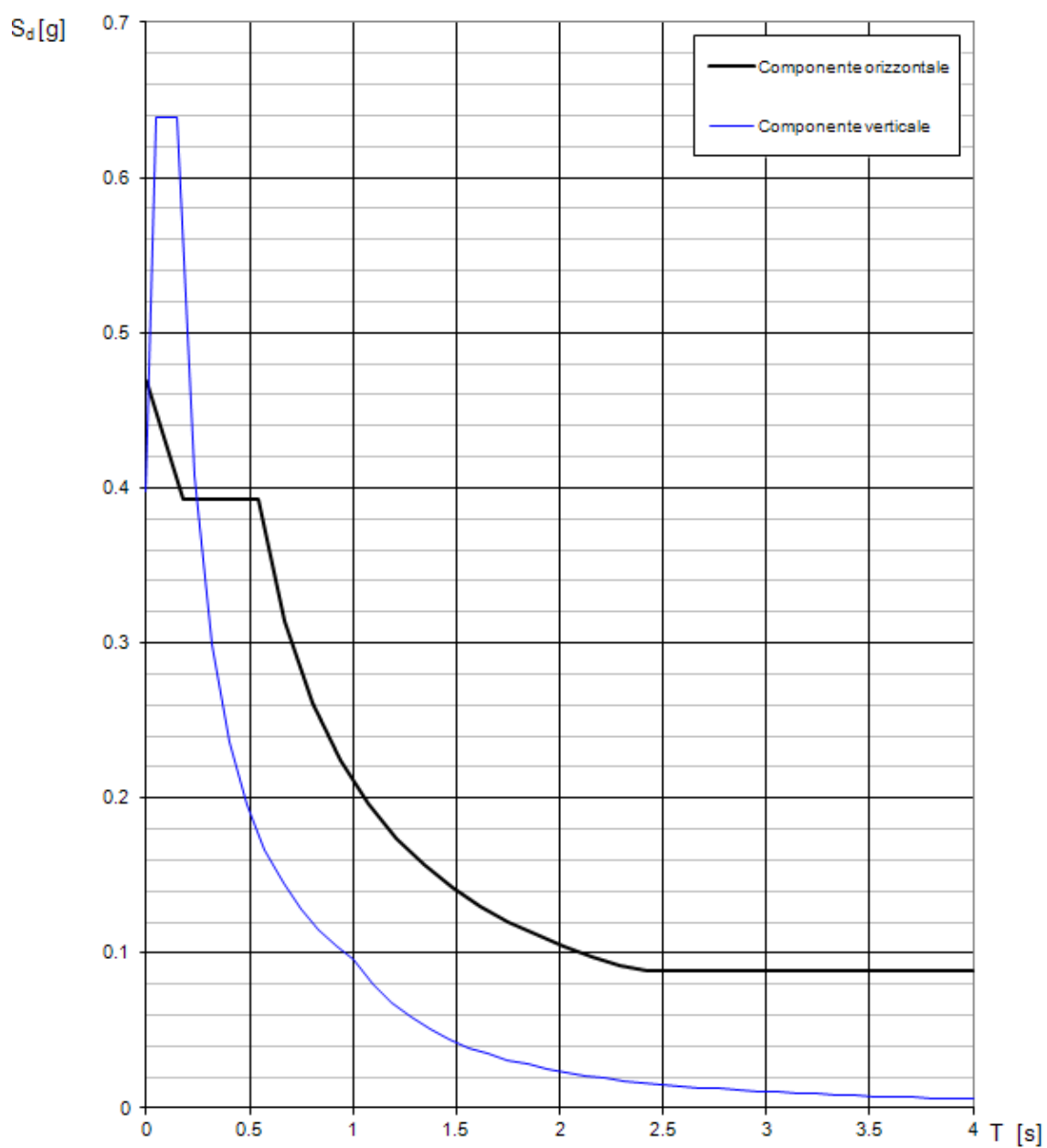
Spettri di risposta

$S_{d,0}$ [g]
 $S_{d,y}$ [g]
 S_e [g]

T [s] 4

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_0	0.442 g
F_0	2.412
T_C	0.368 s
S_s	1.060
C_c	1.461
S_T	1.000
q	2.880

Parametri dipendenti

S	1.060
η	0.347
T_B	0.179 s
T_C	0.537 s
T_D	3.369 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_C \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_s / \xi + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.469
T_B	0.179	0.393
T_C	0.537	0.393
	0.672	0.314
	0.807	0.261
	0.942	0.224
	1.077	0.196
	1.212	0.174
	1.346	0.157
	1.481	0.142
	1.616	0.131
	1.751	0.120
	1.886	0.112
	2.021	0.104
	2.156	0.098
	2.290	0.092
	2.425	0.088
	2.560	0.088
	2.695	0.088
	2.830	0.088
	2.965	0.088
	3.100	0.088
	3.234	0.088
T_D	3.369	0.088
	3.399	0.088
	3.429	0.088
	3.459	0.088
	3.489	0.088
	3.519	0.088
	3.550	0.088
	3.580	0.088
	3.610	0.088
	3.640	0.088
	3.670	0.088
	3.700	0.088
	3.730	0.088
	3.760	0.088
	3.790	0.088
	3.820	0.088
	3.850	0.088
	3.880	0.088
	3.910	0.088
	3.940	0.088
	3.970	0.088
	4.000	0.088

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{ov}	0.397 g
S_s	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	2.166
S	1.000
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_s \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.397
T_{v1}	0.050	0.639
T_{c1}	0.150	0.639
	0.235	0.408
	0.320	0.299
	0.405	0.237
	0.490	0.196
	0.575	0.167
	0.660	0.145
	0.745	0.129
	0.830	0.115
	0.915	0.105
T_{v2}	1.000	0.096
	1.094	0.080
	1.188	0.068
	1.281	0.058
	1.375	0.051
	1.469	0.044
	1.563	0.039
	1.656	0.035
	1.750	0.031
	1.844	0.028
	1.938	0.026
	2.031	0.023
	2.125	0.021
	2.219	0.019
	2.313	0.018
	2.406	0.017
	2.500	0.015
	2.594	0.014
	2.688	0.013
	2.781	0.012
	2.875	0.012
	2.969	0.011
	3.063	0.010
	3.156	0.010
	3.250	0.009
	3.344	0.009
	3.438	0.008
	3.531	0.008
	3.625	0.007
	3.719	0.007
	3.813	0.007
	3.906	0.006
	4.000	0.006

9.5.3 Combinazione dell'azione sismica con le altre azioni

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + E + \sum f_{2j} Q_{kj}$$

Il coefficiente f_{2j} vale (Tab. 2.5.I NTC):

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

9.5.4 Masse sismiche e inerzie polari

Le masse sismiche associate ai diversi elementi che compongono la struttura, necessarie per lo svolgimento dell'analisi dinamica modale, verranno inserite, per ogni livello, nel baricentro delle masse. Questo risulta possibile solo se l'impalcato è infinitamente rigido nel comportamento a lastra. Le masse degli elementi strutturali non verranno inserite in quanto verranno considerate automaticamente dal programma di calcolo adottato ripartendo la massa per unità di lunghezza (inerzia traslazionale e rotazionale implicita).

Calcolo masse sismiche di piano

Per l'ipotesi di impalcato infinitamente rigido, i gradi di libertà, per ogni impalcato, si riducono a tre: due traslazionali e uno rotazionale.

Le masse sismiche di piano traslazionali si ottengono dividendo i pesi derivanti dalla combinazione sismica per l'accelerazione di gravità $g = 9.806 \text{ m/sec}^2$.

impalcato quota 3550								
cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	400	280	6770	0.000025	18956	0	0	18956
	400	280	2875	0.000025	8050	0	0	8050
	400	280	2875	0.000025	8050	0	0	8050
	400	280	6810	0.000025	19068	0	0	19068
	580	280	3490	0.000025	14169.4	0	0	14169.4
	400	280	3490	0.000025	9772	0	0	9772
	800	280	6810	0.000025	38136	0	0	38136
	580	280	4490	0.000025	18229.4	0	0	18229.4
	400	280	4490	0.000025	12572	0	0	12572
	960	280	6810	0.000025	45763.2	0	0	45763.2
	580	280	5800	0.000025	23548	0	0	23548
	650	280	5800	0.000025	26390	0	0	26390
	800	280	6810	0.000025	38136	0	0	38136
	400	280	8605	0.000025	24094	0	0	24094
	400	280	5800	0.000025	16240	0	0	16240
	1000	280	8605	0.000025	60235	0	0	60235
	630	280	6335	0.000025	27937.35	0	0	27937.35
	1000	280	6335	0.000025	44345	0	0	44345
	400	280	5540	0.000025	15512	0	0	15512
	1000	280	6335	0.000025	44345	0	0	44345
	400	280	3100	0.000025	8680	0	0	8680
	400	280	6335	0.000025	17738	0	0	17738
	400	280	6775	0.000025	18970	0	0	18970

tot	558936.4
-----	----------

correa	400	280	13780	0.000025	38584	0		
--------	-----	-----	-------	----------	-------	---	--	--

tot	38584
-----	-------

solai	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]	W [N]
	6770	2875	63646.4625	17906.65	17517.375	99070.49
	6810	3490	77717.763	21865.548	21390.21	120973.5
	6810	4490	99986.463	28130.748	27519.21	155636.4
	6810	5800	129158.46	36338.16	35548.2	201044.8
	8605	5800	163202.43	45916.28	44918.1	254036.8
	5540	6335	114763.593	32288.228	31586.31	178638.1
	3100	6335	64217.895	18067.42	17674.65	99959.97
	6775	6335	140347.174	39486.055	38627.6625	218460.9

tot	1327821
-----	---------

muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	W [N]
	6770	3590	450	0.000018	196864.83	196864.8
	2875	3590	480	0.000018	89175.6	89175.6
	2875	3590	480	0.000018	89175.6	89175.6
	6810	3905	500	0.000018	239337.45	239337.5
	3490	3905	630	0.000014	120202.929	120202.9
	6810	2410	480	0.000014	110289.312	110289.3
	3490	3905	430	0.000014	82043.269	82043.27

4490	4055	550	0.000014	140193.515	140193.5
6810	4785	700	0.000014	319341.33	319341.3
4490	4055	430	0.000014	109605.839	109605.8
5800	4785	550	0.000014	213698.1	213698.1
5800	4785	630	0.000014	244781.46	244781.5
6810	5015	600	0.000014	286878.06	286878.1
8605	4785	400	0.000014	230579.58	230579.6
5800	4785	510	0.000014	198156.42	198156.4
8605	5015	600	0.000014	362494.23	362494.2
6335	5015	630	0.000014	280211.6205	280211.6
5540	5015	670	0.000018	335064.186	335064.2
6335	5015	400	0.000018	228744.18	228744.2
3100	5015	670	0.000018	187490.79	187490.8
6335	5015	400	0.000014	177912.14	177912.1
6775	5015	670	0.000014	318700.7425	318700.7
6335	5015	550	0.000018	314523.2475	314523.2

tot	4875464
-----	---------

totale impalcato [N]	6800806
totale impalcato [kN]	6800.806

<i>impalcato quota 3620</i>								
cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm ³]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	400	280	15415	0.000025	43162	0	0	43162
	630	280	4740	0.000025	20903.4	0	0	20903.4
	400	280	4740	0.000025	13272	0	0	13272
	800	280	15415	0.000025	86324	0	0	86324
	630	280	6870	0.000025	30296.7	0	0	30296.7
	400	280	6870	0.000025	19236	0	0	19236
	450	600	15415	0.000025	104051.25	0	0	104051.3
							tot	317245.4
correa	1000	280	23220	0.000025	162540	0	0	162540
							tot	162540
solai	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]			W [N]
	15415	4740	39456.234	304689.807	219201.3			563347.3
	15415	6870	57186.567	441607.3785	317703.15			816497.1
							tot	1379844
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm ³]	G1 [N]			W [N]
	4740	5050	630	0.000014	211124.34			211124.3
	4740	5050	700	0.000014	234582.6			234582.6
	15415	5580	610	0.000018	944452.386			944452.4
	6870	5580	630	0.000014	338111.172			338111.2
	6870	5580	700	0.000014	375679.08			375679.1
	15415	5580	650	0.000021	1174114.305			1174114
							tot	3278064

totale impalcato [N]	5137694
totale impalcato [kN]	5137.694

<i>impalcato quota 3495</i>								
cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm ³]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	400	280	8155	0.000025	22834	0	0	22834
	400	280	8515	0.000025	23842	0	0	23842
	450	600	8155	0.000025	55046.25	0	0	55046.25
	600	280	8515	0.000025	35763	0	0	35763
	350	280	9095	0.000025	22282.75	0	0	22282.75
	500	280	8515	0.000025	29802.5	0	0	29802.5
	450	600	9095	0.000025	61391.25	0	0	61391.25
	800	280	8515	0.000025	47684	0	0	47684
	350	280	4505	0.000025	11037.25	0	0	11037.25
	800	280	8515	0.000025	47684	0	0	47684
	450	600	4505	0.000025	30408.75	0	0	30408.75
	350	280	4000	0.000025	9800	0	0	9800
	350	280	8515	0.000025	20861.75	0	0	20861.75

tot	418437.5
-----	----------

correa	600	280	17030	0.000025	71526	0	0	71526
--------	-----	-----	-------	----------	-------	---	---	-------

tot	71526
-----	-------

solai	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]	W [N]
	8155	8515	37497.505 5	289564.070 3	208319.475	535381.1
	9095	8515	41819.719 5	322941.167 3	232331.775	597092.7
	4505	8515	20714.440 5	159961.512 8	115080.225	295756.2
	2705	8515	12437.860 5	96047.9227 5	69099.225	177585
	8155	1910	8411.067	64952.1285	46728.15	120091.3
	9035	1910	9318.699	71961.0645	51770.55	133050.3

tot	1858957
-----	---------

muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm ³]	G1 [N]	W [N]
	2000	6197.5	570	0.000014	98912.1	98912.1
	2000	6197.5	570	0.000014	98912.1	98912.1
	2000	6197.5	650	0.000021	169191.75	169191.8
	2000	6197.5	650	0.000021	169191.75	169191.8
	8155	6197.5	560	0.000014	396238.402	396238.4
	9095	6822.5	570	0.000014	495164.087 3	495164.1
	8155	9022.5	480	0.000014	494447.436	494447.4
	9095	6822.5	650	0.000021	846991.201 9	846991.2
	4505	9022.5	570	0.000014	324357.972 8	324358

8515	9022.5	450	0.000014	484007.501 3	484007.5
4505	9022.5	650	0.000021	554822.848 1	554822.8
4000	9022.5	740	0.000014	373892.4	373892.4
8515	9022.5	650	0.000014	699121.946 3	699121.9

tot	5205251
-----	---------

totale impalcato [N]	7554172
totale impalcato [kN]	7554.172

impalcato quota 3440

cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	350	280	4000	0.000025	9800	0	0	9800
	500	280	3755	0.000025	13142.5	0	0	13142.5
	500	280	6630	0.000025	23205	0	0	23205
	400	280	6460	0.000025	18088	0	0	18088
	350	280	5750	0.000025	14087.5	0	0	14087.5
	400	280	4696.256	0.000025	13149.5168	0	0	13149.52

tot	91472.52
-----	----------

correa	400	280	5750	0.000025	16100	0	0	16100
--------	-----	-----	------	----------	-------	---	---	-------

tot	16100
-----	-------

solaio	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]	W [N]
	3755	4000	49115.4	13818.4	72096	135029.8
	5750	6460	121464.15	34173.4	178296	333933.6

tot	468963.4
-----	----------

muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	W [N]
	3755	4825	450	0.000014	114142.6125	114142.6
	4696.256	4825	500	0.000018	203934.9168	203934.9
	6630	4825	650	0.000014	291106.725	291106.7
	6460	4825	410	0.000014	178912.93	178912.9
	5750	4825	450	0.000014	174785.625	174785.6

tot	962882.8
-----	----------

totale impalcato [N]	1539419
totale impalcato [kN]	1539.419

impalcato quota 6770

cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	400	280	6770	0.000025	18956	0	0	18956
	400	280	2875	0.000025	8050	0	0	8050
	400	280	2875	0.000025	8050	0	0	8050
	400	280	6770	0.000025	18956	0	0	18956

solaio	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]
	6770	2875	10510.43	81163.84	0

tot	54012
	W [N]
	91674.26

muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]
	6770	1610	450	0.000021	103002.2
	2875	1610	480	0.000021	46657.8
	2875	1610	480	0.000021	46657.8

tot	91674.26
	W [N]
	103002.2
	46657.8
	46657.8

tot	196317.8
-----	----------

totale impalcato [N]	342004
totale impalcato [kN]	342.004

impalcato quota 7400

cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	400	280	6810	0.000025	19068	0	0	19068
	580	280	3490	0.000025	14169.4	0	0	14169.4
	400	280	3490	0.000025	9772	0	0	9772
	580	280	4490	0.000025	18229.4	0	0	18229.4
	400	280	4490	0.000025	12572	0	0	12572
	960	280	6810	0.000025	45763.2	0	0	45763.2
	580	280	5800	0.000025	23548	0	0	23548
	650	280	5800	0.000025	26390	0	0	26390
	800	280	6810	0.000025	38136	0	0	38136
	400	280	8605	0.000025	24094	0	0	24094
	400	280	5800	0.000025	16240	0	0	16240
	1000	280	8605	0.000025	60235	0	0	60235
	630	280	6335	0.000025	27937.35	0	0	27937.35
	1000	280	6335	0.000025	44345	0	0	44345
	400	280	5540	0.000025	15512	0	0	15512
	1000	280	6335	0.000025	44345	0	0	44345
	400	280	3100	0.000025	8680	0	0	8680
	400	280	6335	0.000025	17738	0	0	17738
	400	280	6775	0.000025	18970	0	0	18970
	400	280	15415	0.000025	43162	0	0	43162
	630	280	4740	0.000025	20903.4	0	0	20903.4
	400	280	4740	0.000025	13272	0	0	13272

tot	563081.8
-----	----------

correa	1000	280	9480	0.000025	66360	0	0	66360
--------	------	-----	------	----------	-------	---	---	-------

tot	66360
-----	-------

solaio	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]
	6810	7980	177704.2	49996.3	163031.4
	6810	5800	129158.5	36338.16	118494
	8605	5800	163202.4	45916.28	149727

	W [N]
	390731.9
	283990.6
	358845.7

5540	6335	114763.6	32288.23	105287.7	252339.5
3100	6335	64217.9	18067.42	58915.5	141200.8
6775	6335	140347.2	39486.06	128758.9	308592.1
15415	4740	238929.4	67221.73	219201.3	525352.4

tot	1735701
	W [N]

muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]
6810	3467.5	500	0.000021	247943.6	
3490	3467.5	550	0.000014	93182.13	
3490	3467.5	430	0.000018	93666.19	
4490	3467.5	550	0.000014	119881.9	
6810	3467.5	650	0.000018	276280	
4490	3467.5	430	0.000018	120504.6	
5800	3467.5	550	0.000014	154858.6	
5800	3467.5	400	0.000018	144802.8	
6810	3467.5	600	0.000018	255027.7	
8605	3467.5	400	0.000021	250637.8	
5800	3467.5	510	0.000021	215394.2	
2000	3467.5	600	0.000018	74898	
6335	3467.5	630	0.000014	193745.5	
5540	3467.5	620	0.000021	250113.5	
6335	3467.5	400	0.000021	184519.5	
3100	3467.5	620	0.000021	139955.2	
6335	3467.5	400	0.000021	184519.5	
6775	3467.5	620	0.000014	203913.3	
6335	3467.5	510	0.000021	235262.4	
4740	3432.5	630	0.000021	215252.8	
4740	3432.5	650	0.000021	222086.2	
15415	3432.5	610	0.000014	451868.4	

tot	4328314
-----	---------

totale impalcato [N]	6693456
totale impalcato [kN]	6693.456

<i>impalcato quota 8100</i>								
cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
400	280	15415	0.000025	43162	0	0	43162	
630	280	6870	0.000025	30296.7	0	0	30296.7	
400	280	6870	0.000025	19236	0	0	19236	
450	600	15415	0.000025	104051.3	0	0	104051.3	
400	280	8515	0.000025	23842	0	0	23842	
570	280	8155	0.000025	32538.45	0	0	32538.45	
450	600	8155	0.000025	55046.25	0	0	55046.25	
600	280	8515	0.000025	35763	0	0	35763	

correa	600	280	17030	0.000025	71526	0	tot	343935.7
							0	71526
							tot	71526
								W [N]
solaio	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]			816497.1
	15415	6870	57186.57	441607.4	317703.2			535381.1
	8155	8515	37497.51	289564.1	208319.5			
							tot	1351878
								W [N]
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]			222074.8
	6870	3665	630	0.000014	222074.8			229124.8
	6870	3665	650	0.000014	229124.8			771170.1
	15415	3665	650	0.000021	771170.1			242574.1
	8155	3727.5	570	0.000014	242574.1			288830.9
	8515	3727.5	650	0.000014	288830.9			414929.5
	8155	3727.5	650	0.000021	414929.5			
							tot	2168704
totale impalcato [N]								3936044
totale impalcato [kN]								3936.044

impalcato quota 6770								
cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	350	280	4000	0.000025	9800	0	0	9800
	500	280	3755	0.000025	13142.5	0	0	13142.5
	500	280	6630	0.000025	23205	0	0	23205
	400	280	6460	0.000025	18088	0	0	18088
	350	280	5750	0.000025	14087.5	0	0	14087.5
	400	280	4696.256	0.000025	13149.52	0	0	13149.52
							tot	91472.52
correa	400	280	5750	0.000025	16100	0	0	16100
							tot	16100
								W [N]
solaio	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]			135029.8
	3755	4000	49115.4	13818.4	72096			333933.6
	5750	6460	121464.2	34173.4	178296			
							tot	468963.4
								W [N]
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]			61612.04
	3755	2930	400	0.000014	61612.04			144480.3
	4696.256	2930	500	0.000021	144480.3			176775.7
	6630	2930	650	0.000014	176775.7			108645.6
	6460	2930	410	0.000014	108645.6			94346
	5750	2930	400	0.000014	94346			
							tot	585859.6
totale impalcato [N]								1162395
totale impalcato [kN]								1162.395

<i>impalcato quota 9300</i>								
cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	350	280	4000	0.000025	9800	0	0	9800
	500	280	3755	0.000025	13142.5	0	0	13142.5
	500	280	6630	0.000025	23205	0	0	23205
	400	280	6460	0.000025	18088	0	0	18088
	350	280	5750	0.000025	14087.5	0	0	14087.5
	400	280	4696.256	0.000025	13149.52	0	0	13149.52
							tot	91472.52
correa	400	280	5750	0.000025	16100	0	0	16100
							tot	16100
solai	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f_{2j} Qk [N]	W [N]		
	3755	4000	49115.4	13818.4	13518	76451.8		
	5750	6460	121464.2	34173.4	33430.5	189068.1		
						tot	265519.9	
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	W [N]		
	3755	2090	400	0.000014	43948.52	43948.52		
	4696.256	2090	500	0.000021	103059.3	103059.3		
	6630	2090	650	0.000014	126096	126096		
	6460	2090	410	0.000014	77498.04	77498.04		
	5750	2090	400	0.000014	67298	67298		
	4000	2090	1000	0.000014	117040	117040		
						tot	417899.9	
totale impalcato [N]								790992.2
totale impalcato [kN]								790.9922

<i>impalcato quota 10485</i>								
cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	400	300	6810	0.000025	20430	0	0	20430
	400	300	3490	0.000025	10470	0	0	10470
	400	300	3490	0.000025	10470	0	0	10470
	400	300	4490	0.000025	13470	0	0	13470
	400	300	4490	0.000025	13470	0	0	13470
	500	300	6810	0.000025	25537.5	0	0	25537.5
	400	300	5800	0.000025	17400	0	0	17400
	300	300	5800	0.000025	13050	0	0	13050
	500	300	6810	0.000025	25537.5	0	0	25537.5
	500	300	8605	0.000025	32268.75	0	0	32268.75
	400	300	5800	0.000025	17400	0	0	17400
	500	300	8605	0.000025	32268.75	0	0	32268.75
	560	300	6335	0.000025	26607	0	0	26607
	550	300	5540	0.000025	22852.5	0	0	22852.5
	550	300	3100	0.000025	12787.5	0	0	12787.5
	400	300	6335	0.000025	19005	0	0	19005

550	300	6775	0.000025	27946.88	0	0	27946.88
600	300	15415	0.000025	69367.5	0	0	69367.5
560	300	4740	0.000025	19908	0	0	19908
520	300	4740	0.000025	18486	0	0	18486

tot	448732.9
	W [N]

solaio	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]
6810	7980	29345.65	226613.6	0	
6810	5800	21328.92	164706.7	0	
8605	5800	26950.86	208120.5	0	
5540	6335	18951.79	146349.9	0	
3100	6335	10604.79	81892.55	0	
6775	6335	23176.6	178974.8	0	
15415	4740	39456.23	304689.8	0	

tot	1137017
	W [N]

muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]
6810	1542.5	500	0.000018	94539.83	
3490	1542.5	530	0.000014	39944.27	
3490	1542.5	430	0.000018	41666.94	
4490	1542.5	530	0.000014	51389.62	
6810	1542.5	400	0.000018	75631.86	
4490	1542.5	430	0.000018	53605.89	
5800	1542.5	530	0.000014	66383.03	
5800	1542.5	300	0.000018	48311.1	
6810	1542.5	500	0.000018	94539.83	
8605	1542.5	400	0.000018	95567.13	
5800	1542.5	510	0.000021	95817.02	
2000	1542.5	500	0.000018	27765	
6335	1542.5	630	0.000014	86186.72	
5540	1542.5	550	0.000021	98699.95	
6335	1542.5	400	0.000018	70356.51	
3100	1542.5	550	0.000021	55229.21	
6335	1542.5	400	0.000018	70356.51	
6775	1542.5	550	0.000014	80468.37	
6335	1542.5	510	0.000021	104655.3	
4740	1542.5	630	0.000014	64486.99	
4740	1542.5	550	0.000021	84447.25	
15415	1542.5	600	0.000014	199732.2	

tot	1699780
-----	---------

totale impalcato [N]	3285530
totale impalcato [kN]	3285.53

<i>impalcato quota 10950</i>								
cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	600	300	15415	0.000025	69367.5	0	0	69367.5
	630	300	6870	0.000025	32460.75	0	0	32460.75
	550	300	8515	0.000025	35124.38	0	0	35124.38
	300	400	15415	0.000025	46245	0	0	46245
	570	300	8155	0.000025	34862.63	0	0	34862.63
	650	300	8515	0.000025	41510.63	0	0	41510.63
	300	400	8155	0.000025	24465	0	0	24465
	570	300	9095	0.000025	38881.13	0	0	38881.13
	420	300	8515	0.000025	26822.25	0	0	26822.25
	300	400	9095	0.000025	27285	0	0	27285
	570	300	8505	0.000025	36358.88	0	0	36358.88
	510	300	8515	0.000025	32569.88	0	0	32569.88
	300	400	4505	0.000025	13515	0	0	13515

tot	459468
	W [N]

solai	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]	W [N]
	15415	6870	57186.57	441607.4	0	498793.9
	9095	8515	41819.72	322941.2	0	364760.9
	6505	8515	29910.64	230976.6	0	260887.3

tot	1124442
	W [N]

muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	W [N]
	6870	1425	630	0.000014	86345.6	86345.6
	6870	4040	550	0.000014	213712	213712
	15415	1425	650	0.000021	299841	299841
	8155	4040	570	0.000014	262910.7	262910.7
	8515	4040	650	0.000014	313045.5	313045.5
	8155	4040	650	0.000021	449715.6	449715.6
	9095	3727.5	570	0.000014	270534.9	270534.9
	8515	3727.5	420	0.000021	279943.8	279943.8
	9095	3727.5	650	0.000021	462757	462757
	8505	3727.5	570	0.000014	252985.1	252985.1
	4505	3727.5	650	0.000021	229216.1	229216.1
	8515	3727.5	650	0.000014	288830.9	288830.9

tot	3409838
-----	---------

totale impalcato [N]	4993748
totale impalcato [kN]	4993.748

<i>impalcato quota 10950</i>								
cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	350	300	4000	0.000025	10500	0	0	10500
	510	300	3755	0.000025	14362.88	0	0	14362.88
	510	300	6630	0.000025	25359.75	0	0	25359.75
	400	300	6460	0.000025	19380	0	0	19380

	510	300	5750	0.000025	21993.75	0	0	21993.75
	400	280	4696.256	0.000025	13149.52	0	0	13149.52
							tot	104745.9
correa	400	280	5750	0.000025	16100	0	0	16100
							tot	16100
solaio	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]			W [N]
	3755	4000	8110.8	62633.4	0			70744.2
	5750	6460	20058.3	154894.7	0			174953
							tot	245697.2
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]			W [N]
	3755	825	400	0.000014	17348.1			17348.1
	4696.256	825	500	0.000021	40681.32			40681.32
	6630	825	650	0.000014	49774.73			49774.73
	6460	825	410	0.000014	30591.33			30591.33
	5750	825	400	0.000014	26565			26565
	4000	825	1000	0.000014	46200			46200
							tot	164960.5
totale impalcato [N]								531503.5
totale impalcato [kN]								531.5035

impalcato quota 16180								
cordolo	b [mm]	h [mm]	l [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]	G2 [N]	Qk [N]	W [N]
	570	300	8155	0.000025	34862.63	0	0	34862.63
	650	300	8515	0.000025	41510.63	0	0	41510.63
	550	300	8515	0.000025	35124.38	0	0	35124.38
	300	400	6460	0.000025	19380	0	0	19380
							tot	130877.6
solaio	largh [mm]	lungh [mm]	G1 [N]	G2 [N]	f2j Qk [N]			W [N]
	8155	8515	37497.51	289564.1	0			327061.6
							tot	327061.6
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	G1 [N]			W [N]
	8155	2615	570	0.000014	170176.1			170176.1
	8515	2615	650	0.000014	202627.2			202627.2
	8515	2615	550	0.000014	171453.8			171453.8
	8155	2615	650	0.000021	291090.7			291090.7
							tot	835347.8
totale impalcato [N]								1293287
totale impalcato [kN]								1293.287

Forze di piano

La risultante dell'azione sismica sull'intero edificio vale:

$$F_{TOT} = \lambda \frac{S_d(T)}{g} W_{TOT}$$

<i>Risultante dell'azione sismica</i>	Fh =	21160320	N
		21160.32	kN
	T1 =	0.40337	s
	Se [g] =	0.565	
	I =	0.85	

La forza F_i al generico impalcato pensata agente nel centro di massa del volume associato all'impalcato stesso e su esso proiettato è ottenuta come:

$$F_i = \frac{z_i W_i}{\sum_i z_i W_i} F_{TOT}$$

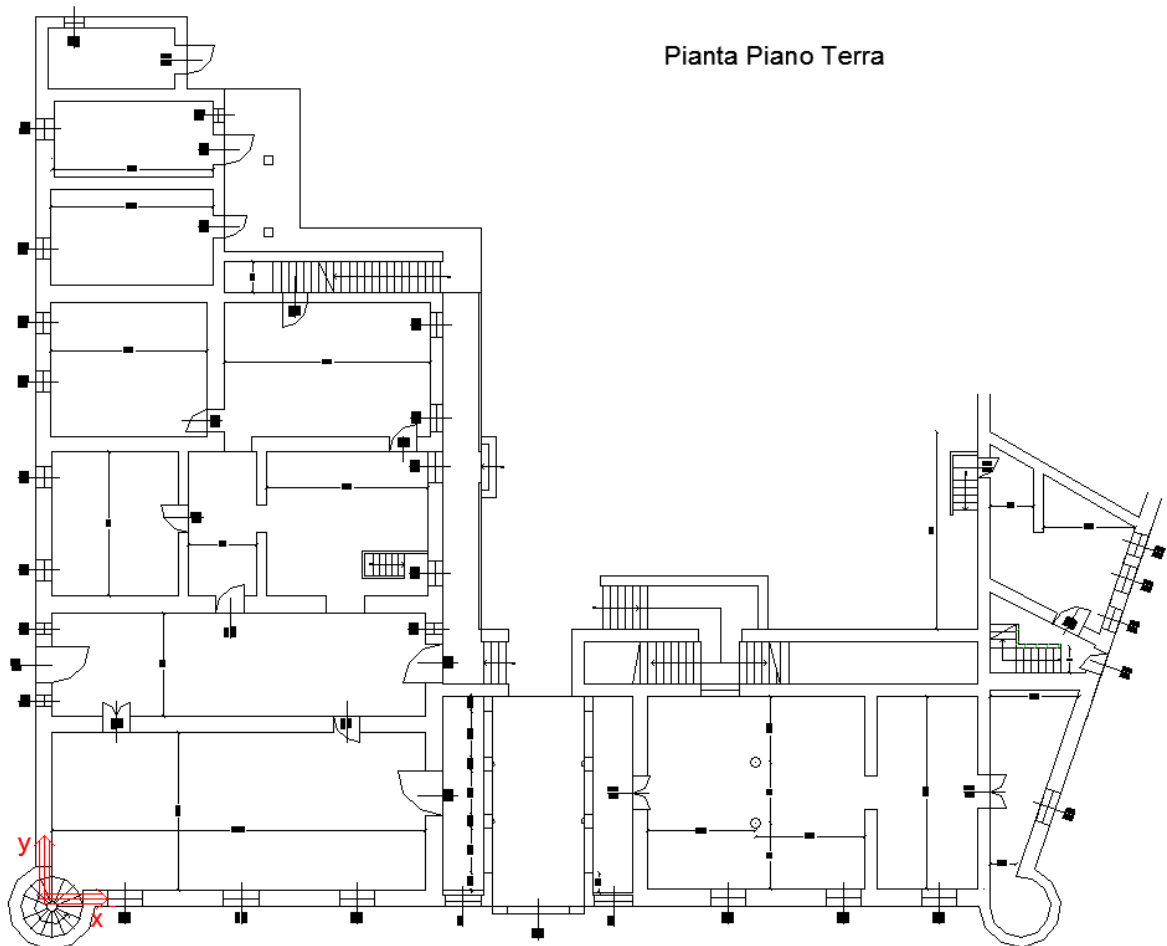
essendo W_i il peso sismico del generico impalcato, e z_i la quota dell'impalcato rispetto allo spiccatto delle fondazioni.

zi [mm]	Wi [N]	zi Wi [mm N]	Fi [N]
3550	6800806	2.41E+10	1766075
3620	5137694	1.86E+10	1360496
3495	7554172	2.64E+10	1931321
3440	1539419	5.3E+09	387378.6
6770	342004	2.32E+09	169371.5
7400	6693456	4.95E+10	3623285
8100	3936044	3.19E+10	2332198
6770	1162395	7.87E+09	575655.9
9300	790992.2	7.36E+09	538115.6
10485	3285530	3.44E+10	2519964
10950	4993748	5.47E+10	4000011
10950	531503.5	5.82E+09	425736.3
16180	1293287	2.09E+10	1530713
	tot	2.89E+11	21160320

9.6 Centro di massa, centro di rigidezza e masse rotazionali

Si determina ora il centro di massa dei vari impalcati per poi applicare nelle successive analisi le masse sismiche.

Si riporta di seguito la posizione del sistema di riferimento assunto per le coordinate del centro di massa e del centro di rigidezza.



Si procede attraverso l'espressione:

$$X_G = \frac{\sum_i W_i X_i}{\sum_i W_i}$$

$$Y_G = \frac{\sum_i W_i Y_i}{\sum_i W_i}$$

In cui W_i rappresenta il peso sismico associato a ciascuna parte della costruzione nell'ambito dei volumi di impalcato.

<i>impalcato quota 3550</i>				
cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	3385	34600	64166060	6.56E+08
	0	33162.5	0	2.67E+08
	6770	33162.5	54498500	2.67E+08
	3405	31725	64926540	6.05E+08
	0	29980	0	4.25E+08
	6810	29980	66547320	2.93E+08
	3405	28235	1.3E+08	1.08E+09
	0	25990	0	4.74E+08
	6810	25990	85615320	3.27E+08
	3405	23745	1.56E+08	1.09E+09
	0	20845	0	4.91E+08
	6810	20845	1.8E+08	5.5E+08
	3405	17945	1.3E+08	6.84E+08
	11112.5	23745	2.68E+08	5.72E+08
	15415	20845	2.5E+08	3.39E+08
	11112.5	17945	6.69E+08	1.08E+09
	0	14777.5	0	4.13E+08
	5540	14777.5	2.46E+08	6.55E+08
	2770	11610	42968240	1.8E+08
	8640	14777.5	3.83E+08	6.55E+08
	7090	11610	61541200	1.01E+08
	15415	14777.5	2.73E+08	2.62E+08
	12027.5	11610	2.28E+08	2.2E+08

correa	6770	24835	2.61E+08	9.58E+08
--------	------	-------	----------	----------

solaio				
	3385	33162.5	3.35E+08	3.29E+09
	3405	29980	4.12E+08	3.63E+09
	3405	25990	5.3E+08	4.04E+09
	3405	20845	6.85E+08	4.19E+09
	11112.5	20845	2.82E+09	5.3E+09
	2770	14777.5	4.95E+08	2.64E+09
	7090	14777.5	7.09E+08	1.48E+09
	12027.5	14777.5	2.63E+09	3.23E+09

muri				
	3385	34600	6.66E+08	6.81E+09
	0	33162.5	0	2.96E+09
	6770	33162.5	6.04E+08	2.96E+09
	3405	31725	8.15E+08	7.59E+09
	0	29980	0	3.6E+09
	6810	29980	7.51E+08	3.31E+09
	3405	28235	2.79E+08	2.32E+09

0	25990	0	3.64E+09
6810	25990	2.17E+09	8.3E+09
3405	23745	3.73E+08	2.6E+09
0	20845	0	4.45E+09
6810	20845	1.67E+09	5.1E+09
3405	17945	9.77E+08	5.15E+09
11112.5	23745	2.56E+09	5.48E+09
15415	20845	3.05E+09	4.13E+09
11112.5	17945	4.03E+09	6.5E+09
0	14777.5	0	4.14E+09
5540	14777.5	1.86E+09	4.95E+09
2770	11610	6.34E+08	2.66E+09
8640	14777.5	1.62E+09	2.77E+09
7090	11610	1.26E+09	2.07E+09
15415	14777.5	4.91E+09	4.71E+09
12027.5	11610	3.78E+09	3.65E+09

tot	4.42E+10	1.4E+11
-----	----------	---------

Xg =	6506.523
Yg =	20626.9

<i>impalcato quota 3620</i>				
cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	7707.5	11610	3.33E+08	5.01E+08
	0	9240	0	1.93E+08
	15415	9240	2.05E+08	1.23E+08
	7707.5	6870	6.65E+08	5.93E+08
	0	3435	0	1.04E+08
	15415	3435	2.97E+08	66075660
	7707.5	0	8.02E+08	0

correa	7090	5805	1.15E+09	9.44E+08
--------	------	------	----------	----------

solai				
	7707.5	9240	4.34E+09	5.21E+09
	7707.5	3435	6.29E+09	2.8E+09

muri				
	0	9240	0	1.95E+09
	15415	9240	3.62E+09	2.17E+09
	7707.5	6870	7.28E+09	6.49E+09
	0	3435	0	1.16E+09
	15415	3435	5.79E+09	1.29E+09

7707.5 0 9.05E+09 0

tot	3.98E+10	2.36E+10
-----	----------	----------

Xg =	7751.473
Yg =	4591.985

<i>impalcato quota 3495</i>				
cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	19492.5	8515	4.45E+08	1.94E+08
	15415	4257.5	3.68E+08	1.02E+08
	19492.5	0	1.07E+09	0
	23570	4257.5	8.43E+08	1.52E+08
	28117.5	8515	6.27E+08	1.9E+08
	28117.5	4257.5	8.38E+08	1.27E+08
	28117.5	0	1.73E+09	0
	32665	4257.5	1.56E+09	2.03E+08
	34917.5	8515	3.85E+08	93982184
	37170	4257.5	1.77E+09	2.03E+08
	34917.5	0	1.06E+09	0
	39170	8515	3.84E+08	83447000
	39875	4257.5	8.32E+08	88818901

correa	19492.5	4257.5	1.39E+09	3.05E+08
--------	---------	--------	----------	----------

solaio	19492.5	4257.5	1.04E+10	2.28E+09
	28117.5	4257.5	1.68E+10	2.54E+09
	34917.5	4257.5	1.03E+10	1.26E+09
	38580	4257.5	6.85E+09	7.56E+08
	19492.5	9470	2.34E+09	1.14E+09
	32652.5	9470	4.34E+09	1.26E+09

muri	16415	8515	1.62E+09	8.42E+08
	22570	8515	2.23E+09	8.42E+08
	16415	0	2.78E+09	0
	22570	0	3.82E+09	0
	23570	4257.5	9.75E+09	1.76E+09
	28117.5	8515	1.39E+10	4.22E+09
	32665	4257.5	1.69E+10	2.2E+09
	28117.5	0	2.38E+10	0
	34917.5	8515	1.13E+10	2.76E+09
	37170	4257.5	1.8E+10	2.06E+09

34917.5	0	1.94E+10	0
39170	8515	1.46E+10	3.18E+09
38580	4257.5	2.7E+10	2.98E+09

tot	2.3E+11	3.18E+10
-----	---------	----------

Xg =	30224.22
Yg =	4190.259

<i>impalcato quota 3440</i>				
cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	39170	8515	3.84E+08	83447000
	37170	10392.5	4.89E+08	1.37E+08
	42400.87	11891.57	9.84E+08	2.76E+08
	40400.87	16644.07	7.31E+08	3.01E+08
	37170	15145	5.24E+08	2.13E+08
	39170	10392.5	5.15E+08	1.37E+08

correa	39170	14186.67	6.31E+08	2.28E+08
--------	-------	----------	----------	----------

solaio	39170	10392.5	5.29E+09	1.4E+09
	40400	15145	1.35E+10	5.06E+09

muri	37170	10392.5	4.24E+09	1.19E+09
	39170	10392.5	7.99E+09	2.12E+09
	42400.87	11891.57	1.23E+10	3.46E+09
	40400.87	16644.07	7.23E+09	2.98E+09
	37170	15145	6.5E+09	2.65E+09

tot	6.13E+10	2.02E+10
-----	----------	----------

Xg =	39843.24
Yg =	13140.33

<i>impalcato quota 6770</i>				
cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	3385	34600	64166060	6.56E+08
	0	33162.5	0	2.67E+08
	6770	33162.5	54498500	2.67E+08
	3385	31725	64166060	6.01E+08

soffitto

3385 33162.5 3.1E+08 3.04E+09

muri

3385 34600 3.49E+08 3.56E+09
0 33162.5 0 1.55E+09
6770 33162.5 3.16E+08 1.55E+09

tot	1.16E+09	1.15E+10
-----	----------	----------

Xg =	3385
Yg =	33595.44

<i>impalcato quota 7400</i>				
cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	3405	31725	64926540	6.05E+08
	0	29980	0	4.25E+08
	6810	29980	66547320	2.93E+08
	0	25990	0	4.74E+08
	6810	25990	85615320	3.27E+08
	3405	23745	1.56E+08	1.09E+09
	0	20845	0	4.91E+08
	6810	20845	1.8E+08	5.5E+08
	3405	17945	1.3E+08	6.84E+08
	11112.5	23745	2.68E+08	5.72E+08
	15415	20845	2.5E+08	3.39E+08
	11112.5	17945	6.69E+08	1.08E+09
	0	14777.5	0	4.13E+08
	5540	14777.5	2.46E+08	6.55E+08
	2770	11610	42968240	1.8E+08
	8640	14777.5	3.83E+08	6.55E+08
	7090	11610	61541200	1.01E+08
	15415	14777.5	2.73E+08	2.62E+08
	12027.5	11610	2.28E+08	2.2E+08
	7707.5	6870	3.33E+08	2.97E+08
	0	9240	0	1.93E+08
	15415	9240	2.05E+08	1.23E+08

correa

7707.5 9240 5.11E+08 6.13E+08

soffitto

3405 27735 1.33E+09 1.08E+10

3405	20845	9.67E+08	5.92E+09
11112.5	20845	3.99E+09	7.48E+09
2770	14777.5	6.99E+08	3.73E+09
7090	14777.5	1E+09	2.09E+09
12027.5	14777.5	3.71E+09	4.56E+09
7707.5	9240	4.05E+09	4.85E+09

muri

3405	31725	8.44E+08	7.87E+09
0	29980	0	2.79E+09
6810	29980	6.38E+08	2.81E+09
0	25990	0	3.12E+09
3405	23745	9.41E+08	6.56E+09
6810	25990	8.21E+08	3.13E+09
0	20845	0	3.23E+09
6810	20845	9.86E+08	3.02E+09
3405	17945	8.68E+08	4.58E+09
11112.5	23745	2.79E+09	5.95E+09
15415	20845	3.32E+09	4.49E+09
7810	17945	5.85E+08	1.34E+09
0	14777.5	0	2.86E+09
2770	11610	6.93E+08	2.9E+09
5540	14777.5	1.02E+09	2.73E+09
7090	11610	9.92E+08	1.62E+09
8640	14777.5	1.59E+09	2.73E+09
12027.5	11610	2.45E+09	2.37E+09
15415	14777.5	3.63E+09	3.48E+09
0	9240	0	1.99E+09
15415	9240	3.42E+09	2.05E+09
7707.5	6870	3.48E+09	3.1E+09

tot	4.55E+10	1.22E+11
-----	----------	----------

Xg =	6796.507
Yg =	18184.92

<i>impalcato quota 8100</i>				
cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	7707.5	6870	3.33E+08	2.97E+08
	0	3435	0	1.04E+08
	15415	3435	2.97E+08	66075660
	7707.5	0	8.02E+08	0
	15415	4257.5	3.68E+08	1.02E+08
	19492.5	8515	6.34E+08	2.77E+08

19492.5 0 1.07E+09 0
 23570 4257.5 8.43E+08 1.52E+08

correa 19492.5 4257.5 1.39E+09 3.05E+08

solaio
 7707.5 3435 6.29E+09 2.8E+09
 19492.5 4257.5 1.04E+10 2.28E+09

muri
 0 3435 0 7.63E+08
 15415 3435 3.53E+09 7.87E+08
 7707.5 0 5.94E+09 0
 19492.5 8515 4.73E+09 2.07E+09
 23570 4257.5 6.81E+09 1.23E+09
 19492.5 0 8.09E+09 0

tot	4.35E+10	1.12E+10
-----	----------	----------

Xg =	11047.65
Yg =	2853.414

impalcato quota 6770

cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	39170	8515	3.84E+08	83447000
	37170	10392.5	4.89E+08	1.37E+08
	42400.87	11891.57	9.84E+08	2.76E+08
	40400.87	16644.07	7.31E+08	3.01E+08
	37170	15145	5.24E+08	2.13E+08
	39170	10392.5	5.15E+08	1.37E+08

correa 39170 14186.67 6.31E+08 2.28E+08

solaio
 39170 10392.5 5.29E+09 1.4E+09
 40400 15145 1.35E+10 5.06E+09

muri
 37170 10392.5 2.29E+09 6.4E+08
 39170 10392.5 5.66E+09 1.5E+09
 42400.87 11891.57 7.5E+09 2.1E+09
 40400.87 16644.07 4.39E+09 1.81E+09
 37170 15145 3.51E+09 1.43E+09

tot	4.64E+10	1.53E+10
-----	----------	----------

Xg =	39898.21
Yg =	13177.36

impalcato quota 9300

cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	39170	8515	3.84E+08	83447000
	37170	10392.5	4.89E+08	1.37E+08
	42400.87	11891.57	9.84E+08	2.76E+08
	40400.87	16644.07	7.31E+08	3.01E+08
	37170	15145	5.24E+08	2.13E+08
	39170	10392.5	5.15E+08	1.37E+08

correa	39170	14186.67	6.31E+08	2.28E+08
--------	-------	----------	----------	----------

solai	39170	10392.5	2.99E+09	7.95E+08
	40400	15145	7.64E+09	2.86E+09

muri	37170	10392.5	1.63E+09	4.57E+08
	39170	10392.5	4.04E+09	1.07E+09
	42400.87	11891.57	5.35E+09	1.5E+09
	40400.87	16644.07	3.13E+09	1.29E+09
	37170	15145	2.5E+09	1.02E+09
	39170	8515	4.58E+09	9.97E+08

tot	3.61E+10	1.14E+10
-----	----------	----------

Xg =	45668.27
Yg =	14369.77

impalcato quota 10485

cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	3405	31725	69564150	6.48E+08
	0	29980	0	3.14E+08
	6810	29980	71300700	3.14E+08
	0	25990	0	3.5E+08
	6810	25990	91730700	3.5E+08
	3405	23745	86955188	6.06E+08
	0	20845	0	3.63E+08

5540	20845	72297000	2.72E+08
3405	17945	86955188	4.58E+08
11112.5	23745	3.59E+08	7.66E+08
15415	20845	2.68E+08	3.63E+08
11112.5	17945	3.59E+08	5.79E+08
0	14777.5	0	3.93E+08
2770	11610	63301425	2.65E+08
7090	11610	90663375	1.48E+08
15415	14777.5	2.93E+08	2.81E+08
12027.5	11610	3.36E+08	3.24E+08
7707.5	6870	5.35E+08	4.77E+08
0	9240	0	1.84E+08
15415	9240	2.85E+08	1.71E+08

solai0

3405	27735	8.72E+08	7.1E+09
3405	20845	6.33E+08	3.88E+09
11112.5	20845	2.61E+09	4.9E+09
2770	14777.5	4.58E+08	2.44E+09
7090	14777.5	6.56E+08	1.37E+09
12027.5	14777.5	2.43E+09	2.99E+09
7707.5	9240	2.65E+09	3.18E+09

muri

3405	31725	3.22E+08	3E+09
0	29980	0	1.2E+09
6810	29980	2.84E+08	1.25E+09
0	25990	0	1.34E+09
3405	23745	2.58E+08	1.8E+09
6810	25990	3.65E+08	1.39E+09
0	20845	0	1.38E+09
5540	20845	2.68E+08	1.01E+09
3405	17945	3.22E+08	1.7E+09
11112.5	23745	1.06E+09	2.27E+09
15415	20845	1.48E+09	2E+09
7810	17945	2.17E+08	4.98E+08
0	14777.5	0	1.27E+09
2770	11610	2.73E+08	1.15E+09
5540	14777.5	3.9E+08	1.04E+09
7090	11610	3.92E+08	6.41E+08
8640	14777.5	6.08E+08	1.04E+09
12027.5	11610	9.68E+08	9.34E+08
15415	11610	1.61E+09	1.22E+09
0	9240	0	5.96E+08
15415	9240	1.3E+09	7.8E+08
7707.5	6870	1.54E+09	1.37E+09

tot	2.5E+10	6.23E+10
-----	---------	----------

Xg =	7621.365
Yg =	18974.54

<i>impalcato quota 10950</i>				
cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	7707.5	6870	5.35E+08	4.77E+08
	0	3435	0	1.12E+08
	15415	3435	5.41E+08	1.21E+08
	7707.5	0	3.56E+08	0
	19492.5	8515	6.8E+08	2.97E+08
	23570	4257.5	9.78E+08	1.77E+08
	19492.5	0	4.77E+08	0
	28117.5	8515	1.09E+09	3.31E+08
	32665	4257.5	8.76E+08	1.14E+08
	28117.5	0	7.67E+08	0
	36917.5	8515	1.34E+09	3.1E+08
	38580	4257.5	1.26E+09	1.39E+08
	34917.5	0	4.72E+08	0

solai

	7707.5	3435	3.84E+09	1.71E+09
	28117.5	4257.5	1.03E+10	1.55E+09
	39170	4257.5	1.02E+10	1.11E+09

muri

	0	3435	0	2.97E+08
	15415	3435	3.29E+09	7.34E+08
	7707.5	0	2.31E+09	0
	19492.5	8515	5.12E+09	2.24E+09
	23570	4257.5	7.38E+09	1.33E+09
	19492.5	0	8.77E+09	0
	28117.5	8515	7.61E+09	2.3E+09
	32665	4257.5	9.14E+09	1.19E+09
	28117.5	0	1.3E+10	0
	36917.5	8515	9.34E+09	2.15E+09
	34917.5	0	8E+09	0
	38580	4257.5	1.11E+10	1.23E+09

tot	1.19E+11	1.79E+10
-----	----------	----------

Xg =	23793.36
Yg =	3591.367

<i>impalcato quota 10950</i>				
cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	39170	8515	4.11E+08	89407500
	37170	10392.5	5.34E+08	1.49E+08
	42400.87	11891.57	1.08E+09	3.02E+08
	40400.87	16644.07	7.83E+08	3.23E+08
	37170	15145	8.18E+08	3.33E+08
	39170	10392.5	5.15E+08	1.37E+08

correa	39170	14186.67	6.31E+08	2.28E+08
--------	-------	----------	----------	----------

soffitto	39170	10392.5	2.77E+09	7.35E+08
	40400	15145	7.07E+09	2.65E+09

muri	37170	10392.5	6.45E+08	1.8E+08
	39170	10392.5	1.59E+09	4.23E+08
	42400.87	11891.57	2.11E+09	5.92E+08
	40400.87	16644.07	1.24E+09	5.09E+08
	37170	15145	9.87E+08	4.02E+08
	39170	8515	1.81E+09	3.93E+08

tot	2.3E+10	7.45E+09
-----	---------	----------

Xg =	43250.06
Yg =	14008.72

<i>impalcato quota 16180</i>				
cordolo	Xi	Yi	WiXi	WiYi
	19492.5	8515	6.8E+08	2.97E+08
	23570	4257.5	9.78E+08	1.77E+08
	15415	4257.5	5.41E+08	1.5E+08
	19492.5	0	3.78E+08	0

soffitto	19492.5	4257.5	6.38E+09	1.39E+09
----------	---------	--------	----------	----------

muri	19492.5	8515	3.32E+09	1.45E+09
	23570	4257.5	4.78E+09	8.63E+08
	15415	4257.5	2.64E+09	7.3E+08
	19492.5	0	5.67E+09	0

tot	2.54E+10	5.06E+09
-----	----------	----------

Xg =	19610.92
Yg =	3910.418

Per determinare le sollecitazioni sui singoli pannelli di muro è necessario conoscere qual è l'aliquota di forza assorbita da ogni parete. La distribuzione delle forze tra le pareti è ottenuta in funzione delle rigidità di muro, e dei taglianti di piano.

La normativa impone di calcolare la rigidità di muro tenendo conto del contributo flessionale e di quello a taglio. Il modello utilizzato è Shear-Type.

Tenendo conto della simmetria si è effettuata la determinazione delle coordinate di ogni impalcato rispetto al sistema di riferimento illustrato sopra utilizzando le rigidità di pannello in direzione X e in direzione Y attraverso la seguente relazione:

$$X_R = \frac{\sum K_{yi} X_i}{\sum K_{yi}}$$

$$Y_R = \frac{\sum K_{xi} Y_i}{\sum K_{xi}}$$

essendo X_i e Y_i le distanze lungo X e lungo Y del piano medio del singolo pannello dall'origine del sistema di riferimento.

<i>impalcato quota 3550</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
3046500	51409687500	1.16358E+13	833.33	555.56	10805.61	339791.2	373874223.6	1150193347
1380000	9.50547E+11	26496000000	833.33	555.56	95359.12	5548.073	3162346938	0
1380000	9.50547E+11	26496000000	833.33	555.56	95359.12	5548.073	3162346938	37560452.92
3405000	70937500000	1.31592E+13	833.33	555.56	11571.3	341332.4	367099497.8	1162236763
2198700	2.2317E+12	72722002500	1096.30	548.15	169023.3	15121.56	5067318917	0
3268800	62760960000	1.26328E+13	1096.30	548.15	53858.25	588839.3	1614670329	4009995305
1500700	1.52322E+12	23123285833	1096.30	548.15	115365.1	4964.067	3257334113	16902649.81
2469500	4.14878E+12	62251979167	1096.30	548.15	207625.7	11763.21	5396191839	0
4767000	1.94653E+11	1.84229E+13	1096.30	548.15	22231.61	377430.1	577799660.3	2570299014
1930700	3.24359E+12	29748869167	1096.30	548.15	162325.5	5715.337	3854420046	19460721.53
3190000	8.94263E+12	80414583333	1096.30	548.15	237245.4	9359.255	4945380953	0
3654000	1.02434E+13	1.20856E+11	1096.30	548.15	271753.9	13932.51	5664709091	94880398.54
4086000	1.2258E+11	1.57911E+13	1096.30	548.15	12360.81	303575.7	221814760.8	1033675096
3442000	45893333333	2.12389E+13	1096.30	548.15	5419.88	291080.6	128695053.3	3234632850

2958000	8.29226E+12	64114650000	1096.30	548.15	219991.2	7494.43	4585716883	115526642.6
5163000	1.5489E+11	3.18583E+13	1096.30	548.15	15618.91	411967.5	280281353.4	4577989268
3991050	1.33475E+13	1.32004E+11	1096.30	548.15	288255.2	13265.95	4259690636	0
3711800	1.38852E+11	9.49342E+12	833.33	555.56	10666.12	235462.8	157618659.8	1304463920
2534000	8.47459E+12	33786666667	833.33	555.56	173516.7	2648.425	2014528485	7336136.012
2077000	77697108333	1.66333E+12	833.33	555.56	5968.409	78135.46	88198167.01	675090363.3
2534000	8.47459E+12	33786666667	1096.30	548.15	183019.1	3471.05	2124852327	24609747.45
4539250	1.69806E+11	1.73629E+13	1096.30	548.15	16983.7	336607.9	250976686.9	5188810490
3484250	1.16526E+13	87832135417	833.33	555.56	238585.4	6816.14	2769976667	81981129.19
					2622909	3409871	54325842225	25305644295

Xr =	7421.290886
Yr =	20712.05422

<i>impalcato quota 3620</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
2986200	5.59106E+12	98768565000	1096.30	548.15	183381.8	9725.855	1694448262	0
3318000	6.21229E+12	1.35485E+11	1096.30	548.15	203757.6	13229.63	1882720291	203934711
9403150	2.91576E+11	1.862E+14	833.33	555.56	16428.81	727224	112865916.8	5605078668
4328100	1.70227E+13	1.43152E+11	1096.30	548.15	277914	10517.6	954634465.2	0
4809000	1.89142E+13	1.96368E+11	1096.30	548.15	308793.3	14327.66	1060704961	220860940.8
10019750	3.52779E+11	1.9841E+14	966.67	644.44	22992.05	898896.5	0	6928244780
					1013268	1673921	5705373896	12958119100

Xr =	7741.17627
Yr =	5630.668619

<i>impalcato quota 3495</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
1140000	30865500000	3.8E+11	1096.30	548.15	1671.877	16801.71	14236034.61	275800103.4
1140000	30865500000	3.8E+11	1096.30	548.15	1671.877	16801.71	14236034.61	379214641.1
1300000	45770833333	4.33333E+11	966.67	644.44	2187.168	17783.32	0	291913263.8
1300000	45770833333	4.33333E+11	966.67	644.44	2187.168	17783.32	0	401369623.2
4768400	2.88112E+13	1.24614E+11	1096.30	548.15	287908.7	6754.593	1225771406	159205764
5184150	1.40361E+11	3.57357E+13	1096.30	548.15	5718.86	281172.8	48696089.01	7905877534
4087200	2.46953E+13	78474240000	1096.30	548.15	140975.8	1396.097	600204612.4	45603508.95
5911750	2.08143E+11	4.07512E+13	966.67	644.44	7480.842	354519	0	9968188596
2567850	69524538750	4.34288E+12	1096.30	548.15	1233.464	48667.35	10502945.32	1699342265
3831750	2.31518E+13	64660781250	1096.30	548.15	132164.8	1151.289	562691824.1	42793415.61
2928250	1.03099E+11	4.95241E+12	966.67	644.44	1613.216	53988.24	0	1885134376
2960000	1.35075E+11	3.94667E+12	1096.30	548.15	2380.932	48032.59	20273636.97	1881436403
5534750	3.34415E+13	1.94869E+11	1096.30	548.15	190904.8	3447.432	812777079.3	133001945.4
					778099.6	868299.5	3309389662	25068881440

Xr =	28871.23686
Yr =	4253.169808

<i>impalcato quota 3440</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
1689750	1.98546E+12	28514531250	1096.30	548.15	94771.89	3271.226	984916908.6	121591484.1
2348128	48919333333	4.31563E+12	833.33	555.56	4272.421	142019.8	44401134.7	5562915455
4309500	1.5786E+13	1.5173E+11	1096.30	548.15	334230.2	17028.41	3974520403	722019230.2
2648600	37102471667	9.21086E+12	1096.30	548.15	4271.284	203455.1	71091541.03	8219762120
2587500	7.1291E+12	43664062500	1096.30	548.15	189395.5	5009.201	2868395160	186192019.6
					626941.3	370783.7	7943325148	14812480310

Xr =	39949.11139
Yr =	12669.96661

<i>impalcato quota 6770</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
3046500	51409687500	1.16E+13	966.67	644.44	125280.8	985244.7	4.33E+09	3.34E+09
1380000	9.50547E+11	2.65E+10	966.67	644.44	392019	63489.95	1.3E+10	0
1380000	9.50547E+11	2.65E+10	966.67	644.44	392019	63489.95	1.3E+10	4.3E+08
					909318.9	1112225	3.03E+10	3.76E+09

Xr =	3385
Yr =	33360.55

<i>impalcato quota 7400</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
3405000	70937500000	1.32E+13	966.67	644.44	19025.11	460962.7	6.04E+08	1.57E+09
1919500	1.94831E+12	4.84E+10	1096.30	548.15	179170.1	14398.92	5.37E+09	0
1500700	1.52322E+12	2.31E+10	833.33	555.56	129400.6	5396.87	3.88E+09	36752684
2469500	4.14878E+12	6.23E+10	1096.30	548.15	260567.5	18524.68	6.77E+09	0
4426500	1.5585E+11	1.71E+13	833.33	555.56	35157.73	516596.2	8.35E+08	1.76E+09
1930700	3.24359E+12	2.97E+10	833.33	555.56	193623.1	6943.251	5.03E+09	47283540
3190000	8.94263E+12	8.04E+10	1096.30	548.15	365762.8	23929.44	7.62E+09	0
2320000	6.50373E+12	3.09E+10	833.33	555.56	258437.7	7245.983	5.39E+09	49345143
4086000	1.2258E+11	1.58E+13	833.33	555.56	27898.01	476858	5.01E+08	1.62E+09
3442000	45893333333	2.12E+13	966.67	644.44	12470.34	488976.7	2.96E+08	5.43E+09
2958000	8.29226E+12	6.41E+10	966.67	644.44	382229.4	17170.23	7.97E+09	2.65E+08
1200000	36000000000	4E+11	833.33	555.56	8193.248	60008.09	1.47E+08	4.69E+08
3991050	1.33475E+13	1.32E+11	1096.30	548.15	467411.6	38595.35	6.91E+09	0
3434800	1.10028E+11	8.78E+12	966.67	644.44	28947.59	436887.8	3.36E+08	1.21E+09

2534000	8.47459E+12	3.38E+10	966.67	644.44	336457.8	9180.66	4.97E+09	50860857
1922000	61568066667	1.54E+12	966.67	644.44	16198.11	175610.3	1.88E+08	1.25E+09
2534000	8.47459E+12	3.38E+10	966.67	644.44	336457.8	9180.66	4.97E+09	79320904
4200500	1.34556E+11	1.61E+13	1096.30	548.15	39432.68	498899.4	4.58E+08	6E+09
3230850	1.08051E+13	7E+10	966.67	644.44	428983.7	18754.03	6.34E+09	2.89E+08
2986200	5.59106E+12	9.88E+10	966.67	644.44	361804.4	26710.29	3.34E+09	0
3081000	5.76856E+12	1.08E+11	966.67	644.44	373290.2	29227.96	3.45E+09	4.51E+08
9403150	2.91576E+11	1.86E+14	1096.30	548.15	88165.6	1226023	6.06E+08	9.45E+09
					4349085	4566080	7.6E+10	3E+10

Xr =	6576.304
Yr =	17471.94

<i>impalcato quota 8100</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
4328100	1.70227E+13	1.43E+11	1096.30	548.15	482249.4	35721.44	1.66E+09	0
4465500	1.75631E+13	1.57E+11	1096.30	548.15	497558.9	39065.77	1.71E+09	6.02E+08
10019750	3.52779E+11	1.98E+14	966.67	644.44	78672.07	1423502	0	1.1E+10
4648350	1.25854E+11	2.58E+13	1096.30	548.15	30269.82	524019.9	2.58E+08	1.02E+10
5534750	3.34415E+13	1.95E+11	1096.30	548.15	628109.2	46132.63	2.67E+09	1.09E+09
5300750	1.86631E+11	2.94E+13	966.67	644.44	39631.87	684278.7	0	1.33E+10
					1756491	2752721	6.3E+09	3.62E+10

Xr =	13155.69
Yr =	3585.309

<i>impalcato quota 6770</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
1502000	1.76485E+12	2E+10	1096.30	548.15	186779.3	10025.62	1.94E+09	3.73E+08
2348128	48919333333	4.32E+12	966.67	644.44	21436.19	353862.9	2.23E+08	1.39E+10
4309500	1.5786E+13	1.52E+11	1096.30	548.15	621296.9	70972.88	7.39E+09	3.01E+09
2648600	37102471667	9.21E+12	1096.30	548.15	18533.82	380320.3	3.08E+08	1.54E+10
2300000	6.33698E+12	3.07E+10	1096.30	548.15	323565.8	15352.14	4.9E+09	5.71E+08
					1171612	830533.8	1.48E+10	3.32E+10

Xr =	39948.62
Yr =	12598.84

<i>impalcato quota 9300</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
1502000	1.76485E+12	2E+10	1096.30	548.15	290747.1	26526.87	3.02E+09	9.86E+08
2348128	48919333333	4.32E+12	966.67	644.44	56352.92	543556.2	5.86E+08	2.13E+10

4309500	1.5786E+13	1.52E+11	1096.30	548.15	904435.5	177453.1	1.08E+10	7.52E+09
2648600	37102471667	9.21E+12	1096.30	548.15	48944.87	554686.1	8.15E+08	2.24E+10
2300000	6.33698E+12	3.07E+10	1096.30	548.15	476459.3	40620.37	7.22E+09	1.51E+09
4000000	3.33333E+11	5.33E+12	1096.30	548.15	310009.4	784949.4	2.64E+09	3.07E+10
					2086949	2127792	2.5E+10	8.45E+10

Xr =	39697.2
Yr =	11994.9

<i>impalcato quota 10485</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
3405000	70937500000	1.32E+13	833.33	555.56	162543.93	993648.6	5.16E+09	3.38E+09
1849700	1.87746E+12	4.33E+10	1096.30	548.15	506534.68	120938	1.52E+10	0
1500700	1.52322E+12	2.31E+10	833.33	555.56	406321.44	55273.18	1.22E+10	3.76E+08
2379700	3.99792E+12	5.57E+10	1096.30	548.15	671685.1	155590.7	1.75E+10	0
2724000	36320000000	1.05E+13	833.33	555.56	88277.044	794918.9	2.1E+09	2.71E+09
1930700	3.24359E+12	2.97E+10	833.33	555.56	543819.93	71110.77	1.41E+10	4.84E+08
3074000	8.61745E+12	7.2E+10	1096.30	548.15	884263.33	200985.7	1.84E+10	0
1740000	4.8778E+12	1.31E+10	833.33	555.56	502495.38	33291.11	1.05E+10	1.84E+08
3405000	70937500000	1.32E+13	833.33	555.56	162543.93	993648.6	2.92E+09	3.38E+09
3442000	45893333333	2.12E+13	833.33	555.56	111545.37	1014957	2.65E+09	1.13E+10
2958000	8.29226E+12	6.41E+10	966.67	644.44	990920.88	169327.9	2.07E+10	2.61E+09
1000000	20833333333	3.33E+11	833.33	555.56	47736.836	225589.8	8.57E+08	1.76E+09
3991050	1.33475E+13	1.32E+11	1096.30	548.15	1153402.2	337896.3	1.7E+10	0
3047000	76809791667	7.79E+12	966.67	644.44	197560.82	1017042	2.29E+09	2.82E+09
2534000	8.47459E+12	3.38E+10	833.33	555.56	736298.36	82119.69	1.09E+10	4.55E+08
1705000	42980208333	1.37E+12	966.67	644.44	110548.47	521835.6	1.28E+09	3.7E+09
2534000	8.47459E+12	3.38E+10	833.33	555.56	736298.36	82119.69	1.09E+10	7.1E+08
3726250	93932552083	1.43E+13	1096.30	548.15	257985.74	1080148	3E+09	1.3E+10
3230850	1.08051E+13	7E+10	966.67	644.44	1088985.3	184946.9	1.26E+10	2.85E+09
2986200	5.59106E+12	9.88E+10	1096.30	548.15	846950.5	252822.2	7.83E+09	0
2607000	4.88109E+12	6.57E+10	966.67	644.44	857220.64	169032.2	7.92E+09	2.61E+09
9249000	2.7747E+11	1.83E+14	1096.30	548.15	729645.81	2727584	5.01E+09	2.1E+10
					11793584	11284827	2.01E+11	7.33E+10

Xr =	6497.371
Yr =	17041.17

<i>impalcato quota 10950</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
4328100	1.70227E+13	1.43E+11	1096.30	548.15	1362958.2	443007.7	4.68E+09	0
3778500	1.48611E+13	9.52E+10	1096.30	548.15	373416.97	18194	1.28E+09	2.8E+08
10019750	3.52779E+11	1.98E+14	966.67	644.44	1028883.5	3758281	0	2.9E+10

4648350	1.25854E+11	2.58E+13	1096.30	548.15	23964.284	476815.5	2.04E+08	9.29E+09
5534750	3.34415E+13	1.95E+11	1096.30	548.15	572133.27	36604.33	2.44E+09	8.63E+08
5300750	1.86631E+11	2.94E+13	966.67	644.44	31370.263	620082.7	0	1.21E+10
5184150	1.40361E+11	3.57E+13	1096.30	548.15	33758.922	593742.4	2.87E+08	1.67E+10
3576300	2.16084E+13	5.26E+10	966.67	644.44	465676.3	11511.8	1.98E+09	3.76E+08
5911750	2.08143E+11	4.08E+13	966.67	644.44	44200.101	779034.8	0	2.19E+10
4847850	1.31256E+11	2.92E+13	1096.30	548.15	31568.953	550060.8	2.69E+08	2.03E+10
2928250	1.03099E+11	4.95E+12	966.67	644.44	21893.508	305638.7	0	1.07E+10
5534750	3.34415E+13	1.95E+11	1096.30	548.15	628109.15	46132.63	2.67E+09	1.78E+09
					4617933.4	7639107	1.38E+10	1.23E+11

Xr =	16130.86
Yr =	2992.122

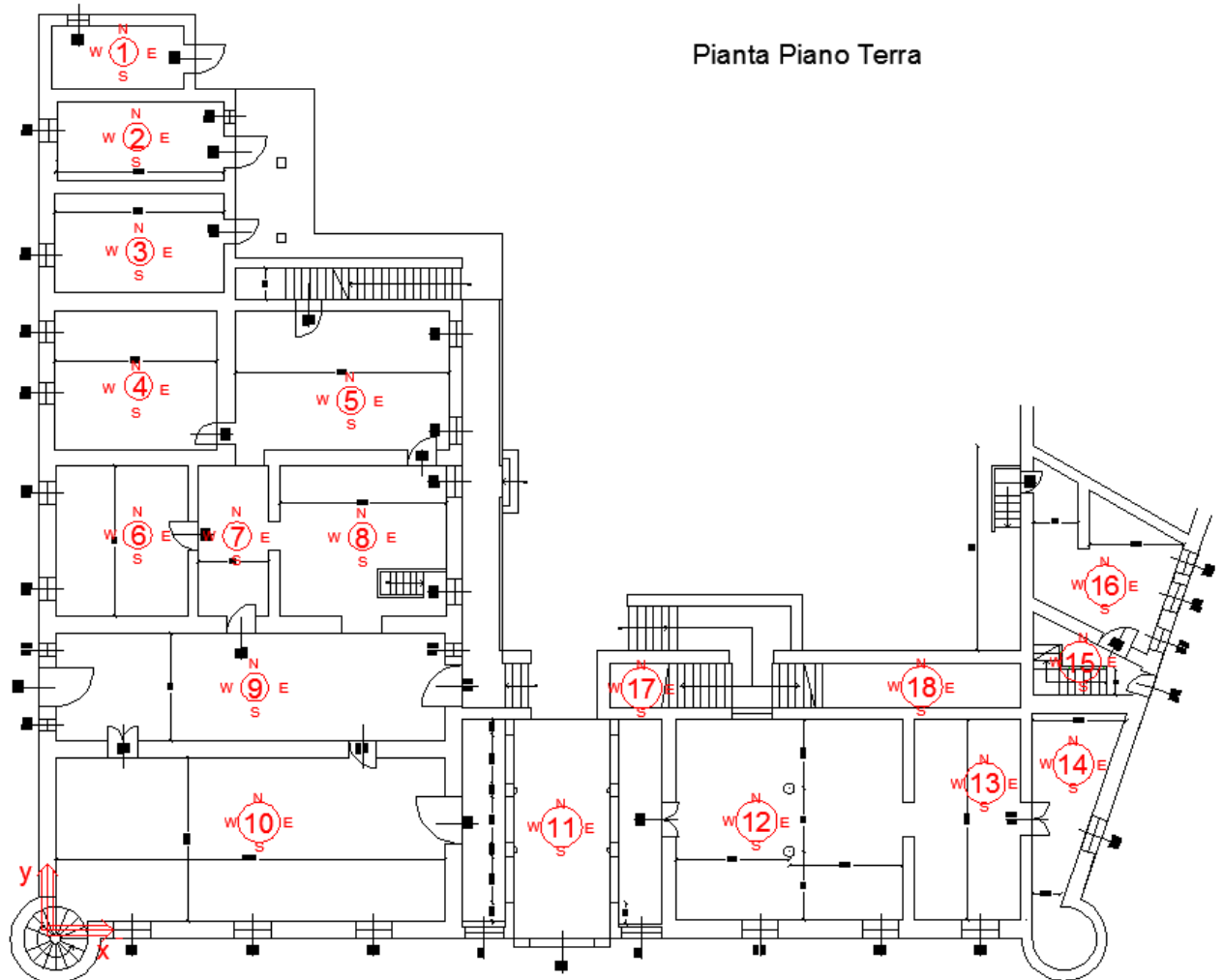
<i>impalcato quota 10950</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
1502000	1.76485E+12	2E+10	1096.30	548.15	815237.99	299962.7	8.47E+09	1.11E+10
2348128	48919333333	4.32E+12	966.67	644.44	608367.47	1502759	6.32E+09	5.89E+10
4309500	1.5786E+13	1.52E+11	1096.30	548.15	2370809.9	1427756	2.82E+10	6.05E+10
2648600	37102471667	9.21E+12	1096.30	548.15	545761.33	1456592	9.08E+09	5.88E+10
2300000	6.33698E+12	3.07E+10	1096.30	548.15	1262645.2	459330.4	1.91E+10	1.71E+10
4000000	3.33333E+11	5.33E+12	1096.30	548.15	1725421.3	2176168	1.47E+10	8.52E+10
					7328243.1	7322568	8.59E+10	2.92E+11

Xr =	39837.41
Yr =	11719.85

<i>impalcato quota 16180</i>								
A	Jxi	Jyi	E	G	Kxi	Kyi	Kxi Yi	Kyi Xi
4648350	1.25854E+11	2.58E+13	1096.30	548.15	83112.18	778618.5	7.08E+08	1.52E+10
5534750	3.34415E+13	1.95E+11	1096.30	548.15	930257.58	124849.9	3.96E+09	2.94E+09
4683250	2.82967E+13	1.18E+11	1096.30	548.15	787141.03	78517.15	3.35E+09	1.21E+09
5300750	1.86631E+11	2.94E+13	966.67	644.44	108950.28	1029778	0	2.01E+10
					1909461.1	2011764	8.02E+09	3.94E+10

Xr =	19586.41
Yr =	4199.889

Per ogni impalcato si è calcolata la massa rotazionale per poi inserirla nel modello numerico agli elementi finiti come illustrato in figura.



piano terra

solaio 12+13+14

	<i>Lx</i>	<i>Ly</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>l_p</i>	<i>r</i>	<i>M [N]</i>	<i>M r [Nmm2]</i>
12	9095	650	2.08143E+11	1.18E+14	4.07512E+13	1.58E+14	2.7575E+14	6829.672	209497.6	1430800266
	9095	570	1.40361E+11	8.51E+13	3.57357E+13	1.38E+14	2.23265E+14	6562.527	122475.5	803749009.7
	560	8515	2.88112E+13	2.9E+13	1.24614E+11	3.86E+14	4.1477E+14	9326.476	112653.5	1050659710
13	480	8515	2.46953E+13	2.49E+13	78474240000	1.21E+11	2.4996E+13	2472.989	96560.1	238792057.7
	4505	650	1.03099E+11	5.85E+13	4.95241E+12	2.12E+13	7.97244E+13	5217.848	164033.2	855900580.9
	4505	570	69524538750	4.21E+13	4.34288E+12	1.86E+13	6.07252E+13	4862.949	95896.36	466339066.6
	450	8515	2.31518E+13	2.33E+13	64660781250	8.14E+13	1.04718E+14	5227.708	143096.7	748067738.8
14	4000	740	1.35075E+11	4.86E+13	3.94667E+12	1.33E+14	1.81801E+14	7837.036	110541.2	866315379.8
	650	8900.186796	3.81882E+13	3.84E+13	2.03684E+11	3E+14	3.38311E+14	7647.19	216045.4	1652139856

tot	8112763667
Nmm2/g	827326.5008

primo piano

solaio 1+2+3+4+5+6+7+8

	<i>Lx</i>	<i>Ly</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>l_p</i>	<i>r</i>	<i>M [N]</i>	<i>M r [Nmm2]</i>
1	6770	450	51409687500	5.54E+14	1.16358E+13	3.41E+13	5.88179E+14	13894.86	150253.4	2087749488
	480	2875	9.50547E+11	2.01E+14	26496000000	5.14E+13	2.52627E+14	13530.08	68061.6	920878659.9
	480	2875	9.50547E+11	2.01E+14	26496000000	6.49E+11	2.01922E+14	12096.3	68061.6	823293660.4
2	6810	500	70937500000	3.83E+14	1.31592E+13	3.79E+13	4.21302E+14	11123.42	187241	2082759097
	630	3490	2.2317E+12	1.75E+14	72722002500	8.18E+13	2.56905E+14	10809.43	94038.4	1016501885
	630	3490	2.2317E+12	1.75E+14	72722002500	1.19E+12	1.76241E+14	8953.029	94038.4	841928495.6
	6810	480	62760960000	1.66E+14	1.26328E+13	3.63E+13	2.0216E+14	7864.185	143238.8	1126456601
3	550	4490	4.14878E+12	6.29E+13	62251979167	9.19E+13	1.54768E+14	7916.561	108213.5	856678696.8
	430	4490	3.24359E+12	4.91E+13	29748869167	1.01E+12	5.01499E+13	5096.567	84603.27	431186258.9
	6810	700	1.94653E+11	3.32E+13	1.84229E+13	5.3E+13	8.61982E+13	4252.326	233249.3	991851999.9
4	550	5800	8.94263E+12	9.17E+12	80414583333	1.19E+14	1.27901E+14	6331.999	156086.7	988340752.5

	630	5800	1.02434E+13	1.05E+13	1.20856E+11	1.97E+12	1.24782E+13	1847.953	178790.2	330395870
	6810	600	1.2258E+11	4.12E+13	1.57911E+13	4.54E+13	8.65989E+13	4603.699	206506.4	950693506
5	8605	400	45893333333	2.39E+13	2.12389E+13	1.08E+14	1.31636E+14	6184.17	168417.1	1041519753
	510	5800	8.29226E+12	8.51E+12	64114650000	2.57E+14	2.6531E+14	9470.605	144734.9	1370727420
	8605	600	1.5489E+11	5.2E+13	3.18583E+13	1.62E+14	2.13662E+14	6432.98	260938	1678609088
6	630	6335	1.33475E+13	1.74E+14	1.32004E+11	1.49E+14	3.22175E+14	8984.669	201707.7	1812276538
	400	6335	8.47459E+12	1.1E+14	33786666667	8.25E+11	1.11048E+14	6619.923	164659.3	1090032101
	5540	670	1.38852E+11	3.35E+14	9.49342E+12	5.06E+13	3.86044E+14	10198.25	241192.8	2459745277
7	3100	670	77697108333	1.88E+14	1.66333E+12	3.7E+12	1.91397E+14	9599.516	134963.5	1295583849
	400	6335	8.47459E+12	1.1E+14	33786666667	1.64E+13	1.26624E+14	7068.941	128068.4	905307670.1
8	6775	670	1.69806E+11	4.1E+14	1.73629E+13	1.77E+14	5.87123E+14	11372.94	229413.7	2609107297
	550	6335	1.16526E+13	1.52E+14	87832135417	3.03E+14	4.54061E+14	11415.69	226406.6	2584588235

tot	30296212201
Nmm2/g	3089558.658

primo piano

solai 9+10

	<i>Lx</i>	<i>Ly</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>J_{xy}</i>	<i>J_{yx}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>lp</i>	<i>r</i>	<i>M</i> [N]	<i>M_r</i> [Nmm2]
9	15415	670	3.86355E+11	3.18E+14	2.04515E+14	2.05E+14	5.22519E+14	7112.822		736183.4	5236341383
	630	4740	5.59106E+12	3.57E+13	98768565000	1.84E+14	2.19604E+14	8575.534		165554.9	1419721833
	700	4740	6.21229E+12	3.96E+13	1.35485E+11	1.9E+14	2.29852E+14	8323.12		183949.9	1531037319
	15415	610	2.91576E+11	6.37E+12	1.862E+14	1.86E+14	1.92747E+14	4527.491		685489.6	3103547995
10	630	6870	1.70227E+13	4.7E+13	1.43152E+11	2.67E+14	3.13574E+14	8511.798		245403.3	2088823145
	15415	650	3.52779E+11	3.69E+14	1.9841E+14	1.99E+14	5.67669E+14	7526.952		852179.7	6414315963
	700	6870	1.89142E+13	5.22E+13	1.96368E+11	2.76E+14	3.27903E+14	8257.437		272670.3	2251557858

tot	22045345495
Nmm2/g	2248148.633

primo piano

solai 11+12+13+14+17+18

	<i>Lx</i>	<i>Ly</i>	<i>J_{oxx}</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{oyy}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>l_p</i>	<i>r</i>	<i>M [N]</i>	<i>M r [Nmm]</i>
11	700	8515	3.60139E+13	4.34E+13	2.43387E+11	8.74E+14	9.17623E+14	12407.68	366332.3	4545335883
	8155	650	1.86631E+11	1.53E+14	2.93768E+13	3.71E+14	5.2447E+14	9946.991	488676.1	4860857263
	560	8515	2.88112E+13	3.47E+13	1.24614E+11	7.47E+13	1.09408E+14	4790.02	293065.9	1403791296
12	8155	570	1.25854E+11	4.6E+13	2.57612E+13	3.26E+14	3.71626E+14	8941.365	263561.4	2356598994
	9095	650	2.08143E+11	1.71E+14	4.07512E+13	4.28E+13	2.13671E+14	6011.937	781193.4	4696485337
	9095	570	1.40361E+11	5.13E+13	3.57357E+13	3.76E+13	8.89017E+13	4141.105	461052.4	1909266339
	560	8515	2.88112E+13	3.47E+13	1.24614E+11	7.47E+13	1.09408E+14	4790.02	420072.2	2012154152
	480	8515	2.46953E+13	2.98E+13	78474240000	1.08E+14	1.37884E+14	5808.226	360061.9	2091320906
13	4505	650	1.03099E+11	8.46E+13	4.95241E+12	1.65E+14	2.49647E+14	9233.35	386946.3	3572810444
	4505	570	69524538750	2.54E+13	4.34288E+12	1.45E+14	1.70146E+14	8140.032	228371.7	1858953311
	450	8515	2.31518E+13	2.79E+13	64660781250	3.57E+14	3.84515E+14	10017.47	337558	3381478517
14	400	740	13507466667	2.94E+12	3946666667	4.02E+13	4.30879E+13	12065.13	26076.12	314611760.5
	650	8900.186796	3.81882E+13	4.54E+13	2.03684E+11	8.66E+14	9.11748E+14	12553.97	509640.3	6398008911
17	8155	500	84947916667	1.04E+14	2.25975E+13	2.86E+14	3.89787E+14	9777.252	99756.04	975339875.9
	700	1910	4.06459E+11	2.29E+13	54594166667	1.96E+14	2.18947E+14	12796.88	32709.71	418582008.3
18	500	1910	2.90328E+11	1.63E+13	19895833333	1.49E+13	3.12747E+13	5722.619	23364.08	133703708.6
	9035	500	94114583333	1.15E+14	3.07308E+13	1.5E+14	2.64975E+14	7658.668	110520.6	846440900.2
	450	1910	2.61295E+11	1.47E+13	14504062500	8E+13	9.46818E+13	10495.67	21027.67	220699530.6
	500	1910	2.90328E+11	1.63E+13	19895833333	3.77E+11	1.67018E+13	4181.957	23364.08	97707566.95

tot	42094146705
Nmm2/g	4292692.913

primo piano

soffitto 15+16

	<i>Lx</i>	<i>Ly</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>l_p</i>	<i>r</i>	<i>M</i> [N]	<i>M r</i> [Nmm]
15	4000	740	1.35075E+11	4.61E+13	3.94667E+12	5E+12	5.10522E+13	4152.996	13882.4	57653552.01
	450	9505	3.22024E+13	3.5E+13	72178593750	2.89E+13	6.39568E+13	3866.883	20060.3	77570847.61
	650	7187.833687	2.01153E+13	2.16E+13	1.64497E+11	3.26E+13	5.41658E+13	3404.92	21912.11	74608975.83
	5045.675913	500	52559124092	3.14E+12	5.35238E+12	5.51E+12	8.64739E+12	1851.39	15212.71	28164661.63
16	6460	410	37102471667	4.65E+13	9.21086E+12	1.03E+13	5.68232E+13	4631.852	12421.93	57536554.42
	400	2000	2.66667E+11	8.04E+12	10666666667	3E+11	8.33636E+12	3228.073	5360	17302471.28

tot	312837062.8
Nmm2/g	31902.61705

secondo piano

soffitto 2+3+4+5+6+7+8+9

	<i>Lx</i>	<i>Ly</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>l_p</i>	<i>r</i>	<i>M</i> [N]	<i>M r</i> [Nmm2]
2+3	6810	500	70937500000	7.09E+10	1.31592E+13	5.26E+13	5.27078E+13	3934.404	358240.1	1409461017
	550	7980	2.32911E+13	9.32E+13	1.10639E+11	1.11E+11	9.32751E+13	4609.99	307844.5	1419159900
	430	7980	1.82094E+13	7.28E+13	52872155000	1.59E+14	2.32025E+14	8223.035	309443.7	2544566051
	6810	650	1.5585E+11	2.82E+14	1.7107E+13	6.84E+13	3.50465E+14	8897.995	399181.8	3551917244
4	550	5800	8.94263E+12	3.87E+14	80414583333	8.04E+10	3.86637E+14	11009.22	223746.6	2463275713
	400	5800	6.50373E+12	2.81E+14	30933333333	1.08E+14	3.88756E+14	12944.77	209217.6	2708274490
	6810	600	1.2258E+11	7.76E+14	1.57911E+13	6.32E+13	8.39171E+14	14330.98	368475.5	5280616177
5	8605	400	45893333333	2.19E+14	2.12389E+13	4.46E+14	6.65517E+14	13905.1	362132.8	5035494191
	510	5800	8.29226E+12	3.58E+14	64114650000	7.03E+14	1.06139E+15	18942.59	311211.2	5895145108
	8605	600	1.5489E+11	9.81E+14	3.18583E+13	6.69E+14	1.64997E+15	17876.7	465599.3	8323381746
6	630	6335	1.33475E+13	1.16E+15	1.32004E+11	1.32E+11	1.15978E+15	17046.85	279932.2	4771963751
	400	6335	8.47459E+12	7.36E+14	33786666667	7.78E+13	8.14091E+14	17923.92	266602.1	4778556422

7	5540	620	1.10028E+11	1.39E+15	8.78496E+12	3.51E+13	1.42502E+15	20368.5	361375.3	7360672956
	3100	620	61568066667	7.78E+14	1.5392E+12	9.82E+13	8.75883E+14	21347.46	202213.6	4316747843
	400	6335	8.47459E+12	7.36E+14	33786666667	1.89E+14	9.2548E+14	19110.86	266602.1	5094996674
8	6775	620	1.34556E+11	1.7E+15	1.60671E+13	6.24E+14	2.32343E+15	23518.74	294623.1	6929162977
	510	6335	1.08051E+13	9.39E+14	70028673750	7.68E+14	1.70655E+15	22982.73	339917.7	7812238338
9	15415	620	3.06152E+11	6.12E+14	1.89252E+14	4.08E+14	1.02029E+15	10332.21	998498.9	10316698715
	630	4740	5.59106E+12	1E+14	98768565000	4.66E+14	5.66578E+14	13774.33	311983.2	4297359290
	650	4740	5.76856E+12	1.03E+14	1.08477E+11	2.64E+13	1.29797E+14	6490.615	321887.5	2089247702
	15415	610	2.91576E+11	1E+14	1.862E+14	4.02E+14	5.01961E+14	7306.312	1074216	7848556331

tot	1.04247E+11
Nmm2/g	10630990.48

secondo piano

solaio 10+11

	<i>Lx</i>	<i>Ly</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>l_p</i>	<i>r</i>	<i>M [N]</i>	<i>M_r [Nmm2]</i>
10	15415	610	2.91576E+11	1E+14	1.862E+14	4.02E+14	5.01961E+14	7306.312	1005103	7343594067
	630	6870	1.70227E+13	1.72E+13	1.43152E+11	6.76E+14	6.9305E+14	12654.17	308420.4	3902803178
	15415	650	3.52779E+11	1.31E+14	1.9841E+14	4.28E+14	5.59027E+14	7469.437	1071011	7999849428
	650	8515	3.34415E+13	3.36E+13	1.94869E+11	4.74E+13	8.09897E+13	3825.304	394406.3	1508724045
11	8155	650	1.86631E+11	6.93E+13	2.93768E+13	2.89E+14	3.58181E+14	8220.203	377731.4	3105029227
	650	8515	3.34415E+13	3.58E+13	1.94869E+11	6.79E+14	7.14794E+14	11364.27	394406.3	4482139713
	8155	570	1.25854E+11	1.12E+14	2.57612E+13	2.53E+14	3.65307E+14	8865.019	331241.4	2936461538

tot	31278601197
Nmm2/g	3189741.097

secondo piano

solai 15+16

	<i>Lx</i>	<i>Ly</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>J_{xy}</i>	<i>I_p</i>	<i>r</i>	<i>M [N]</i>	<i>M_r [Nmm²]</i>	
15	4000	1000	3.33333E+11	5.57E+13	5.33333E+12	6.61E+12	6.23543E+13	3948.237	165200	652248680.2
	450	9505	3.22024E+13	3.67E+13	72178593750	2.82E+13	6.49402E+13	3896.499	176650.4	688318194.5
	650	7187.833687	2.01153E+13	2.07E+13	1.64497E+11	3.34E+13	5.40607E+13	3401.614	192957.4	656366577.1
	5045.675913	500	52559124092	2.05E+12	5.35238E+12	5.47E+12	7.51901E+12	1726.377	156289.8	269815065
16	6740	410	38710628333	5.37E+13	1.04612E+13	1.17E+13	6.53985E+13	4864.768	114128.4	555208328.4
	400	2000	2.66667E+11	9.15E+12	10666666667	2.69E+11	9.42263E+12	3431.951	49560	170087469.6

tot	2992044315
Nmm ² /g	305123.8338

terzo piano

solai 15+16

	<i>Lx</i>	<i>Ly</i>	<i>J_{xx}</i>	<i>J_{yy}</i>	<i>J_{xy}</i>	<i>I_p</i>	<i>r</i>	<i>M [N]</i>	<i>M_r [Nmm²]</i>	
15	4000	1000	3.33333E+11	5.57E+13	5.33333E+12	6.61E+12	6.23543E+13	3948.237	163240	644510136.6
	450	9505	3.22024E+13	3.67E+13	72178593750	2.82E+13	6.49402E+13	3896.499	174554.6	680151707.4
	650	7187.833687	2.01153E+13	2.07E+13	1.64497E+11	3.34E+13	5.40607E+13	3401.614	190668.1	648579177
	5045.675913	500	52559124092	2.05E+12	5.35238E+12	5.47E+12	7.51901E+12	1726.377	154435.5	266613869.3
16	6740	410	38710628333	5.37E+13	1.04612E+13	1.17E+13	6.53985E+13	4864.768	112774.4	548621111
	400	2000	2.66667E+11	9.15E+12	10666666667	2.69E+11	9.42263E+12	3431.951	48972	168069482.6

tot	2956545484
Nmm ² /g	301503.7206

9.7 Analisi e verifica dei carichi verticali e laterali statici agli SLU

Si effettua l'analisi dei carichi in combinazione SLU:

$$g_{G1} G_1 + g_{G2} G_2 + g_{Q1} Q_{k1} + g_{Q2} Q_{k2} + \dots$$

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

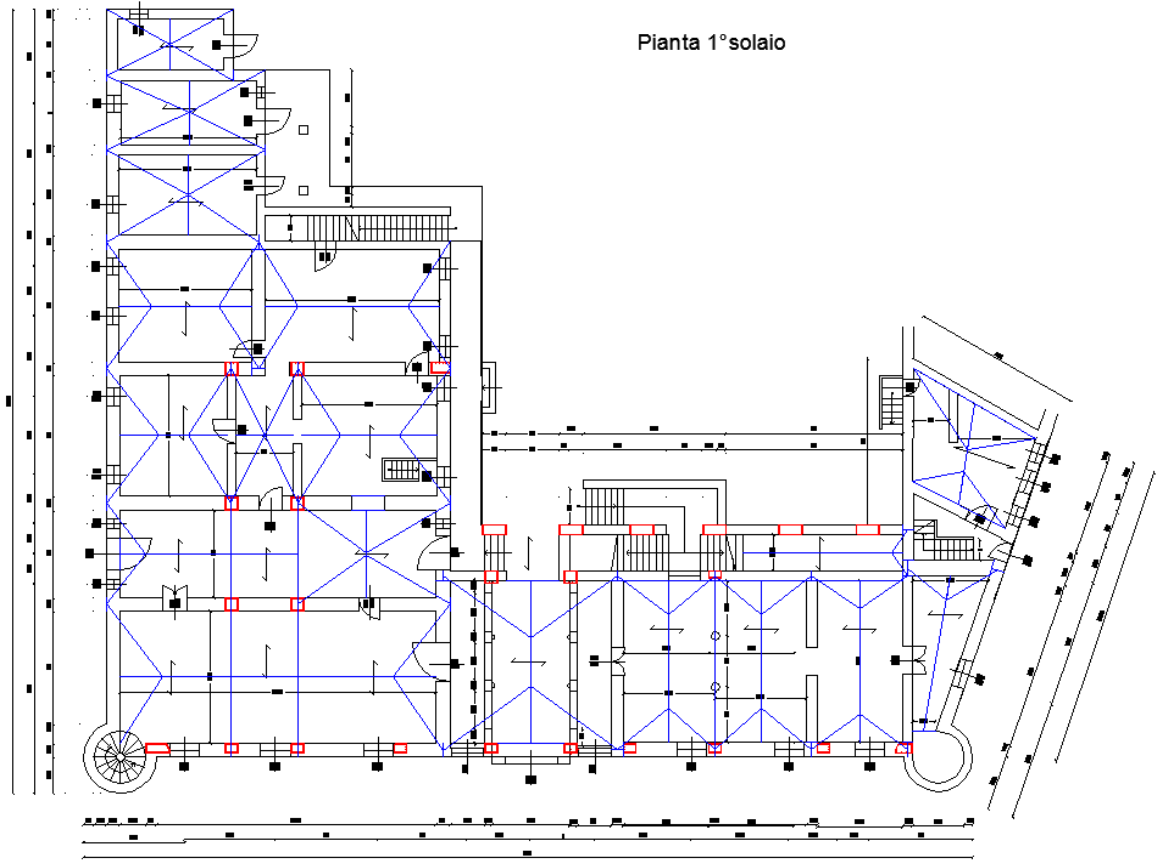
		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

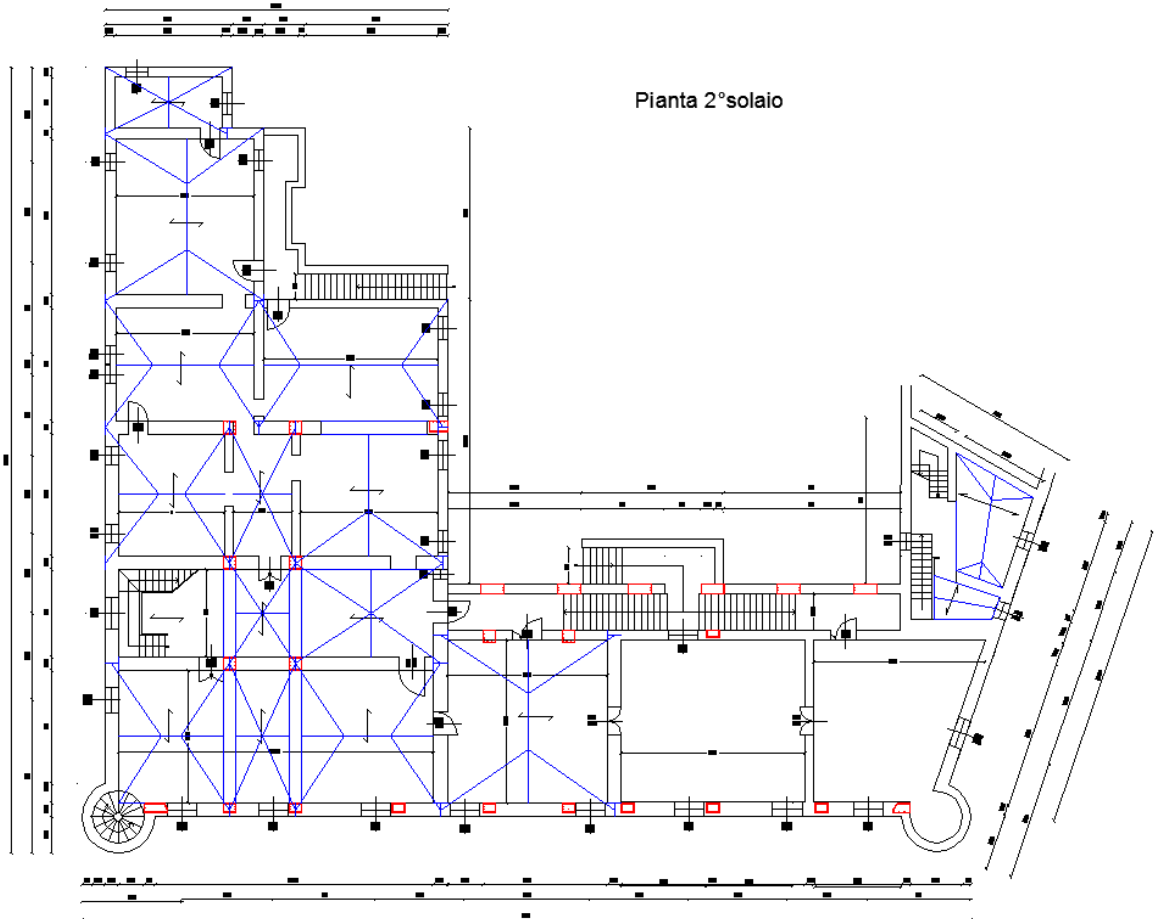
Categoria/Azione variabile	ψ_{0i}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

L'analisi dei carichi è effettuata considerando le zone di influenza mostrate nelle figure seguenti. Si osservi che è essenziale che ciascun muro assorba un'aliquota di carico verticale, per resistere alle azioni ribaltanti. Ai muri che sono paralleli all'orditura del solaio viene attribuita una zona d'influenza di forma triangolare, con un'altezza pari a un terzo della lunghezza del suddetto muro.

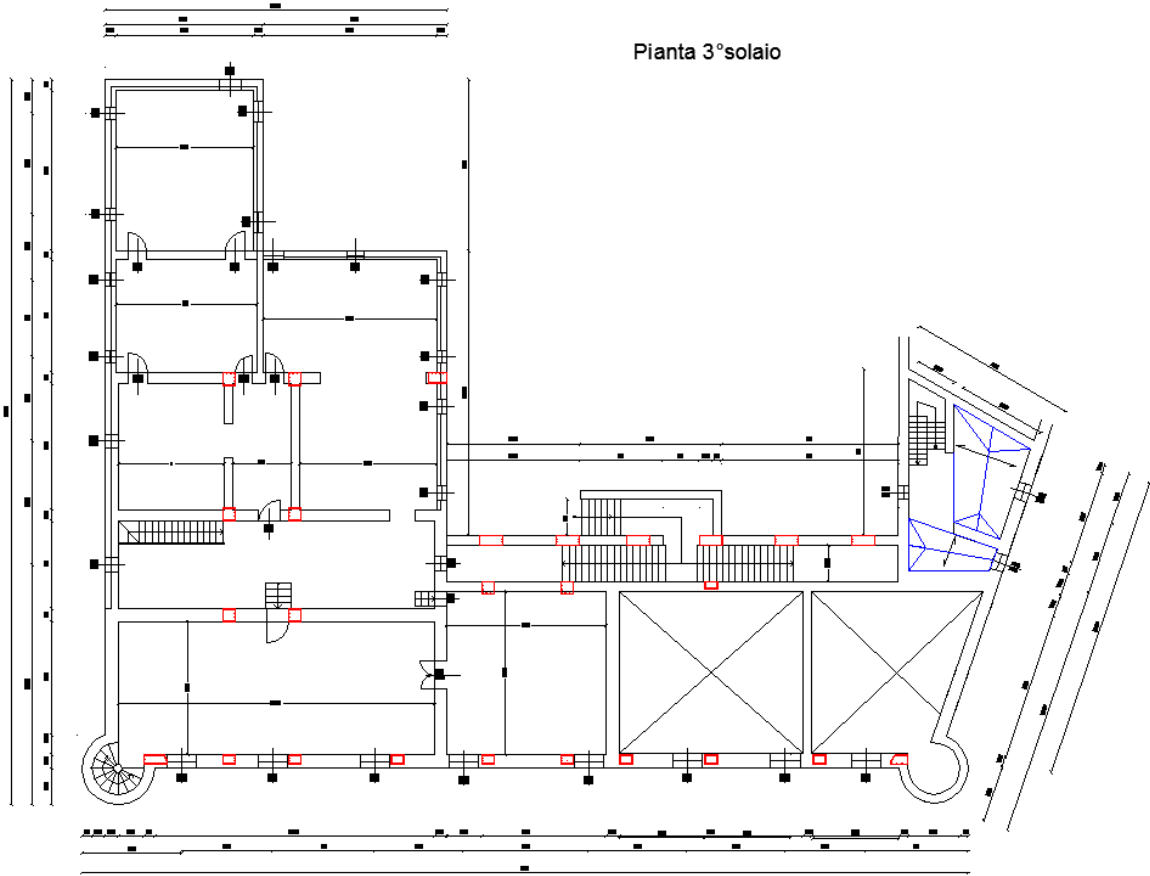
Pianta 1°solaio



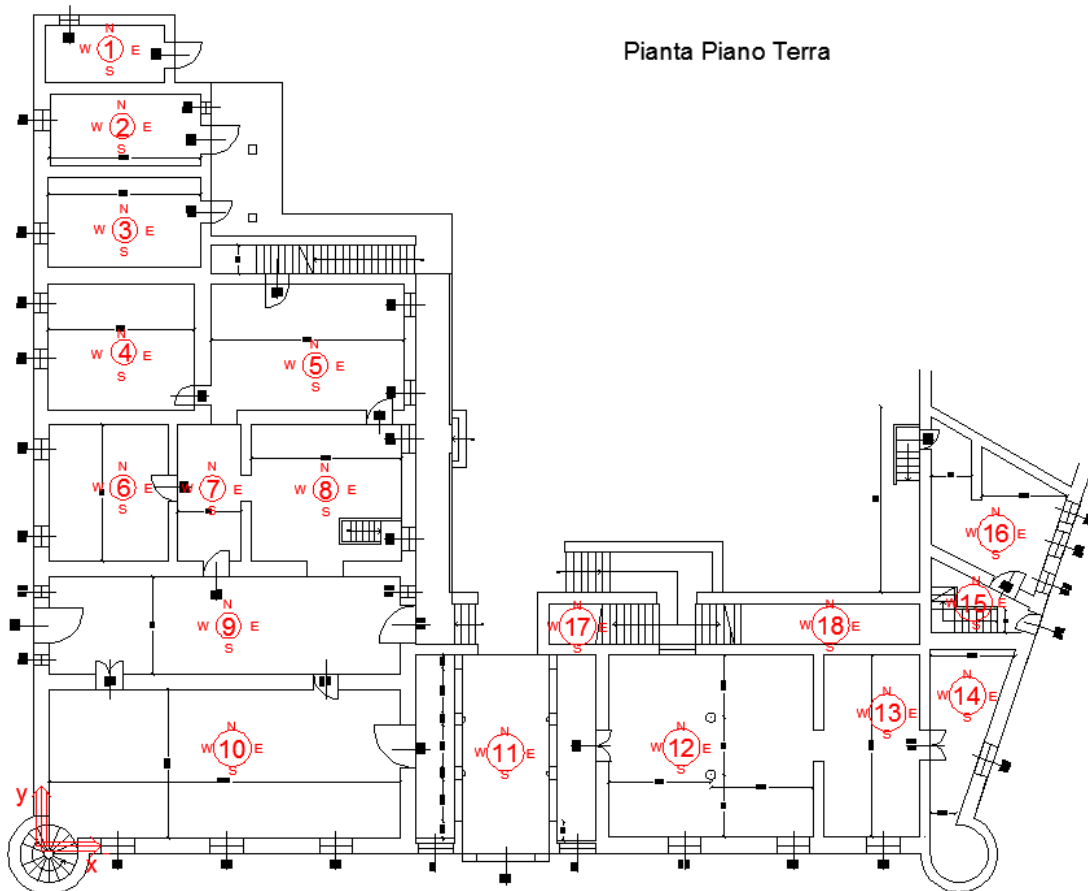
Pianta 2°solaio



Pianta 3°solaio



Pianta Piano Terra



parete	l [mm]	h [mm]	t [mm]	g [N/mm3]	carico solaio				fd [Mpa]	t Od [Mpa]	E	Vento [Mpa]	Neve [Mpa]
					Area [m2]	G1 [N/mm2]	G2 [N/mm2]	f i0Qk [N/mm2]					
1 N	6770	2260	450	0.000018	2.5964	0.00327	0.00092	0.0021	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0
	6770	3220	450	0.000021	2.5964	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
1W	2875	2260	480	0.000018	3.2126	0.00327	0.00092	0.0021	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0
	2875	3220	480	0.000021	3.2126	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
1E	2875	2260	480	0.000018	3.4298	0.00327	0.00092	0.0021	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0
	2875	3220	480	0.000021	3.4298	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
2N	6810	2260	500	0.000018	7.2208	0.00327	0.00092	0.0021	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0
	6810	3850	500	0.000021	7.2208	0.00327	0.00092	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
2W	6810	3085	500	0.000018	7.2208	0.00054	0.00417	0	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0.0013008
	3490	2260	630	0.000014	4.4973	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
2E	3490	3850	550	0.000014	4.4973	0.00327	0.00092	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	3490	3085	530	0.000014	4.4973	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
3W	3490	2260	430	0.000014	5.1216	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	3490	3850	430	0.000018	5.1216	0.00327	0.00092	0.0035	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0
3S	3490	3085	430	0.000018	5.1216	0.00054	0.00417	0	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0.0013008
	6810	2410	480	0.000014	10.967	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
4W	4490	2410	550	0.000014	5.9261	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	4490	3850	550	0.000014	5.9261	0.00327	0.00092	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
3E	4490	3085	530	0.000014	5.9261	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	6810	3140	700	0.000014	18.5204	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
4E	6810	3850	650	0.000018	18.5204	0.00327	0.00092	0.0035	1.3333	0.0333	1666.7	0	0
	6810	3085	400	0.000018	18.5204	0.00054	0.00417	0	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0.0013008
4W	4490	2410	430	0.000014	6.4121	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	4490	3850	430	0.000018	6.4121	0.00327	0.00092	0.0035	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0
4W	4490	3085	430	0.000018	6.4121	0.00054	0.00417	0	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0.0013008
	5800	3140	550	0.000014	3.2181	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
4W	5800	3850	550	0.000014	3.2181	0.00327	0.00092	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	5800	3085	530	0.000014	3.2181	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008

4E	5800	3140	630	0.000014	7.3539	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	5800	3850	400	0.000018	7.3539	0.00327	0.00092	0.0035	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0
4S	5800	3085	300	0.000018	7.3539	0.00054	0.00417	0	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0.0013008
	6810	3370	600	0.000014	22.5714	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	6810	3850	600	0.000018	22.5714	0.00327	0.00092	0.0035	1.3333	0.0333	1666.7	0	0
5N	6810	3085	500	0.000018	22.5714	0.00054	0.00417	0	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0.0013008
	8605	3140	400	0.000014	18.0247	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	8605	3850	400	0.000021	18.0247	0.00327	0.00092	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
5E	8605	3085	400	0.000018	18.0247	0.00054	0.00417	0	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0.0013008
	5800	3140	510	0.000014	3.3582	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	5800	3850	510	0.000021	3.3582	0.00327	0.00092	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
5S	5800	3085	510	0.000021	3.3582	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
	8605	3370	600	0.000014	31.5119	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	2000	3850	600	0.000018	31.5119	0.00327	0.00092	0.0035	1.3333	0.0333	1666.7	0	0
6W	2000	3085	500	0.000018	31.5119	0.00054	0.00417	0	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0.0013008
	6335	3370	630	0.000014	4.2233	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	6335	3850	630	0.000014	4.2233	0.00327	0.00092	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
6S	6335	3085	630	0.000014	4.2233	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	5540	3370	670	0.000018	19.2833	0.00327	0.00092	0.0021	1.3333	0.0333	1666.7	0	0
	5540	3850	620	0.000021	19.2833	0.00327	0.00092	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0	0
6E	5540	3085	550	0.000021	19.2833	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
	6335	3370	400	0.000018	8.8557	0.00327	0.00092	0.0021	1.3333	0.0333	1666.7	0	0
	6335	3850	400	0.000021	8.8557	0.00327	0.00092	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0	0
7S	6335	3085	400	0.000018	8.8557	0.00054	0.00417	0	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0.0013008
	3100	3370	670	0.000018	10.3051	0.00327	0.00092	0.0021	1.3333	0.0333	1666.7	0	0
	3100	3850	620	0.000021	10.3051	0.00327	0.00092	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0	0
7E	3100	3085	550	0.000021	10.3051	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
	6335	3370	400	0.000014	8.8557	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	6335	3850	400	0.000021	8.8557	0.00327	0.00092	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0	0
	6335	3085	400	0.000018	8.8557	0.00054	0.00417	0	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0.0013008

8S	6775	3370	670	0.000014	19.4669	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	6775	3850	620	0.000014	19.4669	0.00327	0.00092	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
8E	6775	3085	550	0.000014	19.4669	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	6335	3370	550	0.000018	4.2584	0.00327	0.00092	0.0021	1.3333	0.0333	1666.7	0.000662723	0
	6335	3850	510	0.000021	4.2584	0.00327	0.00092	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
9W	6335	3085	510	0.000021	4.2584	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
	4740	3440	630	0.000014	1.8649	0.00327	0.00092	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	4740	3780	630	0.000021	1.8649	0.00327	0.00092	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
9E	4740	3085	630	0.000014	1.8649	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	4740	3440	700	0.000014	6.4701	0.00327	0.00092	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	4740	3780	650	0.000021	6.4701	0.00327	0.00092	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0	0
9S	4740	3085	550	0.000021	6.4701	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
	15415	3620	610	0.000018	63.1611	0.00327	0.00092	0.0035	1.3333	0.0333	1666.7	0	0
	15415	4480	610	0.000014	63.1611	0.00327	0.00092	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
10W	15415	2850	600	0.000014	63.1611	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	6870	3620	630	0.000014	5.6696	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	6870	4480	630	0.000014	5.6696	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
10S	6870	2850	630	0.000014	5.6696	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	15415	3620	650	0.000021	39.9681	0.00054	0.00417	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
	15415	4480	650	0.000021	39.9681	0.00054	0.00417	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
10E	15415	2850	650	0.000021	39.9681	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
	6870	3620	700	0.000014	24.2938	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	6870	4480	650	0.000014	24.2938	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
11N	6870	2850	550	0.000014	24.2938	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	8515	5230	550	0.000014	24.2938	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	2000	4175	570	0.000014	5.0669	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	2000	4175	570	0.000014	5.0669	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	8155	4605	570	0.000014	10.1338	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	8155	2850	570	0.000014	10.1338	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	8155	5230	570	0.000014	10.1338	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008

11E	8515	4175	560	0.000014	18.8519	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	8515	4605	650	0.000014	18.8519	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	8515	2850	650	0.000014	18.8519	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	8515	5230	650	0.000014	18.8519	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
11S	2000	4175	650	0.000021	5.11995	0.00054	0.00417	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
	2000	4175	650	0.000021	5.11995	0.00054	0.00417	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
	8155	4605	650	0.000021	10.2399	0.00054	0.00417	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
	8155	2850	650	0.000021	10.2399	0.00054	0.00417	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
12N	8155	5230	650	0.000021	10.2399	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
	9095	3375	570	0.000014	6.3477	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	9095	7455	570	0.000014	6.3477	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	8515	3375	480	0.000014	25.9995	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
12E	8515	7455	420	0.000021	25.9995	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
	9095	3375	650	0.000021	5.9733	0.00054	0.00417	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
12S	9095	7455	650	0.000021	5.9733	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
	4505	3375	570	0.000014	2.4689	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
13N	4000	3375	740	0.000014	2.4689	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	8505	7455	570	0.000014	2.4689	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	8515	3375	450	0.000014	20.4898	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
13E	4505	3375	650	0.000021	2.2969	0.00054	0.00417	0.0035	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0
13S	4505	7455	650	0.000021	2.2969	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
	4000	3375	740	0.000014	2.0033	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
14N	4000	5805	1000	0.000014	2.0033	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0	0
	4000	1650	1000	0.000014	2.0033	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	8515	3375	650	0.000014	7.4593	0.00054	0.00417	0.0035	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
14E	8515	7455	650	0.000014	7.4593	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
	3755	3440	450	0.000014	7.498	0.00327	0.00092	0.0024	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
15W	3755	3330	400	0.000014	7.498	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	3755	2530	400	0.000014	7.498	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	3755	1650	400	0.000014	7.498	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008

15N	4696.256	3440	500	0.000018	6.7806	0.00327	0.00092	0.006	1.3333	0.0333	1666.7	0	0
	4696.256	3330	500	0.000021	6.7806	0.00327	0.00092	0.006	1.4444	0.0311	1933.3	0	0
	4696.256	2530	500	0.000021	6.7806	0.00327	0.00092	0.0021	1.4444	0.0311	1933.3	0	0
	4696.256	1650	500	0.000021	6.7806	0.00054	0.00417	0	1.4444	0.0311	1933.3	0.000662723	0.0013008
15-16E	6630	3440	650	0.000014	9.6656	0.00327	0.00092	0.006	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	6630	3330	650	0.000014	9.6656	0.00327	0.00092	0.006	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	6630	2530	650	0.000014	9.6656	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	6630	1650	650	0.000014	9.6656	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
16N	6460	3440	410	0.000014	6.7806	0.00327	0.00092	0.006	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	6460	3330	410	0.000014	6.7806	0.00327	0.00092	0.006	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	6460	2530	410	0.000014	6.7806	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	6460	1650	410	0.000014	6.7806	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008
16W	5750	3440	450	0.000014	7.5035	0.00327	0.00092	0.006	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	5750	3330	400	0.000014	7.5035	0.00327	0.00092	0.006	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	5750	2530	400	0.000014	7.5035	0.00327	0.00092	0.0021	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0
	5750	1650	400	0.000014	7.5035	0.00054	0.00417	0	1.1111	0.0667	2192.6	0.000662723	0.0013008

Lo schema statico per carichi verticali prevede che le sollecitazioni vengano valutate assimilando i muri a semplici appoggi per i solai, cosiddetto "schema dell'articolazione"; per tener conto dei momenti flettenti, i carichi agenti sui muri vengono considerati applicati con opportune eccentricità.

Affinchè la sezione del muro risulti verificata occorre che il carico verticale agente di calcolo N_d , sia inferiore al carico di rottura del muro:

$$N_d \leq F f_d A$$

dove: N_d è il carico verticale agente di calcolo alla base del muro;

A è l'area della sezione orizzontale del muro, al netto delle aperture;

f_d resistenza di calcolo a compressione della muratura;

F è il coefficiente di riduzione della resistenza del muro.

Riepilogo delle sollecitazioni.

parete	Nd [N]	Mv [Nmm]	λ	es1	0,33t		es2	0,33t		ea	ev	e1	m	e2	m
1 N	428916.8	2578042	5.022222	0	148.5	ok	4.28E-06	148.5	ok	11.3	6.010588	11.3	0.150667	11.66059	0.155475
	267805.7	5233411	7.155556	0	148.5	ok	5.14E-06	148.5	ok	16.1	19.54182	16.10001	0.214667	27.59183	0.367891
1W	194290.3	1094811	4.708333	0	158.4	ok	1.25E-05	158.4	ok	11.3	5.634925	11.30001	0.14125	11.28493	0.141062
	121310.3	2222460	6.708333	0	158.4	ok	1.5E-05	158.4	ok	16.1	18.32046	16.10001	0.20125	26.37047	0.329631
1E	194290.3	1094811	4.708333	0	158.4	ok	1.33E-05	158.4	ok	11.3	5.634925	11.30001	0.14125	11.28493	0.141062
	121310.3	2222460	6.708333	0	158.4	ok	1.6E-05	158.4	ok	16.1	18.32046	16.10002	0.20125	26.37047	0.329631
2N	783756.3	0	4.52	0	165	ok	7.24E-06	165	ok	11.3	0	11.30001	0.1356	5.650004	0.0678
	603686.2	0	7.7	0	165	ok	1.15E-05	165	ok	19.25	0	19.25001	0.231	9.625006	0.1155
2W	245803.6	4832166	6.17	0	165	ok	1.73E-05	165	ok	15.425	19.65865	15.42502	0.1851	27.37116	0.328454
	328791.5	1329005	3.587302	0	207.9	ok	1.36E-05	207.9	ok	11.3	4.042091	11.30001	0.107619	9.692098	0.092306
	238354.6	3856837	7	34.72509	181.5	ok	2E-05	181.5	ok	19.25	16.18109	53.97511	0.588819	43.16865	0.470931
2E	103855.1	2476397	5.820755	15.38461	174.9	ok	2.7E-05	174.9	ok	15.425	23.84472	30.80964	0.348788	39.24954	0.444334
	305259	1329005	5.255814	0	141.9	ok	1.13E-05	141.9	ok	11.3	4.353697	11.30001	0.157675	10.0037	0.139587
	243532.2	3856837	8.953488	0	141.9	ok	1.74E-05	141.9	ok	19.25	15.83707	19.25002	0.268605	25.46208	0.355285
2S	108334.1	2476397	7.174419	0	141.9	ok	2.39E-05	141.9	ok	15.425	22.85889	15.42502	0.215233	30.5714	0.426578
	424731.4	0	5.020833	0	158.4	ok	1.95E-05	158.4	ok	12.05	0	12.05002	0.150625	6.02501	0.075313
	414968.3	1944307	4.381818	0	181.5	ok	1.24E-05	181.5	ok	12.05	4.685436	12.05001	0.131455	10.71044	0.116841
3W	306651	4961948	7	0	181.5	ok	2.04E-05	181.5	ok	19.25	16.18109	19.25002	0.21	25.8061	0.281521
	133613.1	3185966	5.820755	15.38461	174.9	ok	2.77E-05	174.9	ok	15.425	23.84472	30.80964	0.348788	39.24954	0.444334
	867851.3	0	4.485714	0	231	ok	2.35E-05	231	ok	15.7	0	15.70002	0.134572	7.850012	0.067286
3S	595426.6	0	5.923077	25.75939	214.5	ok	3.89E-05	214.5	ok	19.25	0	45.00942	0.415472	22.50471	0.207736
	196643	0	7.7125	192.3075	132	NO	4.44E-05	132	ok	15.425	0	147.425	2.211376	73.71252	1.105688
	397996.6	1944307	5.604651	0	141.9	ok	1.09E-05	141.9	ok	12.05	4.885235	12.05001	0.16814	10.91024	0.152236
3E	313312.2	4961948	8.953488	0	141.9	ok	1.69E-05	141.9	ok	19.25	15.83707	19.25002	0.268605	25.46208	0.355285
	139375.4	3185966	7.174419	0	141.9	ok	2.33E-05	141.9	ok	15.425	22.85889	15.42502	0.215233	30.5714	0.426578
	578421.4	4263554	5.709091	0	181.5	ok	4.81E-06	181.5	ok	15.7	7.371016	15.7	0.171273	15.22102	0.166047
4W	396119.2	6409644	7	0	181.5	ok	8.59E-06	181.5	ok	19.25	16.1811	19.25001	0.21	25.8061	0.281521
	172595.9	4115502	5.820755	15.38461	174.9	ok	1.16E-05	174.9	ok	15.425	23.84472	30.80962	0.348788	39.24954	0.444334

4E	543436.7	4263554	4.984127	0	207.9	ok	1.34E-05	207.9	ok	15.7	7.845539	15.70001	0.149524	15.69555	0.149481
	334617.8	6409644	9.625	110.5096	132	ok	1.69E-05	132	ok	19.25	19.15512	129.7596	1.946394	84.03493	1.260524
4S	125608.9	4115502	10.28333	76.92304	99	ok	2.07E-05	99	ok	15.425	32.7644	92.34806	1.846961	78.93843	1.578769
	864522.6	0	5.616667	0	198	ok	2.46E-05	198	ok	16.85	0	16.85002	0.1685	8.425012	0.08425
5N	613911.7	0	6.416667	0	198	ok	4.24E-05	198	ok	19.25	0	19.25004	0.1925	9.625021	0.09625
	245803.7	0	6.17	76.92302	165	ok	5.41E-05	165	ok	15.425	0	92.34807	1.108177	46.17404	0.554088
5E	806949.9	6325496	7.85	0	132	ok	1.4E-05	132	ok	15.7	7.838772	15.70001	0.2355	15.68878	0.235332
	610246.3	9509480	9.625	0	132	ok	2.27E-05	132	ok	19.25	15.58302	19.25002	0.28875	25.20803	0.37812
5S	248474.7	6105843	7.7125	0	132	ok	3.42E-05	132	ok	15.425	24.5733	15.42503	0.231376	32.28582	0.484287
	729068.7	4263554	6.156863	0	168.3	ok	3.69E-06	168.3	ok	15.7	5.847945	15.7	0.184706	13.69795	0.161152
6W	560024.9	6409644	7.54902	0	168.3	ok	5.88E-06	168.3	ok	19.25	11.44528	19.25001	0.226471	21.07029	0.247886
	249124.3	4115502	6.04902	0	168.3	ok	8.1E-06	168.3	ok	15.425	16.51987	15.42501	0.181471	24.23238	0.285087
6S	496965.3	0	5.616667	0	198	ok	5.98E-05	198	ok	16.85	0	16.85006	0.168501	8.42503	0.08425
	180297.6	0	6.416667	0	198	ok	0.000202	198	ok	19.25	0	19.2502	0.192502	9.625101	0.096251
6E	72189.26	0	6.17	76.9228	165	ok	0.000257	165	ok	15.425	0	92.34806	1.108177	46.17403	0.554088
	748525.5	5364026	5.349206	0	207.9	ok	5.59E-06	207.9	ok	16.85	7.166123	16.85001	0.160476	15.59113	0.148487
7S	503738.4	7000878	6.111111	0	207.9	ok	1.02E-05	207.9	ok	19.25	13.89784	19.25001	0.183333	23.52285	0.224027
	224085.5	4495121	4.896825	0	207.9	ok	1.4E-05	207.9	ok	15.425	20.05985	15.42501	0.146905	27.77235	0.264499
7E	910340.2	0	5.029851	0	221.1	ok	2.23E-05	221.1	ok	16.85	0	16.85002	0.150896	8.425011	0.075448
	617634.9	0	6.209677	22.48121	204.6	ok	3.72E-05	204.6	ok	19.25	0	41.73125	0.403851	20.86562	0.201925
6E	256620	0	5.609091	53.84612	181.5	ok	4.87E-05	181.5	ok	15.425	0	69.27117	0.755685	34.63558	0.377843
	649089.4	0	8.425	0	132	ok	8.58E-06	132	ok	16.85	0	16.85001	0.25275	8.425004	0.126375
7S	449263.2	0	9.625	0	132	ok	1.52E-05	132	ok	19.25	0	19.25002	0.28875	9.625008	0.144375
	182927	0	7.7125	0	132	ok	2.28E-05	132	ok	15.425	0	15.42502	0.231375	7.712511	0.115688
7E	509396.1	0	5.029851	0	221.1	ok	2.13E-05	221.1	ok	16.85	0	16.85002	0.150896	8.425011	0.075448
	345608	0	6.209677	22.48121	204.6	ok	3.55E-05	204.6	ok	19.25	0	41.73125	0.403851	20.86562	0.201925
7E	143596	2199665	5.609091	53.84612	181.5	ok	4.65E-05	181.5	ok	15.425	15.31842	69.27117	0.755685	49.95401	0.544953
	604683.6	0	8.425	0	132	ok	9.21E-06	132	ok	16.85	0	16.85001	0.25275	8.425005	0.126375
7E	449263.2	0	9.625	0	132	ok	1.52E-05	132	ok	19.25	0	19.25002	0.28875	9.625008	0.144375
	182927	0	7.7125	0	132	ok	2.28E-05	132	ok	15.425	0	15.42502	0.231375	7.712511	0.115688

8S	781957.7	0	5.029851	0	221.1	ok	2.62E-05	221.1	ok	16.85	0	16.85003	0.150896	8.425013	0.075448
	503547.2	0	6.209677	22.48121	204.6	ok	4.61E-05	204.6	ok	19.25	0	41.73125	0.403851	20.86563	0.201925
8E	209217.9	0	5.609091	53.84611	181.5	ok	6.03E-05	181.5	ok	15.425	0	69.27117	0.755686	34.63559	0.377843
	886443.4	5364026	6.127273	0	181.5	ok	4.15E-06	181.5	ok	16.85	6.051177	16.85	0.183818	14.47618	0.157922
	611682.4	7000878	7.54902	17.08169	168.3	ok	6.83E-06	168.3	ok	19.25	11.44528	36.3317	0.427432	29.61113	0.348366
9W	272103.8	4495121	6.04902	0	168.3	ok	9.4E-06	168.3	ok	15.425	16.51987	15.42501	0.181471	24.23238	0.285087
	662784.2	4181958	5.460317	0	207.9	ok	3.41E-06	207.9	ok	17.2	6.309683	17.2	0.16381	14.90968	0.141997
	475824.1	5049477	6	0	207.9	ok	4.75E-06	207.9	ok	18.9	10.61207	18.9	0.18	20.06207	0.191067
9E	167666.2	3363358	4.896825	0	207.9	ok	8.25E-06	207.9	ok	15.425	20.05985	15.42501	0.146905	27.77235	0.264499
	745237.1	0	4.914286	0	231	ok	1.17E-05	231	ok	17.2	0	17.20001	0.147429	8.600006	0.073714
	537503.7	0	5.815385	22.75052	214.5	ok	1.5E-05	214.5	ok	18.9	0	41.65054	0.384466	20.82527	0.192233
9S	219562.9	0	5.609091	76.92306	181.5	ok	1.91E-05	181.5	ok	15.425	0	92.34808	1.007434	46.17404	0.503717
	2042965	0	5.934426	0	201.3	ok	3.63E-05	201.3	ok	18.1	0	18.10004	0.178033	9.050018	0.089017
	1246442	0	7.344262	0	201.3	ok	5.94E-05	201.3	ok	22.4	0	22.40006	0.220328	11.20003	0.110164
10W	479746.1	0	4.75	7.692299	198	ok	9.3E-05	198	ok	14.25	0	21.94239	0.219424	10.9712	0.109712
	862547.2	6712098	5.746032	0	207.9	ok	8.5E-06	207.9	ok	18.1	7.781717	18.10001	0.172381	16.83172	0.160302
	577394.6	10280097	7.111111	0	207.9	ok	1.27E-05	207.9	ok	22.4	17.80428	22.40001	0.213333	29.00429	0.276231
10S	224498.6	4160360	4.52381	0	207.9	ok	1.87E-05	207.9	ok	14.25	18.53179	14.25002	0.135714	25.65679	0.24435
	2995255	15060698	5.569231	0	214.5	ok	1.78E-05	214.5	ok	18.1	5.028185	18.10002	0.167077	14.07819	0.129953
	2005043	23066622	6.892308	0	214.5	ok	2.66E-05	214.5	ok	22.4	11.5043	22.40003	0.206769	22.70432	0.209578
10E	779587	9335072	4.384615	0	214.5	ok	3.92E-05	214.5	ok	14.25	11.97438	14.25004	0.131539	19.0994	0.176302
	1322707	0	5.171429	0	231	ok	2.64E-05	231	ok	18.1	0	18.10003	0.155143	9.050013	0.077572
	1005870	0	6.892308	13.92208	214.5	ok	3.22E-05	214.5	ok	22.4	0	36.32211	0.335281	18.16106	0.167641
11N	641771.1	0	5.181818	23.49158	181.5	ok	4.27E-05	181.5	ok	14.25	0	37.74162	0.411727	18.87081	0.205863
	445780	17364907	9.509091	0	181.5	ok	3.53E-05	181.5	ok	26.15	38.95398	26.15004	0.285273	52.029	0.567589
	1159774	2599126	7.324561	0	188.1	ok	5.11E-06	188.1	ok	20.875	2.241063	20.87501	0.219737	12.67857	0.133459
	1159774	2599126	7.324561	0	188.1	ok	5.11E-06	188.1	ok	20.875	2.241063	20.87501	0.219737	12.67857	0.133459
	1073151	12893406	8.078947	0	188.1	ok	1.1E-05	188.1	ok	23.025	12.01453	23.02501	0.242369	23.52704	0.247653
	683568	4938535	5	0	188.1	ok	1.73E-05	188.1	ok	14.25	7.224643	14.25002	0.15	14.34965	0.151049
	442457.9	16630748	9.175439	0	188.1	ok	1.54E-05	188.1	ok	26.15	37.58718	26.15002	0.275263	50.66219	0.533286

11E	1640119	0	7.455357	0	184.8	ok	1.32E-05	184.8	ok	20.875	0	20.87501	0.223661	10.43751	0.11183
	1277792	0	7.084615	-25.1326	214.5	ok	1.97E-05	214.5	ok	23.025	0	-2.10762	-0.01945	-1.05381	-0.00973
	813918.6	0	4.384615	0	214.5	ok	3.09E-05	214.5	ok	14.25	0	14.25003	0.131539	7.125015	0.065769
	526830.9	17364907	8.046154	0	214.5	ok	2.74E-05	214.5	ok	26.15	32.96107	26.15003	0.241385	46.03608	0.424948
11S	1983824	2599126	6.423077	0	214.5	ok	3.44E-06	214.5	ok	20.875	1.31016	20.875	0.192692	11.74766	0.10844
	1983824	2599126	6.423077	0	214.5	ok	3.44E-06	214.5	ok	20.875	1.31016	20.875	0.192692	11.74766	0.10844
	1835653	12893406	7.084615	0	214.5	ok	7.44E-06	214.5	ok	23.025	7.023881	23.02501	0.212539	18.53638	0.171105
	1169261	4938535	4.384615	0	214.5	ok	1.17E-05	214.5	ok	14.25	4.223638	14.25001	0.131539	11.34864	0.104757
12N	756835.9	16630748	8.046154	0	214.5	ok	1.04E-05	214.5	ok	26.15	21.97405	26.15001	0.241385	35.04905	0.32353
	1021827	7723865	5.921053	0	188.1	ok	7.27E-06	188.1	ok	16.875	7.558876	16.87501	0.177632	15.99638	0.168383
	703390.7	37686207	13.07895	0	188.1	ok	6.06E-06	188.1	ok	37.275	53.57791	37.27501	0.392368	72.21542	0.760162
	978910.7	0	7.03125	0	158.4	ok	2.62E-05	158.4	ok	16.875	0	16.87503	0.210938	8.437513	0.105469
12E	727854.2	0	17.75	46.15383	138.6	ok	1.77E-05	138.6	ok	37.275	0	83.42885	1.191841	41.71443	0.59592
	1747862	7723865	5.192308	0	214.5	ok	4.56E-06	214.5	ok	16.875	4.419036	16.875	0.155769	12.85654	0.118676
	1203168	37686207	11.46923	0	214.5	ok	3.8E-06	214.5	ok	37.275	31.32247	37.275	0.344077	49.95998	0.461169
	997309.4	3825840	5.921053	0	188.1	ok	2.9E-06	188.1	ok	16.875	3.836161	16.875	0.177632	12.27366	0.129196
13N	839579.2	0	4.560811	0	244.2	ok	4.47E-06	244.2	ok	16.875	0	16.875	0.136824	8.437502	0.068412
	657761.2	35241473	13.07895	130.7692	188.1	ok	2.52E-06	188.1	ok	37.275	53.57792	168.0442	1.768887	137.6	1.448421
	1101129	0	7.5	0	148.5	ok	1.72E-05	148.5	ok	16.875	0	16.87502	0.225	8.437509	0.1125
	865763.5	3825840	5.192308	0	214.5	ok	3.54E-06	214.5	ok	16.875	4.419036	16.875	0.155769	12.85654	0.118676
13E	595961.9	18667000	11.46923	0	214.5	ok	2.95E-06	214.5	ok	37.275	31.32247	37.275	0.344077	49.95998	0.461169
	724542.1	0	4.560811	0	244.2	ok	4.2E-06	244.2	ok	16.875	0	16.875	0.136824	8.437502	0.068412
	542724	0	5.805	-155.734	330	ok	7.58E-06	330	ok	29.025	0	184.7594	1.108556	92.37969	0.554278
	120120	0	1.65	0	330	ok	1.96E-05	330	ok	8.25	0	8.25002	0.0495	4.12501	0.02475
14E	1090933	7231304	5.192308	0	214.5	ok	9.12E-06	214.5	ok	16.875	6.628553	16.87501	0.155769	15.06606	0.139071
	750960.5	35282909	11.46923	0	214.5	ok	7.6E-06	214.5	ok	37.275	46.98371	37.27501	0.344077	65.62121	0.605734
15W	311088.5	3312922	7.644444	0	148.5	ok	1.79E-05	148.5	ok	17.2	10.64945	17.20002	0.229334	19.24946	0.256659
	205296.6	3104437	8.325	17.05417	132	ok	2.3E-05	132	ok	16.65	15.12172	33.70419	0.505563	31.97381	0.479607
	114266.3	1791989	6.325	0	132	ok	4.13E-05	132	ok	12.65	15.68257	12.65004	0.189751	22.00759	0.330114
	45105.12	762188.3	4.125	0	132	ok	7.83E-05	132	ok	8.25	16.89804	8.250078	0.123751	21.02308	0.315346

15N	670435.5	0	6.88	0	165	ok	1.29E-05	165	ok	17.2	0	17.20001	0.2064	8.600006	0.1032
	481420.5	0	6.66	0	165	ok	1.79E-05	165	ok	16.65	0	16.65002	0.1998	8.325009	0.0999
	267954.4	0	5.06	0	165	ok	1.99E-05	165	ok	12.65	0	12.65002	0.1518	6.32501	0.0759
	105771.5	0	3.3	0	165	ok	3.77E-05	165	ok	8.25	0	8.250038	0.099	4.125019	0.0495
15-16E	858840.7	5849448	5.292308	0	214.5	ok	1.86E-05	214.5	ok	17.2	6.810864	17.20002	0.158769	15.41087	0.142254
	589031.4	5481336	5.123077	0	214.5	ok	2.72E-05	214.5	ok	16.65	9.305677	16.65003	0.153693	17.63069	0.162745
	327849.7	3164018	3.892308	0	214.5	ok	3.01E-05	214.5	ok	12.65	9.65082	12.65003	0.11677	15.97584	0.147469
16N	129414.4	1345755	2.538462	0	214.5	ok	5.72E-05	214.5	ok	8.25	10.3988	8.250057	0.076154	14.52383	0.134066
	527839.8	5699462	8.390244	0	135.3	ok	1.34E-05	135.3	ok	17.2	10.79771	17.20001	0.251708	19.39772	0.283869
	362016.2	5340789	8.121951	0	135.3	ok	1.96E-05	135.3	ok	16.65	14.7529	16.65002	0.243659	23.07791	0.337726
	201495	3082890	6.170732	0	135.3	ok	2.17E-05	135.3	ok	12.65	15.30008	12.65002	0.185122	21.62509	0.316465
16W	79537.51	1311248	4.02439	0	135.3	ok	4.12E-05	135.3	ok	8.25	16.48591	8.250041	0.120732	20.61093	0.301623
	476367.1	5073050	7.644444	0	148.5	ok	1.81E-05	148.5	ok	17.2	10.64945	17.20002	0.229334	19.24946	0.25666
	314368.8	4753798	8.325	17.05417	132	ok	2.43E-05	132	ok	16.65	15.12172	33.7042	0.505563	31.97382	0.479607
	174974.9	2744058	6.325	0	132	ok	2.7E-05	132	ok	12.65	15.68258	12.65003	0.18975	22.00759	0.330114
	69069.06	1167133	4.125	0	132	ok	5.12E-05	132	ok	8.25	16.89805	8.250051	0.123751	21.02308	0.315346

❖ Verifica a presso flessione per carichi laterali.

parete	Nd [N]	Fi	Nrd [N] estremità		Fi	Nrd [N] mezzeria	
1 N	428916.8	0.892129	3623737	ok	0.889628	3613580	ok
	267805.7	0.903945	3977686	ok	0.822947	3621266	ok
1W	194290.3	0.9248	1701589	ok	0.924898	1701770	ok
	121310.3	0.901558	1797050	ok	0.833923	1662235	ok
1E	194290.3	0.9248	1701589	ok	0.924898	1701770	ok
	121310.3	0.901558	1797050	ok	0.833923	1662235	ok
2N	783756.3	0.926608	4206695	ok	0.961864	4366753	ok
	603686.2	0.906785	4459734	ok	0.968093	4761255	ok
	245803.6	0.898622	4079640	ok	0.823407	3738174	ok
2W	328791.5	0.935562	2285555	ok	0.943525	2305008	ok
	238354.6	0.561578	1197709	ok	0.765349	1632302	ok

2E	103855.1	0.805542	1655550	ok	0.755544	1552795	ok
	305259	0.893476	1489806	ok	0.9029	1505521	ok
	243532.2	0.913054	1826915	ok	0.86661	1733986	ok
	108334.1	0.904044	1808887	ok	0.792307	1585313	ok
2S	424731.4	0.892121	3240150	ok	0.931289	3382410	ok
3W	414968.3	0.927934	2546124	ok	0.935533	2566974	ok
	306651	0.90312	2478036	ok	0.865357	2374419	ok
	133613.1	0.805542	2129920	ok	0.755544	1997722	ok
3S	867851.3	0.926937	4909627	ok	0.961926	5094949	ok
	595426.6	0.772728	4560529	ok	0.881518	5202589	ok
	196643	0.215	780860.5	ok	0.274423	996680.6	ok
3E	397996.6	0.895463	1920948	ok	0.903771	1938771	ok
	313312.2	0.913054	2350387	ok	0.86661	2230830	ok
	139375.4	0.904044	2327192	ok	0.792307	2039557	ok
4W	578421.4	0.896052	3175976	ok	0.898784	3185659	ok
	396119.2	0.90312	3201026	ok	0.865357	3067179	ok
	172595.9	0.805542	2751345	ok	0.755544	2580577	ok
4E	543436.7	0.891908	3621110	ok	0.89193	3621199	ok
	334617.8	0.16	494921	ok	0.285772	883965.1	ok
	125608.9	0.16	371190.7	ok	0.21719	503868.1	ok
4S	864522.6	0.895531	4065670	ok	0.939549	4265509	ok
	613911.7	0.899976	4902945	ok	0.950571	5178582	ok
	245803.7	0.229156	1040342	ok	0.556092	2524593	ok
5N	806949.9	0.907555	3470860	ok	0.907645	3471202	ok
	610246.3	0.916258	4555291	ok	0.868132	4316027	ok
	248474.7	0.906849	4161730	ok	0.772591	3545589	ok
5E	729068.7	0.898549	2953202	ok	0.910906	2993815	ok
	560024.9	0.906005	3870936	ok	0.89465	3822425	ok
	249124.3	0.897952	3836532	ok	0.843637	3604469	ok
5S	496965.3	0.895531	5137310	ok	0.939549	5389824	ok

	180297.6	0.899975	1439924	ok	0.950571	1520875	ok
	72189.26	0.229156	305533.7	ok	0.556092	741437.1	ok
6W	748525.5	0.894011	3964451	ok	0.900262	3992172	ok
	503738.4	0.898296	3983455	ok	0.876955	3888817	ok
	224085.5	0.92299	4092960	ok	0.861842	3821799	ok
6S	910340.2	0.892173	4415313	ok	0.931415	4609519	ok
	617634.9	0.784656	3892857	ok	0.890635	4418639	ok
	256620	0.588602	2590490	ok	0.786001	3459260	ok
6E	649089.4	0.910457	3076055	ok	0.977904	3303928	ok
	449263.2	0.916258	3353605	ok	0.994004	3638164	ok
	182927	0.906849	3063865	ok	0.968262	3271353	ok
7S	509396.1	0.892173	2470662	ok	0.931415	2579334	ok
	345608	0.784656	2178313	ok	0.890635	2472524	ok
	143596	0.480362	1182990	ok	0.547797	1349061	ok
7E	604683.6	0.910457	2563417	ok	0.977904	2753314	ok
	449263.2	0.916258	3353605	ok	0.994004	3638164	ok
	182927	0.906849	3063865	ok	0.968262	3271353	ok
8S	781957.7	0.892173	4499728	ok	0.931415	4697647	ok
	503547.2	0.784656	3662129	ok	0.890635	4156748	ok
	209217.9	0.480362	1988814	ok	0.786001	3254231	ok
8E	886443.4	0.898386	4173496	ok	0.911969	4236596	ok
	611682.4	0.799456	3730772	ok	0.841376	3926399	ok
	272103.8	0.897952	4190419	ok	0.843637	3936950	ok
9W	662784.2	0.894644	2968400	ok	0.906027	3006168	ok
	475824.1	0.89768	3871934	ok	0.891881	3846920	ok
	167666.2	0.92299	3062452	ok	0.861842	2859562	ok
9E	745237.1	0.922823	3402106	ok	0.961154	3543420	ok
	537503.7	0.786762	3501245	ok	0.88735	3948883	ok
	219562.9	0.244712	921475.6	ok	0.72024	2712100	ok
9S	2042965	0.897315	11249832	ok	0.943936	11834334	ok

	1246442	0.904937	9454636	ok	0.963255	10063938	ok
	479746.1	0.8844	9088589	ok	0.94145	9674869	ok
10W	862547.2	0.89626	4310072	ok	0.902577	4340451	ok
	577394.6	0.90371	4345896	ok	0.870472	4186056	ok
	224498.6	0.889211	4276172	ok	0.832927	4005506	ok
10S	2995255	0.895263	12956712	ok	0.914652	13237324	ok
	2005043	0.902546	13062115	ok	0.901064	13040669	ok
	779587	0.927908	13429166	ok	0.904631	13092290	ok
10E	1322707	0.892991	4771499	ok	0.933381	4987316	ok
	1005870	0.834747	4141694	ok	0.923189	4580509	ok
	641771.1	0.759603	3189033	ok	0.866801	3639085	ok
	445780	0.915713	4764965	ok	0.763816	3974564	ok
11N	1159774	0.904834	1146112	NO	0.950501	1203956	ok
	1159774	0.904834	1146112	NO	0.950501	1203956	ok
	1073151	0.90872	4693342	ok	0.905907	4678813	ok
	683568	0.892	4606985	ok	0.891455	4604168	ok
	442457.9	0.914125	4721258	ok	0.775644	4006032	ok
11E	1640119	0.905518	4797585	ok	0.964768	5111503	ok
	1277792	1.02614	6310415	ok	1.021001	6278809	ok
	813918.6	0.927908	5706317	ok	0.962108	5916635	ok
	526830.9	0.908554	5587299	ok	0.810864	4986541	ok
11S	1983824	0.900011	1689968	NO	0.944302	1773134	NO
	1983824	0.900011	1689968	NO	0.944302	1773134	NO
	1835653	0.903569	6918091	ok	0.92546	7085696	ok
	1169261	0.927908	7104435	ok	0.941834	7211062	ok
	756835.9	0.908554	6956257	ok	0.864838	6621547	ok
12N	1021827	0.89724	5168202	ok	0.902084	5196100	ok
	703390.7	0.931026	5362809	ok	0.727887	4192710	ok
12E	978910.7	0.903286	4102082	ok	0.958987	4355035	ok
	727854.2	0.275	1420542	ok	0.50413	2604136	ok

12S	1747862	0.893111	7626213	ok	0.912428	7791161	ok
	1203168	0.924499	7894237	ok	0.860582	7348447	ok
13N	997309.4	0.89724	2559950	ok	0.922605	2632320	ok
	839579.2	0.926216	3046192	ok	0.961791	3163191	ok
	657761.2	0.22	1185018	ok	0.22	1185018	ok
13E	1101129	0.90575	3856192	ok	0.965375	4110043	ok
13S	865763.5	0.893111	3777470	ok	0.912428	3859173	ok
	595961.9	0.22	930504.1	ok	0.801635	3390566	ok
14N	724542.1	0.926216	3046192	ok	0.961791	3163191	ok
	542724	0.218501	971106.2	ok	0.548731	2438780	ok
	120120	0.871223	3872065	ok	0.883762	3927790	ok
14E	1090933	0.893111	5492329	ok	0.901807	5545805	ok
	750960.5	0.924499	5685358	ok	0.781667	4806985	ok
15W	311088.5	0.906498	1701934	ok	0.892	1674713	ok
	205296.6	0.773533	1290928	ok	0.787375	1314029	ok
	114266.3	0.899474	1501107	ok	0.825741	1378056	ok
	45105.12	0.930399	1552718	ok	0.83077	1386449	ok
15N	670435.5	0.90248	2825447	ok	0.95692	2995886	ok
	481420.5	0.901297	3056872	ok	0.953909	3235311	ok
	267954.4	0.892347	3026518	ok	0.931834	3160441	ok
	105771.5	0.93832	3182439	ok	0.96406	3269740	ok
15-16E	858840.7	0.893685	4279219	ok	0.902292	4320433	ok
	589031.4	0.892712	4274559	ok	0.888	4251999	ok
	327849.7	0.932634	4465716	ok	0.91667	4389277	ok
	129414.4	0.94563	4527949	ok	0.915516	4383754	ok
16N	527839.8	0.910284	2678838	ok	0.893124	2628338	ok
	362016.2	0.908938	2674876	ok	0.858848	2527470	ok
	201495	0.898626	2644529	ok	0.829712	2441727	ok
	79537.51	0.931366	2740878	ok	0.837302	2464063	ok
16W	476367.1	0.906498	2606157	ok	0.892	2564474	ok

314368.8	0.773533	1976788	ok	0.787375	2012162	ok
174974.9	0.899474	2298633	ok	0.825741	2110206	ok
69069.06	0.9304	2377664	ok	0.83077	2123058	ok

9.8 Analisi statica lineare

L'analisi statica lineare consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica e può essere effettuata a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame (T_1) non superi $2.5 T_C$ o T_D e che la costruzione sia regolare in altezza.

L'entità della forza si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo T_1 e la loro distribuzione sulla struttura segue la forma del modo di vibrare principale nella direzione in esame, valutata in modo approssimato.

Tale metodo può essere applicato anche a due modelli piani separati nel caso che, oltre al requisito di regolarità in altezza, la struttura rispetti anche le condizioni di regolarità in pianta.

Si riportano di seguito le tabelle riassuntive del calcolo della ripartizione delle forze sismiche.

<i>impalcato quota 3550</i>				Fi [N]						
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr) ²	yi -yr	Kxi (yi-yr) ²	Fxi	Fyi
	6770	3590	450	1465778735	-4036.29	5.53576E+12	13887.95	2.08413E+12	6055.137	187244.3
	2875	3590	480	1465778735	-7421.29	3.05563E+11	12450.45	1.4782E+13	54554.05	3210.431
	2875	3590	480	1465778735	-651.291	2353380515	12450.45	1.4782E+13	54554.05	2904.175
	6810	3905	500	1465778735	-4016.29	5.50589E+12	11012.95	1.40342E+12	6755.457	188037.9
	3490	3905	630	1465778735	-7421.29	8.32828E+11	9267.946	1.45182E+13	101082.6	8750.195
	6810	2410	480	1465778735	-611.291	2.20035E+11	9267.946	4.62614E+12	32209.37	308039.7
	3490	3905	430	1465778735	-4016.29	80073349777	7522.946	6.52906E+12	70634.35	2734.674
	4490	4055	550	1465778735	-7421.29	6.47865E+11	5277.946	5.78377E+12	130923.1	6806.864

6810	4785	700	1465778735	-611.291	1.41037E+11	5277.946	6.193E+11	14018.65	197445.2
4490	4055	430	1465778735	-4016.29	92191767527	3032.946	1.49319E+12	105329.5	3148.543
5800	4785	550	1465778735	-7421.29	5.15466E+11	132.9458	4193213381	159553.1	5415.799
5800	4785	630	1465778735	-611.291	5206252530	132.9458	4803135328	182760.9	7288.52
6810	5015	600	1465778735	-4016.29	4.89686E+12	-2767.05	94641653395	8605.217	167237.9
8605	4785	400	1465778735	3691.209	3.96598E+12	3032.946	49856176936	3516.84	142061.6
5800	4785	510	1465778735	7993.709	4.78889E+11	132.9458	3888252408	147949.3	3394.737
8605	5015	600	1465778735	3691.209	5.61307E+12	-2767.05	1.19588E+11	10873.41	201060.4
6335	5015	630	1465778735	-7421.29	7.3063E+11	-5934.55	1.0152E+13	208119.1	7676.437
5540	5015	670	1465778735	-1881.29	8.33363E+11	-5934.55	3.7565E+11	7700.9	125616
6335	5015	400	1465778735	-4651.29	57297359281	-9102.05	1.43754E+13	129759.7	1472.713
3100	5015	670	1465778735	1218.709	1.16051E+11	-5934.55	2.10201E+11	4309.168	39709.16
6335	5015	400	1465778735	-331.291	380960456.4	-9102.05	1.51627E+13	136865.9	1807.888
6775	5015	670	1465778735	7993.709	2.1509E+13	-5934.55	5.98148E+11	12262.17	152472.6
6335	5015	550	1465778735	4606.209	1.44619E+11	-9102.05	1.97662E+13	178419.6	3275.759
				tot	5.22304E+13		1.27538E+14	1766812	1766812

<i>impalcato quota 3620</i>				Fi [N]	1361063					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr)2	yi -yr	Kxi (yi-yr)2	Fxi	Fyi
	4740	5050	630	-1.428E+09	-7741.18	5.8283E+11	3609.331	2.38897E+12	328759.1	-1468.68
	4740	5050	700	-1.428E+09	7673.824	7.79061E+11	3609.331	2.65441E+12	365287.9	23400.78
	15415	5580	610	-1.428E+09	-33.6763	824738283.2	1239.331	25233702002	24603.64	588254.8
	6870	5580	630	-1.428E+09	-7741.18	6.30275E+11	-2195.67	1.33981E+12	297308.8	-1588.23
	6870	5580	700	-1.428E+09	7673.824	8.43721E+11	-2195.67	1.48868E+12	330343.2	25343.01
	15415	5580	650	-1.428E+09	-33.6763	1019430599	-5630.67	7.2895E+11	14760.52	727121.5
				tot		2.83773E+12		8.62605E+12	1361063	1361063

<i>impalcato quota 3495</i>				Fi [N]	1942183					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr) ²	yi -yr	Kxi (yi-yr) ²	Fxi	Fyi
	2000	6197.5	570	-2.75E+09	-12456.2	2.60692E+12	4261.83	30366634800	5323.253	3798.86
	2000	6197.5	570	-2.75E+09	-6301.24	6.67122E+11	4261.83	30366634800	5323.253	20491.88
	2000	6197.5	650	-2.75E+09	-12456.2	2.75922E+12	-4253.17	39564676655	3957.724	4020.803
	2000	6197.5	650	-2.75E+09	-6301.24	7.06097E+11	-4253.17	39564676655	3957.724	21689.08
	8515	6197.5	560	-2.75E+09	-5301.24	1.89825E+11	4.330192	5398451.019	718838.6	9328.422
	9095	6822.5	570	-2.75E+09	-753.737	1.5974E+11	4261.83	1.03873E+11	18208.84	594708.4
	8515	9022.5	480	-2.75E+09	3793.763	20093520032	4.330192	2643376.396	351982.6	3977.689
	9095	6822.5	650	-2.75E+09	-753.737	2.01409E+11	-4253.17	1.35324E+11	13536.73	749842.9
	4505	9022.5	570	-2.75E+09	6046.263	1.77915E+12	4261.83	22403647743	3927.346	156355.8
	8515	9022.5	450	-2.75E+09	8298.763	79288669366	4.330192	2478165.371	329983.7	4117.401
	4505	9022.5	650	-2.75E+09	6046.263	1.97366E+12	-4253.17	29182196939	2919.146	173450.4
	4000	9022.5	740	-2.75E+09	10298.76	5.09455E+12	4261.83	43245338081	7580.882	187287.5
	8515	9022.5	650	-2.75E+09	9708.763	3.24955E+11	4.330192	3579572.203	476643.1	13113.83
					tot	1.6562E+13		4.73905E+11	1942183	1942183

<i>impalcato quota 3440</i>				Fi [N]	387540.1					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr) ²	yi -yr	Kxi (yi-yr) ²	Fxi	Fyi
	3755	4825	450	223313718	-2779.11	25265186349	-2277.47	4.91568E+11	80120.37	4326.219
	4696.256	4825	500	223313718	-779.111	86208083977	-2277.47	22160424343	3611.914	159479.1
	6630	4825	650	223313718	2451.756	1.0236E+11	-778.4	2.02512E+11	232563.1	13631.96
	6460	4825	410	223313718	451.7556	41521752631	3974.1	67458416208	946.4607	203478.1
	5750	4825	450	223313718	-2779.11	38688367912	2475.033	1.1602E+12	70298.31	6624.703
					tot	2.94043E+11		1.9439E+12	387540.1	387540.1

<i>impalcato quota 6770</i>				Fi [N]	169442.1					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr)2	yi -yr	Kxi (yi-yr)2	Fxi	Fyi
	6770	1610	450	-4.506E+09	0	0	1239.449	1.92461E+11	440237.2	150097.3
	2875	1610	480	-4.506E+09	-3385	7.27482E+11	-198.051	15376569983	-135398	-567326
	2875	1610	480	-4.506E+09	3385	7.27482E+11	-198.051	15376569983	-135398	586670.4
tot						1.45496E+12		2.23214E+11	169442.1	169442.1

<i>impalcato quota 7400</i>				Fi [N]	3624797					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr)2	yi -yr	Kxi (yi-yr)2	Fxi	Fyi
	6810	3467.5	500	1786194860	-3171.3	4.63598E+12	14253.06	3.86494E+12	13754.7	377268.5
	3490	3467.5	550	1786194860	-6576.3	6.22721E+11	12508.06	2.80314E+13	131959.3	12164.65
	3490	3467.5	430	1786194860	233.6964	294744696.6	12508.06	2.02449E+13	95303.89	4274.545
	4490	3467.5	550	1786194860	-6576.3	8.01151E+11	8518.057	1.89061E+13	199967.9	15650.22
	6810	3467.5	650	1786194860	-3171.3	5.19549E+12	6273.057	1.3835E+12	27593.01	422800.9
	4490	3467.5	430	1786194860	233.6964	379198764.4	8518.057	1.40488E+13	148592.6	5499.343
	5800	3467.5	550	1786194860	-6576.3	1.03489E+12	3373.057	4.16147E+12	295285.7	20216.32
	5800	3467.5	400	1786194860	233.6964	395732158.3	3373.057	2.94038E+12	208640.6	5739.119
	6810	3467.5	600	1786194860	-3171.3	4.79584E+12	473.0566	6243086629	23149.62	390277.8
	8605	3467.5	400	1786194860	4536.196	1.00617E+13	6273.057	4.90723E+11	9787.155	370981.5
	5800	3467.5	510	1786194860	8838.696	1.34138E+12	3373.057	4.34882E+12	308579.5	12454.21
	2000	3467.5	600	1786194860	1233.696	91332718357	473.0566	1833505618	6798.715	47063.73
	6335	3467.5	630	1786194860	-6576.3	1.66916E+12	-2694.44	3.39342E+12	399332.4	32606.54
	5540	3467.5	620	1786194860	-3806.3	6.32961E+12	-5861.94	9.94708E+11	25442.1	359715.3
	6335	3467.5	400	1786194860	-1036.3	9859341882	-2694.44	2.44269E+12	287452.2	7361.844
	3100	3467.5	620	1786194860	513.6964	46340751500	-5861.94	5.56606E+11	14236.56	138709.5
	6335	3467.5	400	1786194860	2063.696	39098988858	-2694.44	2.44269E+12	287452.2	7141.23
	6775	3467.5	620	1786194860	5451.196	1.48251E+13	-5861.94	1.355E+12	34657.47	374971.2
	6335	3467.5	510	1786194860	8838.696	1.46511E+12	-2694.44	3.11443E+12	366501.6	13603.01

4740	3432.5	630	1786194860	-6576.3	1.15516E+12	-8231.94	2.45176E+13	324637.6	22565.68
4740	3432.5	650	1786194860	8838.696	2.28336E+12	-8231.94	2.5296E+13	334943.5	21200.15
15415	3432.5	610	1786194860	1131.196	1.56883E+12	-10601.9	9.90992E+12	80728.42	962531.3
				tot	5.79732E+13		1.72452E+14	3624797	3624797

<i>impalcato quota 8100</i>				Fi [N]	2333170					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr)2	yi -yr	Kxi (yi-yr)2	Fxi	Fyi
	6870	3665	630	3210788877	-13155.7	6.18239E+12	-150.309	10895362107	642800.7	44685.67
	6870	3665	650	3210788877	2259.307	1.9941E+11	-150.309	11241246618	663207.1	30405.49
	15415	3665	650	3210788877	-5448.19	4.22535E+13	-3585.31	1.01129E+12	113149.4	1444331
	8155	3727.5	570	3210788877	6336.807	2.10421E+13	4929.691	7.35613E+11	35632.6	342340.6
	8515	3727.5	650	3210788877	10414.31	5.00344E+12	672.191	2.83805E+11	821380.5	24370.87
	8155	3727.5	650	3210788877	6336.807	2.74773E+13	-3585.31	5.09445E+11	57000.17	447037.1
				tot		1.02158E+14		2.56229E+12	2333170	2333170

<i>impalcato quota 6770</i>				Fi [N]	575896					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr)2	yi -yr	Kxi (yi-yr)2	Fxi	Fyi
	3755	2930	400	362197004	-2778.62	77405191179	-2206.34	9.09232E+11	123975.6	9126.181
	4696.256	2930	500	362197004	-778.622	2.1453E+11	-2206.34	1.0435E+11	14228.37	266875.9
	6630	2930	650	362197004	2452.245	4.26796E+11	-707.276	3.10797E+11	339692.3	35628.25
	6460	2930	410	362197004	452.2447	77785108646	4045.224	3.03284E+11	3258.191	250290.8
	5750	2930	400	362197004	-2778.62	1.1853E+11	2546.157	2.09765E+12	94741.59	13974.84
				tot		9.15046E+11		3.72531E+12	575896	575896

<i>impalcato quota 9300</i>				Fi [N]	538340					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr)2	yi -yr	Kxi (yi-yr)2	Fxi	Fyi
	3755	2090	400	-1.936E+09	-2527.2	1.69421E+11	-1602.4	7.46545E+11	4593.896	-3419.53
	4696.256	2090	500	-1.936E+09	-527.203	1.51077E+11	-1602.4	1.44696E+11	890.394	94216.17
	6630	2090	650	-1.936E+09	2703.664	1.29715E+12	-103.33	9656809479	219181	117400
	6460	2090	410	-1.936E+09	703.6644	2.74649E+11	4649.17	1.05793E+12	47013.54	199322.1
	5750	2090	400	-1.936E+09	-2527.2	2.59432E+11	3150.103	4.72798E+12	349721.5	-5236.3
	4000	2090	1000	-1.936E+09	-527.203	2.18171E+11	-3479.9	3.75412E+12	-83060.4	136057.6
					tot	2.3699E+12		1.04409E+13	538340	538340

<i>impalcato quota 10485</i>				Fi [N]	2521015					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr)2	yi -yr	Kxi (yi-yr)2	Fxi	Fyi
	6810	1542.5	500	2040438451	-3092.37	9.50202E+12	14683.83	3.50469E+13	28315.68	230257.7
	3490	1542.5	530	2040438451	-6497.37	5.1055E+12	12938.83	8.48006E+13	90621.23	29134.27
	3490	1542.5	430	2040438451	312.6288	5402222194	12938.83	6.80236E+13	72692.65	12301.4
	4490	1542.5	530	2040438451	-6497.37	6.56839E+12	8948.827	5.37896E+13	127387.3	37482.2
	6810	1542.5	400	2040438451	-3092.37	7.60162E+12	6703.827	3.96729E+12	17275.94	184206.1
	4490	1542.5	430	2040438451	312.6288	6950136862	8948.827	4.35499E+13	103137.3	15826.16
	5800	1542.5	530	2040438451	-6497.37	8.48478E+12	3803.827	1.27945E+13	179960	48417.98
	5800	1542.5	300	2040438451	-957.371	30513291010	3803.827	7.27066E+12	102264.9	7523.052
	6810	1542.5	500	2040438451	-3092.37	9.50202E+12	903.8275	1.32783E+11	34349.86	230257.7
	8605	1542.5	400	2040438451	4615.129	2.1618E+13	6703.827	5.01299E+12	21829.59	214120.8
	5800	1542.5	510	2040438451	8917.629	1.34656E+13	3803.827	1.43377E+13	201666.3	33759.66
	2000	1542.5	500	2040438451	1312.629	3.8869E+11	903.8275	38996415464	10088.06	49598.72
	6335	1542.5	630	2040438451	-6497.37	1.42646E+13	-2263.67	5.91028E+12	253586.9	81400.1
	5540	1542.5	550	2040438451	-3727.37	1.41301E+13	-5431.17	5.82758E+12	45121.54	237418.4
	6335	1542.5	400	2040438451	-957.371	75267589631	-2263.67	3.77295E+12	161882.5	18557.23
	3100	1542.5	550	2040438451	592.6288	1.83273E+11	-5431.17	3.26092E+12	25248.51	115744.2

6335	1542.5	400	2040438451	2142.629	3.77E+11	-2263.67	3.77295E+12	161882.5	17871.41
6775	1542.5	550	2040438451	5530.129	3.30334E+13	-5431.17	7.60997E+12	58922.18	225211.4
6335	1542.5	510	2040438451	8917.629	1.47077E+13	-5431.17	3.21225E+13	248716.8	36873.7
4740	1542.5	630	2040438451	-6497.37	1.06731E+13	-7801.17	5.1544E+13	198845.3	60905.52
4740	1542.5	550	2040438451	8917.629	1.34421E+13	-7801.17	5.2169E+13	201256.5	33700.71
15415	1542.5	600	2040438451	1210.129	3.99431E+12	-10171.2	7.54839E+13	175963.4	600446.4
				tot	1.8716E+14		5.70239E+14	2521015	2521015

<i>impalcato quota 10950</i>				Fi [N]	4001679					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr) ²	yi -yr	Kxi (yi-yr) ²	Fxi	Fyi
	6870	1425	630	-2.826E+10	-16130.9	1.15273E+14	442.8779	2.67332E+11	1198459	26245.98
	6870	4040	550	-2.826E+10	-715.861	9323633540	442.8779	73242328224	328348.4	9155.642
	15415	1425	650	-2.826E+10	-8423.36	2.66661E+14	-2992.12	9.21138E+12	802913.6	1056957
	8155	4040	570	-2.826E+10	3361.639	5.38831E+12	5522.878	7.30963E+11	24578.25	295941.3
	8515	4040	650	-2.826E+10	7439.139	2.02571E+12	1265.378	9.16089E+11	516634.6	27017.69
	8155	4040	650	-2.826E+10	3361.639	7.00732E+12	-2992.12	2.80852E+11	24480.53	384861.9
	9095	3727.5	570	-2.826E+10	11986.64	8.53086E+13	5522.878	1.02972E+12	34623.83	516007.7
	8515	3727.5	420	-2.826E+10	16534.14	3.14707E+12	1265.378	7.45632E+11	420504.3	11512.41
	9095	3727.5	650	-2.826E+10	11986.64	1.11931E+14	-2992.12	3.95714E+11	34492.6	677041.1
	8505	3727.5	570	-2.826E+10	20786.64	2.37673E+14	5522.878	9.62922E+11	32377.76	617460.8
	4505	3727.5	650	-2.826E+10	18786.64	1.07871E+14	-2992.12	1.96008E+11	17085.12	325483.3
	8515	3727.5	650	-2.826E+10	22449.14	2.32492E+13	1265.378	1.00572E+12	567180.7	53994.3
				tot		9.65545E+14		1.58156E+13	4001679	4001679

<i>impalcato quota 10950</i>				Fi [N]	425913.8					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr) ²	yi -yr	Kxi (yi-yr) ²	Fxi	Fyi
	3755	825	400	-478627323	-2667.41	2.13426E+12	-1327.35	1.43632E+12	39441.55	11576.47
	4696.256	825	500	-478627323	-667.413	6.69388E+11	-1327.35	1.07185E+12	29433.07	80048.3
	6630	825	650	-478627323	2563.454	9.38221E+12	171.7217	69911261565	140777.4	109899.1
	6460	825	410	-478627323	563.4544	4.6244E+11	4924.222	1.32336E+13	51437.93	90743.86
	5750	825	400	-478627323	-2667.41	3.26818E+12	3425.155	1.4813E+13	105116.2	17726.94
	4000	825	1000	-478627323	-667.413	9.69352E+11	-3204.85	1.77219E+13	59707.65	115919.2
tot						1.68858E+13		4.83465E+13	425913.8	425913.8

<i>impalcato quota 16180</i>				Fi [N]	1531352					
muri	l [mm]	h [mm]	t [mm]	M	xi -xr	Kyi (xi-xr) ²	yi -yr	Kxi (yi-yr) ²	Fxi	Fyi
	8155	2615	570	-480815905	-93.9086	6866493939	4315.111	1.54756E+12	91870.35	587542.2
	8515	2615	650	-480815905	3983.591	1.98124E+12	57.61087	3087536699	749817.1	130004.5
	8515	2615	550	-480815905	-4171.41	1.36625E+12	57.61087	2612531053	634460.6	36738.61
	8155	2615	650	-480815905	-93.9086	9081425327	-4199.89	1.92178E+12	55203.55	777066.3
tot						3.36344E+12		3.47505E+12	1531352	1531352

Combinazione delle forze sismiche.

Essendo di fatto un'analisi tridimensionale statica che calcola gli effetti applicando separatamente le 2 componenti orizzontali lungo le 2 direzioni principali Fx e Fy, bisogna tenere in conto che esse agiscano simultaneamente.

Per ottenere questo è possibile calcolare i tagli sulle pareti applicando separatamente le 2 azioni orizzontali. Infine, è necessario combinare i valori massimi degli effetti nelle due direzioni sommando, ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione.

parete	Ex+0,3Ey		0,3Ex+Ey		Taglio		Momento		carico solaio				sforzo normale	
	Fxi [N]	Fyi [N]	Fxi [N]	Fyi [N]	Vxi [N]	Vyi [N]	Mxi [Nmm]	Myi [Nmm]	Area [m2]	G1 [N/mm2]	G2 [N/mm2]	fi2Qk [N/mm2]	N [N]	σ0 [Mpa]
1 N	6999.573	178612.9	5967.226	188047.7	6999.573	188047.7	1.55E+09	9.08E+08	2.5964	0.00327	0.00092	0.0009	355380.7	0.116652
	477386.7	150097.3	111263	150097.3	477386.7	150097.3	1.54E+09	4.83E+08	2.5964	0.00054	0.00417	0	218233.4	0.071634
1W	62025.97	2951.308	53858.54	3234.552	62025.97	3234.552	6.36E+08	2E+09	3.2126	0.00327	0.00092	0.0009	180937.5	0.131114
	-153972	-618742	29089.58	-112010	153972.3	618742.3	4.96E+08	1.99E+09	3.2126	0.00054	0.00417	0	108446.9	0.078585
1E	62025.97	2881.435	53858.54	2906.292	62025.97	2906.292	6.36E+08	2.06E+09	3.4298	0.00327	0.00092	0.0009	183066	0.132657
	-153972	638087.1	29089.58	131355.2	153972.3	638087.1	4.96E+08	2.05E+09	3.4298	0.00054	0.00417	0	109470	0.079326
2N	7557.45	179410.3	6680.805	188841	7557.45	188841	1.99E+08	2.63E+09	7.2208	0.00327	0.00092	0.0009	725570.7	0.21309
	13097.18	380813.2	15883.62	365791.5	15883.62	380813.2	1.82E+08	2.2E+09	7.2208	0.00327	0.00092	0.003	550301.4	0.161616
	22065.07	238304.7	39067.26	216416.1	39067.26	238304.7	1.21E+08	7.35E+08	7.2208	0.00054	0.00417	0	223089.6	0.065518
2W	110941.2	8043.941	100165	8815.935	110941.2	8815.935	1.2E+09	1.64E+08	4.4973	0.00327	0.00092	0.0009	329325.6	0.149782
	126525.1	12394.26	149553.9	11421.23	149553.9	12394.26	9.46E+08	1.44E+08	4.4973	0.00327	0.00092	0.003	236867.5	0.123401
	73457.31	31192.11	120144.6	25594.6	120144.6	31192.11	3.71E+08	96227670	4.4973	0.00054	0.00417	0	101070.8	0.054642
2E	76096.29	2609.201	70125.93	2746.353	76096.29	2746.353	8.85E+08	60891837	5.1216	0.00327	0.00092	0.0009	321830.5	0.214454
	91379.24	4271.487	108011.1	4284.447	108011.1	4284.447	7.13E+08	54685079	5.1216	0.00327	0.00092	0.003	248279.4	0.165442
	58924.46	12256.15	96375.12	12379.24	96375.12	12379.24	2.97E+08	38189959	5.1216	0.00054	0.00417	0	107456.6	0.071604
2S	35350.75	305774.4	31916.96	308250.6	35350.75	308250.6	85195302	7.43E+08	10.967	0.00327	0.00092	0.0009	166111.3	0.050817
3W	137819.7	6257.463	130281.2	6858.005	137819.7	6858.005	1.65E+09	2.02E+08	5.9261	0.00327	0.00092	0.0009	419890.7	0.170031
	194586	15945.62	217393.4	14693.78	217393.4	15945.62	1.31E+09	1.85E+08	5.9261	0.00327	0.00092	0.003	306405.9	0.124076
	111645.9	40129.68	154463.9	32928.3	154463.9	40129.68	4.77E+08	1.24E+08	5.9261	0.00054	0.00417	0	130691.2	0.054919
3S	14757.1	195993.2	13949.91	197580.3	14757.1	197580.3	2.21E+08	2.85E+09	18.5204	0.00327	0.00092	0.0009	982239.1	0.20605
	27058.23	426773.5	29324.52	409938.8	29324.52	426773.5	1.74E+08	2.23E+09	18.5204	0.00327	0.00092	0.003	678412.9	0.153262
	15726.12	190643.8	19941.77	173132.9	19941.77	190643.8	61520374	5.88E+08	18.5204	0.00054	0.00417	0	238494.8	0.087553
3E	108427.8	3004.082	105041	3161.99	108427.8	3161.99	1.27E+09	77974552	6.4121	0.00327	0.00092	0.0009	415092.7	0.214996
	144593.4	5495.408	161541.2	5512.082	161541.2	5512.082	1.01E+09	70354156	6.4121	0.00327	0.00092	0.003	317313.3	0.164351
	90392.46	15767.94	125059.5	15926.3	125059.5	15926.3	3.86E+08	49132641	6.4121	0.00054	0.00417	0	137412.8	0.071173
4W	159751.6	4978.674	159534.7	5456.488	159751.6	5456.488	2.28E+09	2.56E+08	3.2181	0.00327	0.00092	0.0009	499615	0.156619
	292294.2	20597.91	304971.8	18980.83	304971.8	20597.91	1.78E+09	2.39E+08	3.2181	0.00327	0.00092	0.003	343002.5	0.107524

4E	171151.2	51837.9	195111.8	42535.44	195111.8	51837.9	6.02E+08	1.6E+08	3.2181	0.00054	0.00417	0	147923.3	0.048121
	182988.2	7234.921	182739.7	7293.51	182988.2	7293.51	1.75E+09	68514528	7.3539	0.00327	0.00092	0.0009	542970.8	0.148596
	206526.9	5735.013	215484.5	5752.413	215484.5	5752.413	1.17E+09	45612908	7.3539	0.00327	0.00092	0.003	344909.6	0.148668
4S	97259.15	7606.521	110875.1	7379.48	110875.1	7606.521	3.42E+08	23466116	7.3539	0.00054	0.00417	0	131259.1	0.075436
	8389.963	159564.7	8625.253	167952.2	8625.253	167952.2	2.27E+08	2.82E+09	22.5714	0.00327	0.00092	0.0009	1048505	0.256609
5N	23117.62	393944.7	23253.24	378405	23253.24	393944.7	1.98E+08	2.25E+09	22.5714	0.00327	0.00092	0.003	740839.1	0.181312
	33965.12	238304.7	35011.65	216416.1	35011.65	238304.7	1.08E+08	7.35E+08	22.5714	0.00054	0.00417	0	295390.9	0.086752
	3620.292	148823.5	3507.21	141432.2	3620.292	148823.5	1.29E+08	2.69E+09	18.0247	0.00327	0.00092	0.0009	926969.9	0.269311
5E	9597.47	365603.1	10401.32	388395.8	10401.32	388395.8	1.18E+08	2.22E+09	18.0247	0.00327	0.00092	0.003	683913.9	0.198697
	19871.25	201853.6	25198.09	235221.3	25198.09	235221.3	77736097	7.26E+08	18.0247	0.00054	0.00417	0	276030.6	0.080195
	148133.3	3771.763	147932.1	3359.642	148133.3	3771.763	2.37E+09	1.9E+08	3.3582	0.00327	0.00092	0.0009	617877.8	0.208884
5S	305453.2	12086.22	318701.6	13645.7	318701.6	13645.7	1.9E+09	1.78E+08	3.3582	0.00327	0.00092	0.003	470750.9	0.159145
	191795	29805.17	218645.7	40561.71	218645.7	40561.71	6.75E+08	1.25E+08	3.3582	0.00054	0.00417	0	207451.2	0.070132
	10601.41	210630.5	10898.72	200169.6	10898.72	210630.5	94742175	1.05E+09	31.5119	0.00327	0.00092	0.0009	917667.5	0.177739
6W	6789.317	46884.22	6829.145	47644.95	6829.145	47644.95	58013479	3.41E+08	31.5119	0.00327	0.00092	0.003	513681.6	0.428068
	9975.072	48823.23	10282.42	50932.62	10282.42	50932.62	31721273	1.57E+08	31.5119	0.00054	0.00417	0	203951	0.203951
	197353.2	7056.849	209121.2	7734.11	209121.2	7734.11	3.06E+09	4.23E+08	4.2233	0.00327	0.00092	0.0009	647542.7	0.162249
6S	402386.2	33221.99	389444.7	30613.84	402386.2	33221.99	2.35E+09	3.97E+08	4.2233	0.00327	0.00092	0.003	437748.3	0.109682
	260424.5	87149.64	241825.5	71510.39	260424.5	87149.64	8.03E+08	2.69E+08	4.2233	0.00054	0.00417	0	192265.2	0.048174
	7302.536	122828.2	7737.981	125875.5	7737.981	125875.5	2.73E+08	2.59E+09	19.2833	0.00327	0.00092	0.0009	1027885	0.276923
6E	25853.56	363747.5	24109.87	346659.6	25853.56	363747.5	2.47E+08	2.16E+09	19.2833	0.00327	0.00092	0.003	704574.7	0.205128
	47931.54	247346.2	40288.09	220341.7	47931.54	247346.2	1.48E+08	7.63E+08	19.2833	0.00054	0.00417	0	288224.2	0.094593
	119820.2	1395.187	130684.9	1479.929	130684.9	1479.929	2.07E+09	91303498	8.8557	0.00327	0.00092	0.0009	649757.7	0.256416
7S	289650.5	7384.914	280334.8	7287.15	289650.5	7384.914	1.63E+09	86316136	8.8557	0.00327	0.00092	0.003	450969.8	0.177968
	166247.4	18763.12	154374.4	18203.07	166247.4	18763.12	5.13E+08	57884218	8.8557	0.00054	0.00417	0	182423.4	0.07199
	4086.257	40308.44	4329.917	39653.37	4329.917	40308.44	1.53E+08	1.03E+09	10.3051	0.00327	0.00092	0.0009	566926.6	0.272955
7E	14466.8	138490.8	13491.08	139417.7	14466.8	139417.7	1.38E+08	8.98E+08	10.3051	0.00327	0.00092	0.003	388482.8	0.202124
	26820.9	114934.3	22543.88	117137.3	26820.9	117137.3	82742468	3.61E+08	10.3051	0.00054	0.00417	0	158995.4	0.093252
7E	126382	1800.651	137841.8	1808.561	137841.8	1808.561	2.09E+09	91739743	8.8557	0.00327	0.00092	0.0009	615599.4	0.242936

	289650.5	7095.289	280334.8	7289.976	289650.5	7289.976	1.63E+09	85644891	8.8557	0.00327	0.00092	0.003	450969.8	0.177968
	166247.4	17410.62	154374.4	18664.01	166247.4	18664.01	5.13E+08	57578485	8.8557	0.00054	0.00417	0	182423.4	0.07199
8S	11627.85	169406.5	12321.21	150896.3	12321.21	169406.5	3.7E+08	2.87E+09	19.4669	0.00327	0.00092	0.0009	932248.1	0.205375
	35217.97	368376.7	32842.69	396322.8	35217.97	396322.8	3.29E+08	2.3E+09	19.4669	0.00327	0.00092	0.003	618999.8	0.147363
	62591.63	209568	52610.4	252119.3	62591.63	252119.3	1.93E+08	7.78E+08	19.4669	0.00054	0.00417	0	252625.8	0.067796
8E	164752.8	3473.35	179691.8	3257.367	179691.8	3473.35	2.84E+09	2.06E+08	4.2584	0.00327	0.00092	0.0009	754229.7	0.216468
	369304.4	13201.07	357426.8	14904.4	369304.4	14904.4	2.24E+09	1.94E+08	4.2584	0.00327	0.00092	0.003	521199.8	0.16132
	264205.9	32554.44	222074.1	44303.18	264205.9	44303.18	8.15E+08	1.37E+08	4.2584	0.00054	0.00417	0	229367.7	0.070993
9W	328192.7	-1404.24	271622.4	5030.622	328192.7	5030.622	3.05E+09	3.05E+08	1.8649	0.00327	0.00092	0.003	545434.9	0.182652
	331859.5	22991.6	301254.5	21186.61	331859.5	22991.6	1.92E+09	2.88E+08	1.8649	0.00327	0.00092	0.003	388210.8	0.130002
	216148.6	65207.47	169082	53505.8	216148.6	65207.47	6.67E+08	2.01E+08	1.8649	0.00054	0.00417	0	137757.7	0.046131
9E	364658.5	23313.9	301802.7	14637.01	364658.5	23313.9	3.22E+09	2.93E+08	6.4701	0.00327	0.00092	0.003	696773.4	0.209998
	342394.7	20573.73	310818.1	23228.35	342394.7	23228.35	1.97E+09	2.13E+08	6.4701	0.00327	0.00092	0.003	490458.5	0.159188
	218769.7	29753.12	171132.3	40490.88	218769.7	40490.88	6.75E+08	1.25E+08	6.4701	0.00054	0.00417	0	199368.7	0.076474
9S	24586.21	588275.7	22846.02	590368.9	24586.21	590368.9	2.94E+09	1.15E+10	63.1611	0.00327	0.00092	0.003	2777255	0.295354
	82994.94	959168.4	73389.87	973419.7	82994.94	973419.7	2.85E+09	9.35E+09	63.1611	0.00327	0.00092	0.003	1710418	0.181898
	870246.5	1749356	797647.9	1002808	870246.5	1749356	2.48E+09	4.99E+09	63.1611	0.00054	0.00417	0	666523.9	0.072064
10W	297831	-1518.56	349984.4	5440.144	349984.4	5440.144	7.57E+09	7.64E+08	5.6696	0.00054	0.00417	0.003	777626.8	0.179669
	640417.6	29235.43	643628.1	50049.86	640417.6	50049.86	6.3E+09	7.44E+08	5.6696	0.00054	0.00417	0.003	514566.1	0.11889
	1185257	182543	1199492	14022.77	1199492	182543	3.42E+09	5.2E+08	5.6696	0.00054	0.00417	0	199395	0.04607
10S	14871.31	727147.4	25936.08	729734.6	25936.08	729734.6	3.1E+09	1.45E+10	39.9681	0.00054	0.00417	0.003	3108599	0.310247
	103876	1189352	116369	1532857	116369	1532857	3E+09	1.19E+10	39.9681	0.00054	0.00417	0.003	2038744	0.203473
	870246.5	1749356	328631.2	9133.365	870246.5	1749356	2.48E+09	4.99E+09	39.9681	0.00054	0.00417	0	787931.8	0.078638
10E	330923.4	25248.92	388871.5	15851.86	388871.5	25248.92	1.06E+10	3.77E+09	24.2938	0.00054	0.00417	0.003	1693805	0.352216
	660748.3	33307.27	664060.8	29398.02	664060.8	33307.27	9.17E+09	3.68E+09	24.2938	0.00054	0.00417	0.003	1262780	0.282786
	324731.3	9440.507	797647.9	1002808	797647.9	1002808	6.19E+09	3.53E+09	24.2938	0.00054	0.00417	0.003	795398.7	0.210506
	749611.2	128093.6	747385.3	107437.1	749611.2	128093.6	3.92E+09	6.7E+08	24.2938	0.00054	0.00417	0	457331.4	0.097653
11N	4553.922	26395.99	5287.481	4849.574	5287.481	26395.99	7.53E+08	6.13E+09	5.0669	0.00054	0.00417	0.003	1135193	0.995783
	4553.922	31923.09	5287.481	21023.4	5287.481	31923.09	7.53E+08	6.15E+09	5.0669	0.00054	0.00417	0.003	1135193	0.995783

	40538.54	451512.4	33929.3	304437	40538.54	451512.4	7.31E+08	6.02E+09	10.1338	0.00054	0.00417	0.003	1029494	0.221475
	21683.5	260883.6	24804.64	298683	24804.64	298683	5.44E+08	3.94E+09	10.1338	0.00054	0.00417	0.003	651683.1	0.140197
	90492.45	587823.2	75597.08	590860	90492.45	590860	4.73E+08	3.09E+09	10.1338	0.00054	0.00417	0	388082.4	0.083488
11E	718704	13194.67	718832.3	9508.193	718832.3	13194.67	1.22E+10	9.88E+08	18.8519	0.00054	0.00417	0.003	1786466	0.374647
	835261.5	40166.29	816561.1	18886.83	835261.5	40166.29	9.24E+09	9.33E+08	18.8519	0.00054	0.00417	0.003	1362405	0.246155
	500800.3	21061.94	517872.9	27483.46	517872.9	27483.46	5.4E+09	7.48E+08	18.8519	0.00054	0.00417	0.003	860231.5	0.155424
	749611.2	128093.6	747385.3	107437.1	749611.2	128093.6	3.92E+09	6.7E+08	18.8519	0.00054	0.00417	0	494046.8	0.089263
11S	4962.126	27938.14	4004.426	5132.903	4962.126	27938.14	7.64E+08	8.03E+09	5.11995	0.00054	0.00417	0.003	1771622	1.362786
	4962.126	33788.14	4004.426	22251.66	4962.126	33788.14	7.64E+08	8.05E+09	5.11995	0.00054	0.00417	0.003	1771622	1.362786
	52328.59	589596.6	58622.1	397541.7	58622.1	589596.6	7.43E+08	7.91E+09	10.2399	0.00054	0.00417	0.003	1618169	0.305272
	26533.48	339270.5	24319.98	388427.4	26533.48	388427.4	4.73E+08	5.19E+09	10.2399	0.00054	0.00417	0.003	1026611	0.193673
	56961.58	777437.8	75966.27	781454.3	75966.27	781454.3	3.97E+08	4.09E+09	10.2399	0.00054	0.00417	0	630411.3	0.118929
12N	15577.24	617591.1	18086.47	595772.4	18086.47	617591.1	3.22E+08	6.02E+09	6.3477	0.00054	0.00417	0.003	864859.3	0.166828
	30545.94	360347.6	34942.74	528181.1	34942.74	528181.1	2.6E+08	3.94E+09	6.3477	0.00054	0.00417	0	570967.4	0.110137
12E	351916.7	3405.817	351979.6	3951.098	351979.6	3951.098	4.33E+09	1.02E+08	25.9995	0.00054	0.00417	0.003	1075922	0.263242
	407616.3	7349.403	421512.2	11837.97	421512.2	11837.97	3.14E+09	88252094	25.9995	0.00054	0.00417	0	682345.3	0.190796
12S	16972.12	778694.6	13696.47	751184.4	16972.12	778694.6	3.36E+08	7.79E+09	5.9733	0.00054	0.00417	0.003	1418698	0.239979
	37385.17	472803.3	34266.38	693013.5	37385.17	693013.5	2.79E+08	5.17E+09	5.9733	0.00054	0.00417	0	953648.3	0.161314
13N	3359.755	124584.3	3900.955	154878.5	3900.955	154878.5	2.82E+08	5.9E+09	2.4689	0.00054	0.00417	0.003	816860	0.31811
	6485.272	133876.1	7529.939	184804	7529.939	184804	2.69E+08	5.37E+09	2.4689	0.00054	0.00417	0.003	676493.8	0.228545
	28564.4	367382	32675.98	637018.2	32675.98	637018.2	2.44E+08	4.75E+09	2.4689	0.00054	0.00417	0	517598.6	0.106769
13E	329921.9	3085.802	329980.8	4069.434	329980.8	4069.434	1.11E+09	13734339	20.4898	0.00054	0.00417	0.003	339026.5	0.088478
13S	3659.975	138205.3	2953.593	171811.6	3659.975	171811.6	1.5E+08	3.08E+09	2.2969	0.00054	0.00417	0.003	694499.4	0.237172
	18517.89	199897.9	16973.07	335304.7	18517.89	335304.7	1.38E+08	2.5E+09	2.2969	0.00054	0.00417	0	469250.6	0.160249
14N	6485.272	133876.1	7529.939	184804	7529.939	184804	1.19E+09	2.06E+09	2.0033	0.00054	0.00417	0.003	597666.4	0.201914
	106423.1	208743.3	-158423	107148.3	158423.5	208743.3	1.16E+09	1.44E+09	2.0033	0.00054	0.00417	0.003	442361	0.11059
	145955.9	138572.6	1860.524	100725.4	145955.9	138572.6	2.41E+08	2.29E+08	2.0033	0.00054	0.00417	0	101835.5	0.025459
14E	476553.9	9499.954	476639	12945.79	476639	12945.79	5.85E+09	4.59E+08	7.4593	0.00054	0.00417	0.003	931823.3	0.168359
	549797.2	31343.18	568540.1	55765.73	568540.1	55765.73	4.24E+09	4.16E+08	7.4593	0.00054	0.00417	0	612795.2	0.110718

15W	77350.47	4209.552	67813.9	3807.874	77350.47	4209.552	9.84E+08	1.05E+08	7.498	0.00327	0.00092	0.0048	447593.1	0.264887
	122170.7	9004.173	103264.4	7726.129	122170.7	9004.173	7.18E+08	90815624	7.498	0.00327	0.00092	0.0048	298807.7	0.19894
	86424.45	8355.335	-27952.5	-8102.74	86424.45	8355.335	3.12E+08	60831726	7.498	0.00327	0.00092	0.0009	161377.4	0.107442
	56319.36	24056.2	28121.51	3206.242	56319.36	24056.2	92926947	39692729	7.498	0.00054	0.00417	0	70011.78	0.046612
15N	3487.044	158059.1	3057.125	153170.3	3487.044	158059.1	1.7E+08	1.95E+09	6.7806	0.00327	0.00092	0.0048	704084.4	0.299849
	14021.23	265669.2	11851.4	253028.6	14021.23	265669.2	1.58E+08	1.41E+09	6.7806	0.00327	0.00092	0.0048	497730.7	0.211969
	16750.88	144549.1	-5417.79	74197.3	16750.88	144549.1	1.12E+08	5.24E+08	6.7806	0.00327	0.00092	0.0009	272568.6	0.116079
15-16E	42028.06	95691.71	20985.54	69556.18	42028.06	95691.71	69346292	1.58E+08	6.7806	0.00054	0.00417	0	113299.3	0.048251
	229224.4	14167.74	217729.4	16012.38	229224.4	16012.38	2.75E+09	8.29E+08	9.6656	0.00327	0.00092	0.0048	929156.7	0.215607
	337767.7	36390.51	317607.5	44375.27	337767.7	44375.27	1.96E+09	7.74E+08	9.6656	0.00327	0.00092	0.0048	634717.5	0.147283
	235595.8	33131.31	212652.4	150916.1	235595.8	150916.1	8.35E+08	6.26E+08	9.6656	0.00327	0.00092	0.0009	346914.8	0.0805
16N	134427.5	52813.39	145036.4	148186.8	145036.4	148186.8	2.39E+08	2.45E+08	9.6656	0.00054	0.00417	0	145074.4	0.033664
	1164.297	204657.7	1914.291	208718.7	1914.291	208718.7	3.2E+08	2.32E+09	6.7806	0.00327	0.00092	0.0048	594395.4	0.224419
	3586.554	251044.1	7026.195	258935	7026.195	258935	3.14E+08	1.6E+09	6.7806	0.00327	0.00092	0.0048	405881.3	0.153244
	7045.531	130766.6	62909.99	226588.7	62909.99	226588.7	2.9E+08	7.37E+08	6.7806	0.00327	0.00092	0.0009	221446	0.083609
16W	9521.117	77942.84	79551.75	99329.57	79551.75	99329.57	1.31E+08	1.64E+08	6.7806	0.00054	0.00417	0	93119.29	0.035158
	76313.96	6446.051	97025.46	5830.966	97025.46	6446.051	2.19E+09	1.61E+08	7.5035	0.00327	0.00092	0.0048	574883.2	0.222177
	98349.82	13788.02	136146.5	11830.96	136146.5	13788.02	1.85E+09	1.39E+08	7.5035	0.00327	0.00092	0.0048	382812.8	0.16644
	86100.25	12794.45	454571.4	-12407.7	454571.4	12794.45	1.4E+09	93151112	7.5035	0.00327	0.00092	0.0009	208130.3	0.090491
	37661.95	36837.06	150358.1	4909.692	150358.1	36837.06	2.48E+08	60781144	7.5035	0.00054	0.00417	0	88471.49	0.038466

Verifica nel piano delle sezioni :

- pressoflessione: la verifica a pressoflessione si effettua confrontando il momento agente di calcolo con il momento ultimo resistente, calcolato assumendo la muratura non reagente a trazione e una opposta distribuzione non lineare delle compressioni;
- taglio: la verifica a taglio si effettua confrontando il taglio agente di calcolo con il taglio ultimo resistente, calcolato sulla base della tensione di compressione agente sulla porzione di muratura compressa.

parete	Msd [Nmm]	verifica pressoflessione				Vsd [N]	verifica a taglio				
		Mu [Nmm]		l' [mm]	h0 [mm]		V p Rd [N]		t Od [Mpa]	Vs Rd [N]	
1 N	1.55E+09	1.08E+09	NO	3385	1130	6999.573	954992.4	ok	0.0333	86807.4	ok
	1.54E+09	6.96E+08	NO	3385	1610	477386.7	432061.1	NO	0.0311	57353.48	NO
1W	2E+09	2.3E+08	NO	1437.5	1130	3234.552	203545.5	ok	0.0333	32871.21	ok
	1.99E+09	1.46E+08	NO	1437.5	1610	618742.3	90629.92	NO	0.0311	18471.37	NO
1E	2.06E+09	2.32E+08	NO	1437.5	1130	2906.292	205623.1	ok	0.0333	33148.71	ok
	2.05E+09	1.47E+08	NO	1437.5	1610	638087.1	91425.84	NO	0.0311	18614.57	NO
2 N	1.99E+08	2.01E+09	ok	3405	1130	7557.45	1775256	ok	0.0333	136378.6	ok
	1.82E+08	1.63E+09	ok	3405	1925	15883.62	845256.4	ok	0.0311	101368.1	ok
2W	1.21E+08	7.16E+08	ok	3405	1542.5	39067.26	463990.4	ok	0.0333	63492.42	ok
	1.64E+08	4.84E+08	ok	1745	1130	8815.935	427905.6	ok	0.0667	76629.6	ok
2E	1.44E+08	3.59E+08	ok	1745	1925	12394.26	186663.5	ok	0.0667	42924.97	ok
	96227670	1.66E+08	ok	1745	1542.5	31192.11	107724.2	ok	0.0667	24223.88	NO
3W	60891837	4.34E+08	ok	1745	1130	2746.353	384135	ok	0.0667	66858.29	ok
	54685079	3.7E+08	ok	1745	1925	4284.447	192208.4	ok	0.0333	37396.97	ok
3S	38189959	1.76E+08	ok	1745	1542.5	12379.24	113882.9	ok	0.0333	21594.24	ok
	85195302	5.35E+08	ok	3405	1205	35350.75	444128.9	ok	0.0667	75259.27	ok
4W	2.02E+08	7.73E+08	ok	2245	1205	6858.005	641447.7	ok	0.0667	101445.6	ok
	1.85E+08	5.98E+08	ok	2245	1925	15945.62	310394.9	ok	0.0667	64703.05	ok
4E	1.24E+08	2.76E+08	ok	2245	1542.5	40129.68	179150.9	ok	0.0667	37710.01	NO
	2.21E+08	2.61E+09	ok	3405	1570	14757.1	1665504	ok	0.0667	232559.4	ok
3E	1.74E+08	2E+09	ok	3405	1925	29324.52	1037717	ok	0.0333	130356	ok
	61520374	7.49E+08	ok	3405	1542.5	19941.77	485794.6	ok	0.0333	60572.04	ok
4E	77974552	7.2E+08	ok	2245	1205	3161.99	597298.3	ok	0.0667	92088.71	ok
	70354156	6.09E+08	ok	2245	1925	5512.082	316395.3	ok	0.0333	52557.48	ok
4W	49132641	2.89E+08	ok	2245	1542.5	15926.3	187434.8	ok	0.0333	31541.52	ok
	2.56E+08	1.21E+09	ok	2900	1570	5456.488	769815.2	ok	0.0667	123865.9	ok
	2.39E+08	8.81E+08	ok	2900	1925	20597.91	457900.9	ok	0.0667	86735.47	ok

4E	1.6E+08	4.07E+08	ok	2900	1542.5	51837.9	263935.4	ok	0.0667	52484.69	ok
	68514528	1.33E+09	ok	2900	1570	7293.51	845138.4	ok	0.0667	137122.8	ok
	45612908	8.69E+08	ok	2900	1925	5752.413	451442	ok	0.0333	63921.12	ok
	23466116	3.55E+08	ok	2900	1542.5	7606.521	230349.4	ok	0.0333	33198.06	ok
4S	2.27E+08	2.6E+09	ok	3405	1685	8625.253	1543100	ok	0.0667	223144.6	ok
	1.98E+08	2.12E+09	ok	3405	1925	23253.24	1100772	ok	0.0333	134298.3	ok
5N	1.08E+08	9.29E+08	ok	3405	1542.5	35011.65	602148.3	ok	0.0333	75298.31	ok
	1.29E+08	2.85E+09	ok	4302.5	1570	3620.292	1815926	ok	0.0667	208384.6	ok
	1.18E+08	2.47E+09	ok	4302.5	1925	10401.32	1281206	ok	0.0311	122863.8	ok
	77736097	1.1E+09	ok	4302.5	1542.5	25198.09	715451.1	ok	0.0333	78505.9	ok
5E	1.9E+08	1.4E+09	ok	2900	1570	3771.763	888877.4	ok	0.0667	138127.1	ok
	1.78E+08	1.19E+09	ok	2900	1925	13645.7	617255.8	ok	0.0311	83554.77	ok
5S	1.25E+08	5.67E+08	ok	2900	1542.5	40561.71	367742.4	ok	0.0311	52553.4	ok
	94742175	3.21E+09	ok	4302.5	1685	10898.72	1902205	ok	0.0667	242935.1	ok
	58013479	3.2E+08	ok	1000	1925	6829.145	166054.8	ok	0.0333	56124.5	ok
6W	31721273	1.67E+08	ok	1000	1542.5	10282.42	108426.4	ok	0.0333	25843.77	ok
	4.23E+08	1.7E+09	ok	3167.5	1685	7734.11	1008146	ok	0.0667	159659.2	ok
	3.97E+08	1.23E+09	ok	3167.5	1925	33221.99	636643.1	ok	0.0667	115438	ok
	2.69E+08	5.78E+08	ok	3167.5	1542.5	87149.64	374674.8	ok	0.0667	72410.49	NO
6S	2.73E+08	2.15E+09	ok	2770	1685	7737.981	1276864	ok	0.0333	160311.2	ok
	2.47E+08	1.63E+09	ok	2770	1925	25853.56	844462.7	ok	0.0311	114410.5	ok
6E	1.48E+08	7.37E+08	ok	2770	1542.5	47931.54	477710.8	ok	0.0311	64478.8	ok
	91303498	1.59E+09	ok	3167.5	1685	1479.929	945074.5	ok	0.0333	106243.1	ok
	86316136	1.22E+09	ok	3167.5	1925	7384.914	634486	ok	0.0311	79024.72	ok
7S	57884218	5.41E+08	ok	3167.5	1542.5	18763.12	350807.8	ok	0.0333	48651.6	ok
	1.53E+08	6.67E+08	ok	1550	1685	4329.917	395901.6	ok	0.0333	77665	ok
	1.38E+08	5.03E+08	ok	1550	1925	14466.8	261307	ok	0.0311	53187.77	ok
	82742468	2.28E+08	ok	1550	1542.5	26820.9	147633.4	ok	0.0311	27894.75	ok
7E	91739743	1.45E+09	ok	3167.5	1685	1808.561	859547.7	ok	0.0667	130946.8	ok

	85644891	1.22E+09	ok	3167.5	1925	7289.976	634486	ok	0.0311	79024.72	ok
	57578485	5.41E+08	ok	3167.5	1542.5	18664.01	350807.8	ok	0.0333	48651.6	ok
8S	3.7E+08	2.47E+09	ok	3387.5	1685	12321.21	1466623	ok	0.0667	215742.9	ok
	3.29E+08	1.77E+09	ok	3387.5	1925	35217.97	919315	ok	0.0667	153547.9	ok
	1.93E+08	7.94E+08	ok	3387.5	1542.5	62591.63	514968.3	ok	0.0667	90303.59	ok
8E	2.06E+08	1.93E+09	ok	3167.5	1685	3473.35	1147006	ok	0.0333	130423	ok
	1.94E+08	1.43E+09	ok	3167.5	1925	14904.4	744924.3	ok	0.0311	94325.46	ok
	1.37E+08	6.85E+08	ok	3167.5	1542.5	44303.18	443767.7	ok	0.0311	59937.08	ok
9W	3.05E+08	1.04E+09	ok	2370	1720	5030.622	606208.6	ok	0.0667	113604.8	ok
	2.88E+08	8.23E+08	ok	2370	1890	22991.6	435257.9	ok	0.0311	68989.47	ok
	2.01E+08	3.11E+08	ok	2370	1542.5	65207.47	201321.4	ok	0.0667	42677.46	NO
9E	2.93E+08	1.28E+09	ok	2370	1720	23313.9	746610.2	ok	0.0667	139317.7	ok
	2.13E+08	1.01E+09	ok	2370	1890	23228.35	535276.3	ok	0.0311	82397.8	ok
	1.25E+08	4.43E+08	ok	2370	1542.5	40490.88	287242.8	ok	0.0311	45007.43	ok
9S	2.94E+09	1.58E+10	ok	7707.5	1810	24586.21	8744253	ok	0.0333	474851.4	ok
	2.85E+09	1.06E+10	ok	7707.5	2240	82994.94	4751780	ok	0.0667	486042.8	ok
	2.48E+09	4.75E+09	ok	7707.5	1425	870246.5	3329993	ok	0.0667	349772.3	NO
10W	7.64E+08	2.16E+09	ok	3435	1810	5440.144	1195021	ok	0.0667	185446.9	ok
	7.44E+08	1.55E+09	ok	3435	2240	50049.86	689745.3	ok	0.0667	127753.7	ok
	5.2E+08	6.52E+08	ok	3435	1425	182543	457200.8	ok	0.0667	84391.69	NO
10S	3.1E+09	1.79E+10	ok	7707.5	1810	25936.08	9892270	ok	0.0311	508648.9	ok
	3E+09	1.31E+10	ok	7707.5	2240	116369	5852416	ok	0.0311	386128.3	ok
	2.48E+09	5.68E+09	ok	7707.5	1425	870246.5	3988775	ok	0.0311	256285.8	NO
10E	3.77E+09	3.65E+09	NO	3435	1810	25248.92	2015683	ok	0.0667	315502.7	ok
	3.68E+09	3.04E+09	NO	3435	2240	33307.27	1356632	ok	0.0667	239261.1	ok
	3.53E+09	2.12E+09	NO	3435	1425	1002808	1489973	ok	0.0667	192606.9	NO
	6.7E+08	1.75E+09	ok	4257.5	2615	128093.6	667596	ok	0.0667	123977.4	NO
11N	7.53E+08	-6.2E+07	NO	1000	2087.5	5287.481	-29566.2	NO	0.0667	120148.3	ok
	7.53E+08	-6.2E+07	NO	1000	2087.5	5287.481	-29566.2	NO	0.0667	120148.3	ok

	7.31E+08	3.21E+09	ok	4077.5	2302.5	40538.54	1395598	ok	0.0667	222147	ok
	5.44E+08	2.26E+09	ok	4077.5	1425	24804.64	1587919	ok	0.0667	198626.3	ok
	4.73E+08	1.44E+09	ok	4077.5	2615	90492.45	551633.3	ok	0.0667	106950	ok
11E	9.88E+08	4.59E+09	ok	4257.5	2087.5	13194.67	2198185	ok	0.0667	330607.4	ok
	9.33E+08	4.29E+09	ok	4257.5	2302.5	40166.29	1862597	ok	0.0667	286960.8	ok
	7.48E+08	3.06E+09	ok	4257.5	1425	27483.46	2147169	ok	0.0667	253613.6	ok
	6.7E+08	1.9E+09	ok	4257.5	2615	128093.6	728337.4	ok	0.0667	137273	ok
11S	7.64E+08	-1.9E+08	NO	1000	2087.5	4962.126	-93351.2	NO	0.0311	181539.8	ok
	7.64E+08	-1.9E+08	NO	1000	2087.5	4962.126	-93351.2	NO	0.0311	181539.8	ok
	7.43E+08	4.96E+09	ok	4077.5	2302.5	58622.1	2153096	ok	0.0311	243442.6	ok
	4.73E+08	3.53E+09	ok	4077.5	1425	26533.48	2474157	ok	0.0311	193691.5	ok
	3.97E+08	2.32E+09	ok	4077.5	2615	75966.27	887763.9	ok	0.0311	124195.6	ok
12N	3.22E+08	3.24E+09	ok	4547.5	1687.5	18086.47	1918946	ok	0.0667	239308.6	ok
	2.6E+08	2.29E+09	ok	4547.5	3727.5	34942.74	615340.4	ok	0.0667	127121.8	ok
12E	1.02E+08	3.3E+09	ok	4257.5	1687.5	3951.098	1957897	ok	0.0667	239804.3	ok
	88252094	2.45E+09	ok	4257.5	3727.5	11837.97	658248.6	ok	0.0311	106189.1	ok
12S	3.36E+08	5.19E+09	ok	4547.5	1687.5	16972.12	3075843	ok	0.0311	244488.7	ok
	2.79E+08	3.77E+09	ok	4547.5	3727.5	37385.17	1010573	ok	0.0311	158238.3	ok
13N	2.82E+08	1.22E+09	ok	2252.5	1687.5	3900.955	723096	ok	0.0667	142833.1	ok
	2.69E+08	1.03E+09	ok	2000	1687.5	7529.939	607748.9	ok	0.0667	124069.1	ok
	2.44E+08	1.95E+09	ok	4252.5	3727.5	32675.98	523743.6	ok	0.0667	111350.5	ok
13E	13734339	1.31E+09	ok	4257.5	1687.5	4069.434	775218.9	ok	0.0667	118955.1	ok
13S	1.5E+08	1.26E+09	ok	2252.5	1687.5	3659.975	747946.8	ok	0.0311	106395.4	ok
	1.38E+08	9.19E+08	ok	2252.5	3727.5	18517.89	246552.6	ok	0.0311	58685.15	ok
14N	1.19E+09	9.4E+08	NO	2000	1687.5	7529.939	556905.6	ok	0.0667	113192.6	ok
	1.16E+09	7.81E+08	NO	2000	2902.5	158423.5	269121.1	ok	0.0667	67386.97	NO
	2.41E+08	1.98E+08	NO	2000	825	145955.9	240219.1	ok	0.0667	49570.17	NO
14E	4.59E+08	3.26E+09	ok	4257.5	1687.5	12945.79	1931865	ok	0.0667	251554.3	ok
	4.16E+08	2.3E+09	ok	4257.5	3727.5	55765.73	617872.7	ok	0.0667	130950.5	ok

15W	1.05E+08	6.05E+08	ok	1877.5	1720	4209.552	351546.5	ok	0.0667	76409.91	ok
	90815624	4.43E+08	ok	1877.5	1665	9004.173	265968.5	ok	0.0667	55506.83	ok
	60831726	2.69E+08	ok	1877.5	1265	8355.335	212266.8	ok	0.0667	40479.91	ok
	39692729	1.25E+08	ok	1877.5	825	24056.2	151466.2	ok	0.0667	28457.75	ok
15N	1.7E+08	1.22E+09	ok	2348.128	1720	3487.044	706893.2	ok	0.0333	103736.6	ok
	1.58E+08	9.67E+08	ok	2348.128	1665	14021.23	580752.8	ok	0.0311	79675.88	ok
	1.12E+08	5.8E+08	ok	2348.128	1265	16750.88	458113.3	ok	0.0311	57241.07	ok
	69346292	2.56E+08	ok	2348.128	825	42028.06	309800.7	ok	0.0311	39359.93	NO
15-16E	8.29E+08	2.38E+09	ok	3315	1720	16012.38	1381966	ok	0.0667	208228.6	ok
	7.74E+08	1.78E+09	ok	3315	1665	44375.27	1066642	ok	0.0667	165869.2	ok
	6.26E+08	1.05E+09	ok	3315	1265	150916.1	831619.9	ok	0.0667	128441.6	NO
	2.45E+08	4.64E+08	ok	3315	825	148186.8	562157	ok	0.0667	92804.84	NO
16N	3.2E+08	1.46E+09	ok	3230	1720	1914.291	850980.9	ok	0.0667	130143.3	ok
	3.14E+08	1.1E+09	ok	3230	1665	7026.195	659624.4	ok	0.0667	103451.6	ok
	2.9E+08	6.52E+08	ok	3230	1265	62909.99	515374.8	ok	0.0667	79822.4	ok
	1.31E+08	2.9E+08	ok	3230	825	79551.75	351004.3	ok	0.0667	57793.56	NO
16W	1.61E+08	1.26E+09	ok	2875	1720	6446.051	734867.9	ok	0.0667	121475.4	ok
	1.39E+08	9.07E+08	ok	2875	1665	13788.02	544520.9	ok	0.0667	90398.72	ok
	93151112	5.41E+08	ok	2875	1265	12794.45	427700.5	ok	0.0667	68866.55	ok
	60781144	2.44E+08	ok	2875	825	36837.06	295752.6	ok	0.0667	49705.96	ok

❖ Verifica a presso-flessione fuori del piano

Nel caso di analisi lineare statica, le verifiche fuori piano possono essere effettuate separatamente, adottando le forze equivalenti indicate per gli elementi non strutturali, e assumendo $q_a = 3$. L'effetto dell'azione sismica potrà essere valutato considerando un sistema di forze orizzontali distribuite, proporzionali alle masse delle pareti.

La verifica a pressoflessione si effettua confrontando il momento agente di calcolo con il momento ultimo resistente, calcolato assumendo la muratura non reagente a trazione e una opposta distribuzione non lineare delle compressioni.

parete	sollecitazioni fuori piano												verifica fuori piano		
	T1 [s]	ag /g	S	Z/H	E	m	Ta	Sa	> ag/g S		Wa [N/mm2]	pa [N/mm2]	Fa [N/mm]	M parete [Nmm]	
1 N	0.40337	0.442	1.06	0.166913	833.35	18.306	0.131014	0.892306	0.46852	ok	0.0081	0.002409	16.31047	10413419	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.57164	966.65	30.429	0.266725	1.747368	0.46852	ok	0.00945	0.005504	37.26349	48295347	ok
1W	0.40337	0.442	1.06	0.166913	833.35	19.5264	0.122825	0.871179	0.46852	ok	0.00864	0.002509	7.213364	4605373	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.57164	966.65	32.4576	0.250055	1.695928	0.46852	ok	0.01008	0.005698	16.38267	21232758	ok
1E	0.40337	0.442	1.06	0.166913	833.35	19.5264	0.122825	0.871179	0.46852	ok	0.00864	0.002509	7.213364	4605373	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.57164	966.65	32.4576	0.250055	1.695928	0.46852	ok	0.01008	0.005698	16.38267	21232758	ok
2N	0.40337	0.442	1.06	0.107773	833.35	20.34	0.117912	0.803205	0.46852	ok	0.009	0.00241	16.40947	10476627	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.399142	966.65	40.425	0.343176	1.689477	0.46852	ok	0.0105	0.005913	40.26868	74610322	ok
2W	0.40337	0.442	1.06	0.729852	833.35	27.765	0.219711	1.779651	0.46852	ok	0.009	0.005339	36.35828	43253740	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.107773	1096.3	19.9332	0.071956	0.69529	0.46852	ok	0.00882	0.002044	7.13409	4554760	ok
2E	0.40337	0.442	1.06	0.399142	1096.3	29.645	0.239193	1.452832	0.46852	ok	0.0077	0.003729	13.01399	24112481	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.729852	1096.3	22.8907	0.159376	1.545833	0.46852	ok	0.00742	0.003823	13.34353	15874168	ok
3S	0.40337	0.442	1.06	0.107773	1096.3	13.6052	0.105424	0.773147	0.46852	ok	0.00602	0.001551	5.414552	3456921	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.399142	833.35	29.799	0.397892	1.731955	0.46852	ok	0.00774	0.004468	15.59487	28894366	ok
3W	0.40337	0.442	1.06	0.729852	833.35	23.8779	0.255478	1.909038	0.46852	ok	0.00774	0.004925	17.18936	20449375	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.114926	1096.3	16.1952	0.107394	0.784393	0.46852	ok	0.00672	0.001757	11.96545	8687065	ok
3E	0.40337	0.442	1.06	0.114926	1096.3	18.557	0.093726	0.751784	0.46852	ok	0.0077	0.00193	8.663812	6290036	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.413448	1096.3	29.645	0.239193	1.470083	0.46852	ok	0.0077	0.003773	16.94172	31389839	ok
4W	0.40337	0.442	1.06	0.744158	1096.3	22.8907	0.159376	1.560555	0.46852	ok	0.00742	0.00386	17.33037	20617134	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.149738	1096.3	30.772	0.125012	0.86045	0.46852	ok	0.0098	0.002811	19.14157	23591025	ok
4E	0.40337	0.442	1.06	0.483071	833.35	45.045	0.263221	1.625748	0.46852	ok	0.0117	0.00634	43.17824	80001180	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.813782	833.35	22.212	0.274639	2.079467	0.46852	ok	0.0072	0.004991	33.98681	40432520	ok
4W	0.40337	0.442	1.06	0.114926	1096.3	14.5082	0.119882	0.814718	0.46852	ok	0.00602	0.001635	7.340556	5329336	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.413448	833.35	29.799	0.397892	1.752059	0.46852	ok	0.00774	0.00452	20.29621	37605063	ok
4W	0.40337	0.442	1.06	0.744158	833.35	23.8779	0.255478	1.926763	0.46852	ok	0.00774	0.004971	22.32001	26553072	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.149738	1096.3	24.178	0.159106	0.948167	0.46852	ok	0.0077	0.002434	14.11505	17396091	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.483071	1096.3	29.645	0.239193	1.554035	0.46852	ok	0.0077	0.003989	23.1344	42863706	ok

4E	0.40337	0.442	1.06	0.813782	1096.3	22.8907	0.159376	1.6322	0.46852	ok	0.00742	0.004037	23.41445	27855075	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.149738	1096.3	27.6948	0.138902	0.895928	0.46852	ok	0.00882	0.002634	15.27737	18828591	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.483071	833.35	27.72	0.427734	1.842708	0.46852	ok	0.0072	0.004422	25.6505	47525560	ok
4S	0.40337	0.442	1.06	0.813782	833.35	16.659	0.366186	2.293637	0.46852	ok	0.0054	0.004129	23.94557	28486921	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.160706	1096.3	28.308	0.167996	0.982783	0.46852	ok	0.0084	0.002752	18.73971	26603130	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.505007	833.35	41.58	0.285156	1.713803	0.46852	ok	0.0108	0.00617	42.01559	77847018	ok
5N	0.40337	0.442	1.06	0.835718	833.35	27.765	0.219711	1.902901	0.46852	ok	0.009	0.005709	38.87627	46249276	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.149738	1096.3	17.584	0.21877	1.101919	0.46852	ok	0.0056	0.002057	17.69976	21814064	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.483071	966.65	32.34	0.428969	1.841923	0.46852	ok	0.0084	0.005157	44.3793	82226524	ok
5E	0.40337	0.442	1.06	0.813782	833.35	22.212	0.274639	2.079467	0.46852	ok	0.0072	0.004991	42.94516	51089844	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.149738	1096.3	22.4196	0.171585	0.980622	0.46852	ok	0.00714	0.002334	13.53651	16683068	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.483071	966.65	41.2335	0.336447	1.794442	0.46852	ok	0.01071	0.006406	37.15572	68842584	ok
5S	0.40337	0.442	1.06	0.813782	966.65	33.04035	0.216026	1.862764	0.46852	ok	0.01071	0.00665	38.5704	45885399	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.160706	1096.3	28.308	0.167996	0.982783	0.46852	ok	0.0084	0.002752	23.67918	33615262	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.505007	833.35	41.58	0.285156	1.713803	0.46852	ok	0.0108	0.00617	12.33938	22862560	ok
6W	0.40337	0.442	1.06	0.835718	833.35	27.765	0.219711	1.902901	0.46852	ok	0.009	0.005709	11.41741	13582754	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.160706	1096.3	29.7234	0.159996	0.961781	0.46852	ok	0.00882	0.002828	17.91308	25429635	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.505007	1096.3	33.957	0.208819	1.481894	0.46852	ok	0.00882	0.004357	27.60013	51137862	ok
6S	0.40337	0.442	1.06	0.835718	1096.3	27.2097	0.134078	1.550494	0.46852	ok	0.00882	0.004558	28.8778	34354559	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.160706	833.35	40.6422	0.195658	1.055249	0.46852	ok	0.01206	0.004242	23.50123	33362638	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.505007	966.65	50.127	0.276754	1.691384	0.46852	ok	0.01302	0.007341	40.66697	75348268	ok
6E	0.40337	0.442	1.06	0.835718	966.65	35.63175	0.200315	1.824294	0.46852	ok	0.01155	0.007024	38.91038	46289851	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.160706	833.35	24.264	0.327727	1.341758	0.46852	ok	0.0072	0.00322	20.40009	28960223	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.505007	966.65	32.34	0.428969	1.872632	0.46852	ok	0.0084	0.005243	33.21675	61544409	ok
7S	0.40337	0.442	1.06	0.835718	833.35	22.212	0.274639	2.10745	0.46852	ok	0.0072	0.005058	32.04167	38118470	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.160706	833.35	40.6422	0.195658	1.055249	0.46852	ok	0.01206	0.004242	13.15051	18668624	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.505007	966.65	50.127	0.276754	1.691384	0.46852	ok	0.01302	0.007341	22.75589	42162388	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.835718	966.65	35.63175	0.200315	1.824294	0.46852	ok	0.01155	0.007024	21.77295	25902263	ok

7E	0.40337	0.442	1.06	0.160706	1096.3	18.872	0.251993	1.195781	0.46852	ok	0.0056	0.002232	14.14051	20074046	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.505007	966.65	32.34	0.428969	1.872632	0.46852	ok	0.0084	0.005243	33.21675	61544409	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.835718	833.35	22.212	0.274639	2.10745	0.46852	ok	0.0072	0.005058	32.04167	38118470	ok
8S	0.40337	0.442	1.06	0.160706	1096.3	31.6106	0.150444	0.936768	0.46852	ok	0.00938	0.002929	19.84371	28170381	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.505007	1096.3	33.418	0.212187	1.493083	0.46852	ok	0.00868	0.00432	29.26792	54227966	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.835718	1096.3	23.7545	0.153581	1.630758	0.46852	ok	0.0077	0.004186	28.35752	33735612	ok
8E	0.40337	0.442	1.06	0.160706	833.35	33.363	0.238347	1.163273	0.46852	ok	0.0099	0.003839	24.31881	34523292	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.505007	966.65	41.2335	0.336447	1.824449	0.46852	ok	0.01071	0.006513	41.26164	76450086	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.835718	966.65	33.04035	0.216026	1.888126	0.46852	ok	0.01071	0.006741	42.70177	50800290	ok
9W	0.40337	0.442	1.06	0.164044	1096.3	30.3408	0.166711	0.982901	0.46852	ok	0.00882	0.00289	13.69732	20261069	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.508345	966.65	50.0094	0.262548	1.655485	0.46852	ok	0.01323	0.007301	34.60526	61806727	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.835718	1096.3	27.2097	0.134078	1.550494	0.46852	ok	0.00882	0.004558	21.60706	25704911	ok
9E	0.40337	0.442	1.06	0.164044	1096.3	33.712	0.15004	0.939079	0.46852	ok	0.0098	0.003068	14.54069	21508593	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.508345	966.65	51.597	0.254469	1.631561	0.46852	ok	0.01365	0.007424	35.18788	62847320	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.835718	966.65	35.63175	0.200315	1.824294	0.46852	ok	0.01155	0.007024	33.29155	39605396	ok
9S	0.40337	0.442	1.06	0.165297	833.35	39.7476	0.24797	1.191955	0.46852	ok	0.01098	0.004363	67.24879	1.1E+08	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.53516	1096.3	38.2592	0.292022	1.770718	0.46852	ok	0.00854	0.005041	77.70153	1.95E+08	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.869863	1096.3	23.94	0.120151	1.526104	0.46852	ok	0.0084	0.004273	65.8697	66878326	ok
10W	0.40337	0.442	1.06	0.165297	1096.3	31.9284	0.184614	1.031392	0.46852	ok	0.00882	0.003032	20.83185	34123620	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.53516	1096.3	39.5136	0.282751	1.746394	0.46852	ok	0.00882	0.005134	35.27331	88493689	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.869863	1096.3	25.137	0.11443	1.502697	0.46852	ok	0.00882	0.004418	30.35117	30815918	ok
10S	0.40337	0.442	1.06	0.165297	966.65	49.413	0.233383	1.156623	0.46852	ok	0.01365	0.005263	81.12352	1.33E+08	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.53516	966.65	61.152	0.357444	1.895885	0.46852	ok	0.01365	0.008626	132.9741	3.34E+08	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.869863	966.65	38.9025	0.144658	1.627912	0.46852	ok	0.01365	0.007407	114.1789	1.16E+08	ok
10E	0.40337	0.442	1.06	0.111867	1096.3	35.476	0.166153	0.926938	0.46852	ok	0.0098	0.003028	20.80234	34075266	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.362176	1096.3	40.768	0.274051	1.501912	0.46852	ok	0.0091	0.004556	31.29835	78521302	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.58869	1096.3	21.945	0.131074	1.299712	0.46852	ok	0.0077	0.003336	22.91783	23268759	ok
0.40337	0.442	1.06	0.838381	1096.3	40.271	0.441398	2.326932	0.46852	ok	0.0077	0.005972	50.85548	1.74E+08	ok	

11N	0.40337	0.442	1.06	0.129017	1096.3	33.3165	0.271411	1.199227	0.46852	ok	0.00798	0.00319	6.379888	13900679	NO
	0.40337	0.442	1.06	0.129017	1096.3	33.3165	0.271411	1.199227	0.46852	ok	0.00798	0.00319	6.379888	13900679	NO
	0.40337	0.442	1.06	0.40034	1096.3	36.7479	0.330197	1.671295	0.46852	ok	0.00798	0.004446	36.25423	96101022	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.630717	1096.3	22.743	0.126475	1.323678	0.46852	ok	0.00798	0.003521	28.71363	29153307	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.880408	1096.3	41.7354	0.42591	2.400539	0.46852	ok	0.00798	0.006385	52.07322	1.78E+08	ok
11E	0.40337	0.442	1.06	0.129017	1096.3	32.732	0.276258	1.20929	0.46852	ok	0.00784	0.00316	26.90977	58631758	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.40034	1096.3	41.9055	0.289558	1.588861	0.46852	ok	0.0091	0.00482	41.03844	1.09E+08	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.630717	1096.3	25.935	0.110909	1.268057	0.46852	ok	0.0091	0.003846	32.75244	33253957	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.880408	1096.3	47.593	0.37349	2.394342	0.46852	ok	0.0091	0.007263	61.84307	2.11E+08	ok
11S	0.40337	0.442	1.06	0.129017	966.65	56.98875	0.310431	1.272643	0.46852	ok	0.01365	0.005791	11.58105	25233128	NO
	0.40337	0.442	1.06	0.129017	966.65	56.98875	0.310431	1.272643	0.46852	ok	0.01365	0.005791	11.58105	25233128	NO
	0.40337	0.442	1.06	0.40034	966.65	62.85825	0.377669	1.726043	0.46852	ok	0.01365	0.007853	64.04526	1.7E+08	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.630717	966.65	38.9025	0.144658	1.389749	0.46852	ok	0.01365	0.006323	51.567	52356619	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.880408	966.65	71.3895	0.487141	2.299486	0.46852	ok	0.01365	0.010463	85.32299	2.92E+08	ok
12N	0.40337	0.442	1.06	0.15411	1096.3	26.9325	0.177363	1.00033	0.46852	ok	0.00798	0.002661	24.20068	34457616	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.64863	1096.3	59.4909	0.865386	0.768048	0.46852	ok	0.00798	0.002043	18.58116	1.29E+08	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.15411	1096.3	22.68	0.210618	1.086355	0.46852	ok	0.00672	0.002433	20.7207	29502709	ok
12E	0.40337	0.442	1.06	0.64863	966.65	65.7531	1.531831	0.028274	0.46852	NO	0.00882	0.001377	11.72898	81482703	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.15411	966.65	46.06875	0.202861	1.066501	0.46852	ok	0.01365	0.004853	44.13423	62839560	ok
12S	0.40337	0.442	1.06	0.64863	966.65	101.7608	0.989799	0.509975	0.46852	ok	0.01365	0.00232	21.10393	1.47E+08	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.15411	1096.3	26.9325	0.177363	1.00033	0.46852	ok	0.00798	0.002661	11.98726	17067791	ok
13N	0.40337	0.442	1.06	0.15411	1096.3	34.965	0.136617	0.894338	0.46852	ok	0.01036	0.003088	12.35379	17589673	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.64863	1096.3	59.4909	0.865386	0.768048	0.46852	ok	0.00798	0.002043	17.37578	1.21E+08	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.15411	1096.3	21.2625	0.224659	1.121742	0.46852	ok	0.0063	0.002356	20.05844	28559767	ok
13E	0.40337	0.442	1.06	0.15411	966.65	46.06875	0.202861	1.066501	0.46852	ok	0.01365	0.004853	21.86088	31126137	ok
13S	0.40337	0.442	1.06	0.64863	966.65	101.7608	0.989799	0.509975	0.46852	ok	0.01365	0.00232	10.45335	72620738	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.15411	1096.3	34.965	0.136617	0.894338	0.46852	ok	0.01036	0.003088	12.35379	17589673	ok
14N	0.40337	0.442	1.06	0.573288	1096.3	81.27	0.299084	1.838542	0.46852	ok	0.014	0.00858	34.31945	1.45E+08	ok

14E	0.40337	0.442	1.06	0.913699	1096.3	23.1	0.024163	1.193623	0.46852	ok	0.014	0.00557	22.28095	7582487	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.15411	1096.3	30.7125	0.155533	0.943354	0.46852	ok	0.0091	0.002862	24.36572	34692599	ok
15W	0.40337	0.442	1.06	0.64863	1096.3	67.8405	0.758877	1.069939	0.46852	ok	0.0091	0.003245	27.63528	1.92E+08	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.157078	1096.3	21.672	0.233396	1.146846	0.46852	ok	0.0063	0.002408	9.043451	13377072	ok
15N	0.40337	0.442	1.06	0.46621	1096.3	18.648	0.246047	1.554486	0.46852	ok	0.0056	0.002902	10.89591	15102962	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.73379	1096.3	14.168	0.142027	1.482172	0.46852	ok	0.0056	0.002767	10.38904	8312400	ok
15-16E	0.40337	0.442	1.06	0.924658	1096.3	9.24	0.060408	1.335887	0.46852	ok	0.0056	0.002494	9.363679	3186577	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.157078	833.35	30.96	0.273187	1.238661	0.46852	ok	0.009	0.003716	17.45121	25813824	ok
16N	0.40337	0.442	1.06	0.46621	833.35	34.965	0.276506	1.641082	0.46852	ok	0.0105	0.005744	26.9743	37389416	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.73379	966.65	26.565	0.148196	1.506179	0.46852	ok	0.0105	0.005272	24.75691	19808310	ok
16W	0.40337	0.442	1.06	0.924658	966.65	17.325	0.063032	1.345994	0.46852	ok	0.0105	0.004711	22.12396	7529061	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.157078	1096.3	31.304	0.161582	0.962191	0.46852	ok	0.0091	0.002919	19.35063	28623451	ok
16N	0.40337	0.442	1.06	0.46621	1096.3	30.303	0.151413	1.248191	0.46852	ok	0.0091	0.003786	25.10236	34794699	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.73379	1096.3	23.023	0.087401	1.275999	0.46852	ok	0.0091	0.003871	25.66161	20532177	ok
16W	0.40337	0.442	1.06	0.924658	1096.3	15.015	0.037174	1.248724	0.46852	ok	0.0091	0.003788	25.11309	8546298	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.157078	1096.3	19.7456	0.256166	1.200945	0.46852	ok	0.00574	0.002298	14.84384	21957011	ok
16W	0.40337	0.442	1.06	0.46621	1096.3	19.1142	0.240046	1.536312	0.46852	ok	0.00574	0.002939	18.98902	26320911	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.73379	1096.3	14.5222	0.138563	1.468736	0.46852	ok	0.00574	0.00281	18.15377	14525058	ok
16W	0.40337	0.442	1.06	0.924658	1096.3	9.471	0.058935	1.330235	0.46852	ok	0.00574	0.002545	16.44188	5595377	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.157078	1096.3	21.672	0.233396	1.146846	0.46852	ok	0.0063	0.002408	13.84816	20484198	ok
16W	0.40337	0.442	1.06	0.46621	1096.3	18.648	0.246047	1.554486	0.46852	ok	0.0056	0.002902	16.68482	23127038	ok
	0.40337	0.442	1.06	0.73379	1096.3	14.168	0.142027	1.482172	0.46852	ok	0.0056	0.002767	15.90865	12728708	ok
16W	0.40337	0.442	1.06	0.924658	1096.3	9.24	0.060408	1.335887	0.46852	ok	0.0056	0.002494	14.33852	4879578	ok

9.9 Analisi dinamica lineare

L'analisi dinamica lineare consiste nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale), nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto per ciascuno dei modi di vibrare individuati e nella combinazione di questi effetti.

Devono essere considerati tutti i modi di vibrare con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%.

Per la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi deve essere utilizzata una combinazione quadratica completa degli effetti relativi a ciascun modo.

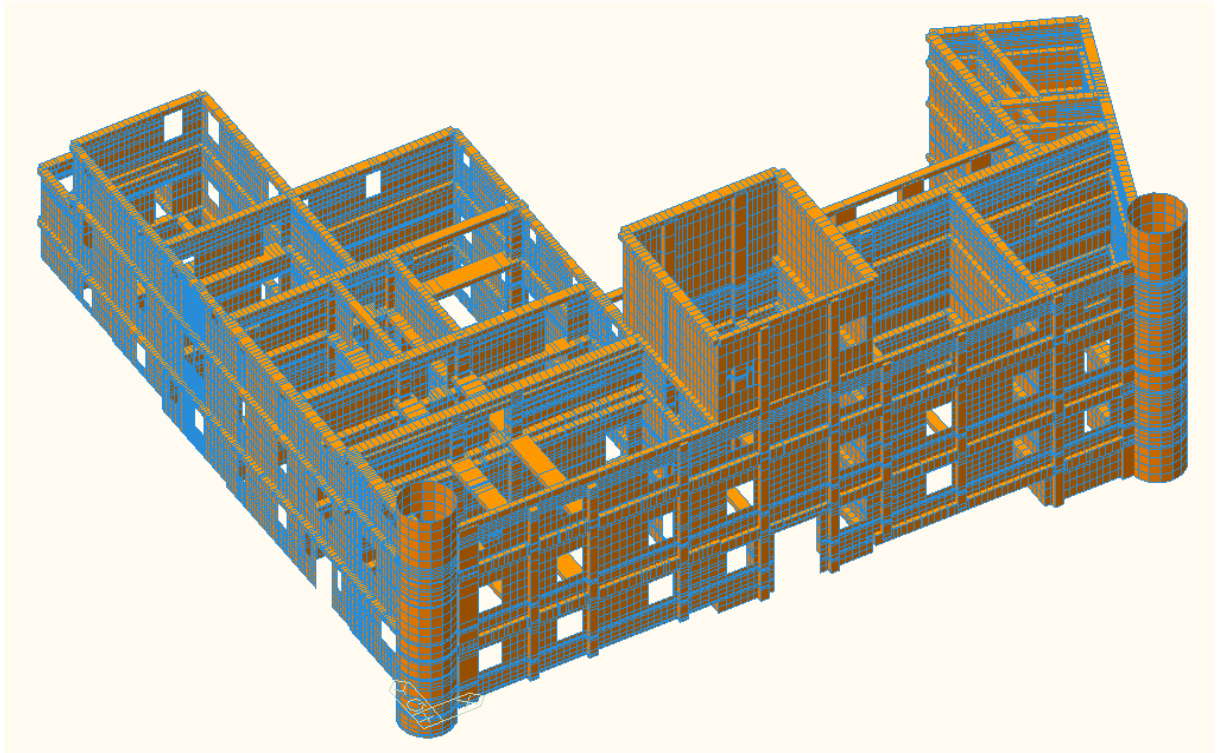
Per gli edifici, gli effetti dell'eccentricità accidentale del centro di massa possono essere determinati mediante l'applicazione di carichi statici costituiti da momenti torcenti di valore pari alla risultante orizzontale della forza agente al piano moltiplicata per l'eccentricità accidentale del baricentro delle masse rispetto alla sua posizione di carico.

9.9.1 I modelli strutturali

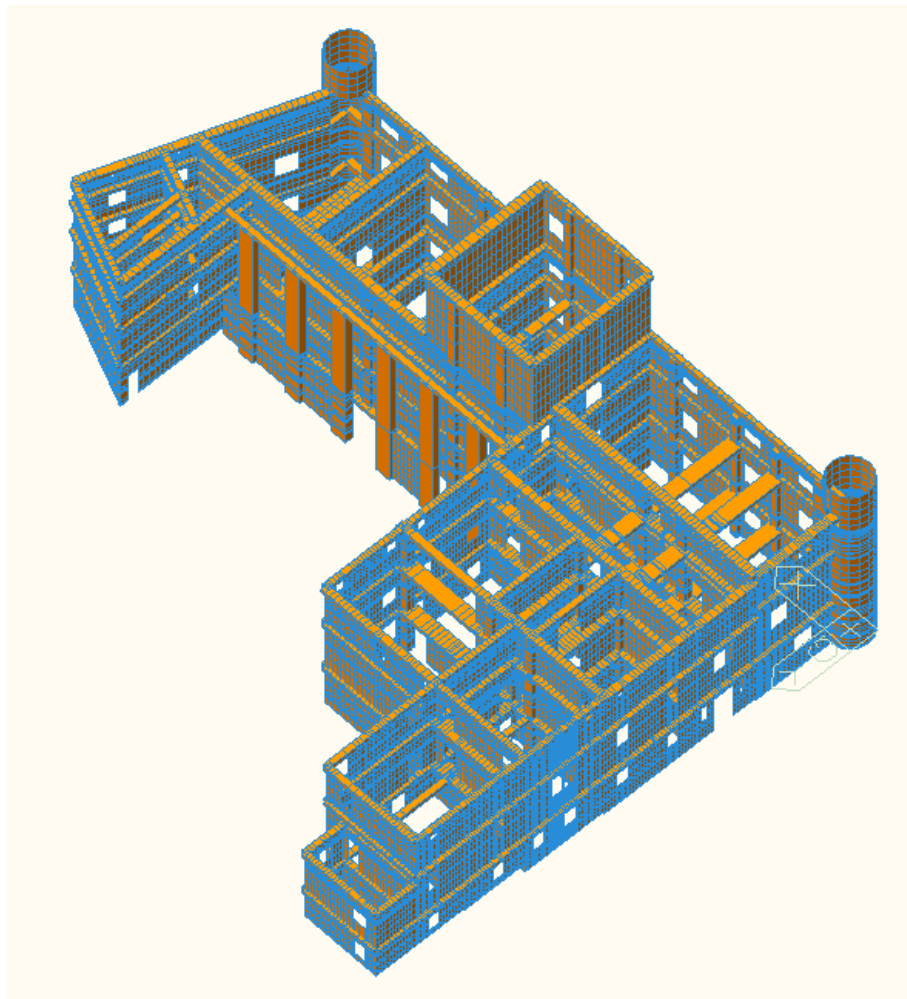
Per effettuare questa analisi e la determinazione delle sollecitazioni derivanti dall'azione orizzontale (sisma) si è ricorsi all'utilizzo del programma di calcolo automatico agli elementi finiti Midas Gen. Si sono effettuate varie prove di calibrazione del modello globale mediante: una prima modellazione tramite elementi Wall per poter andar a leggere velocemente le sollecitazioni dell'analisi statica verticale; una modellazione più raffinata tramite elementi Plate in grado di cogliere gli stati tensionali e i modi di vibrare dell'analisi modale; e infine una modellazione a telaio equivalente tramite elementi Beam utilizzando il metodo SAM per ricavare le sollecitazioni dei maschi e delle fasce murarie dell'analisi modale con spettro e della successiva analisi statica non lineare (pushover).

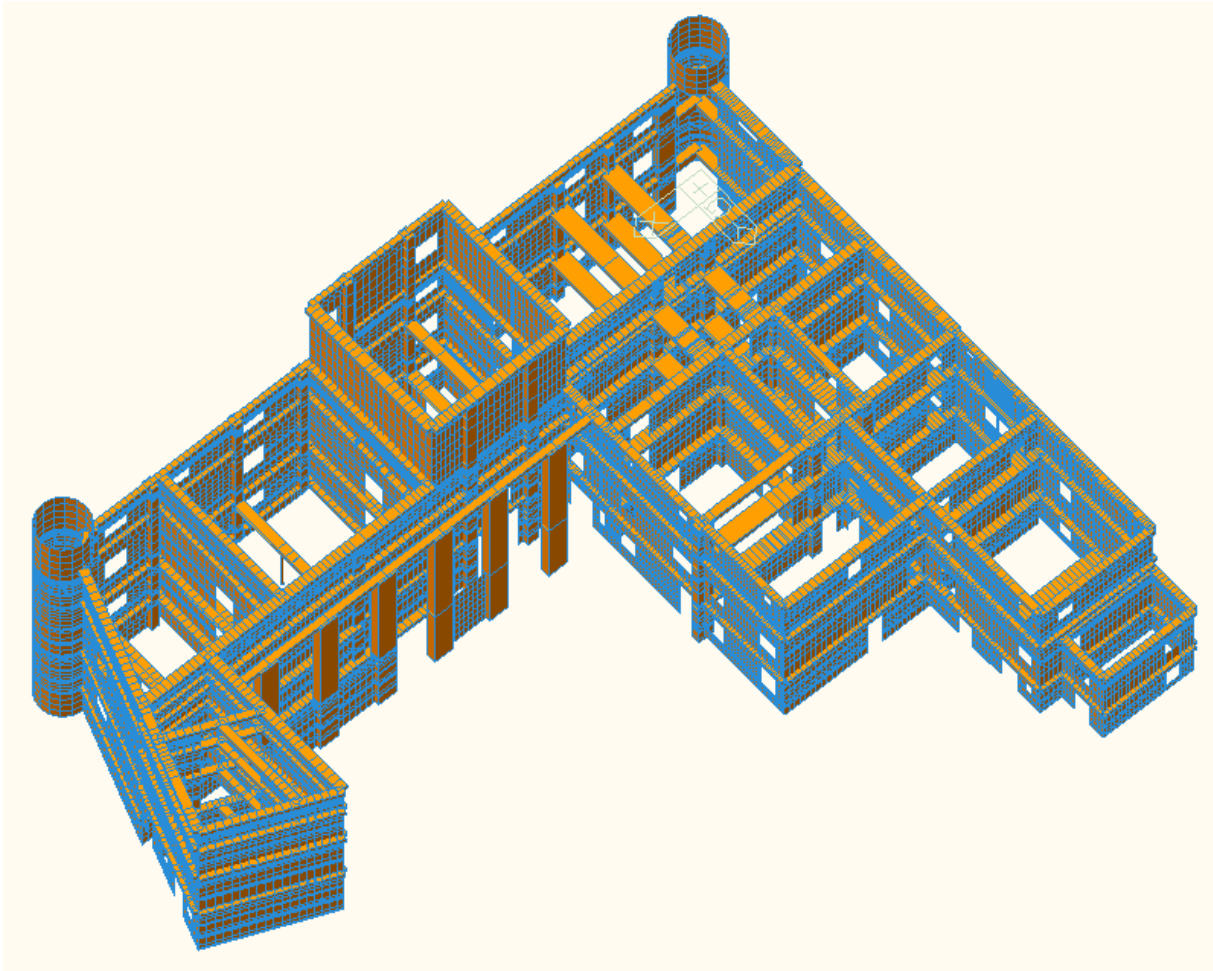
Le considerazioni alla base dei modelli consistono nel considerare tutti gli impalcati dei vari piani infinitamente rigidi (tranne la copertura); le proprietà meccaniche degli elementi sono state inserite manualmente tramite apposita funzione; nel modello a plate sono state meshate tutte le pareti con elementi plate mentre i pilastri e i cordoli con elementi beam; la geometria del modello a telaio equivalente si contraddistingue per aver degli elementi deformabili con proprietà meccaniche proprie e dei tratti indeformabili di collegamento con proprietà meccaniche opportunamente modificate; tutti gli elementi alla base sono vincolati mediante vincolo di incastro; il modello tiene conto della distribuzione delle masse e del peso proprio degli elementi strutturali e non considera rigidità aggiuntive costituite da elementi non strutturali.

La struttura in muratura è stata modellata inserendo dei plate del tipo THICK a 4 nodi con drilling DOF aggiuntivi per tener conto delle rotazioni ai nodi. I plate sono stati discretizzati in modo da creare una meshatura a elementi quadrangolari di lato regolare e di dimensione costante.

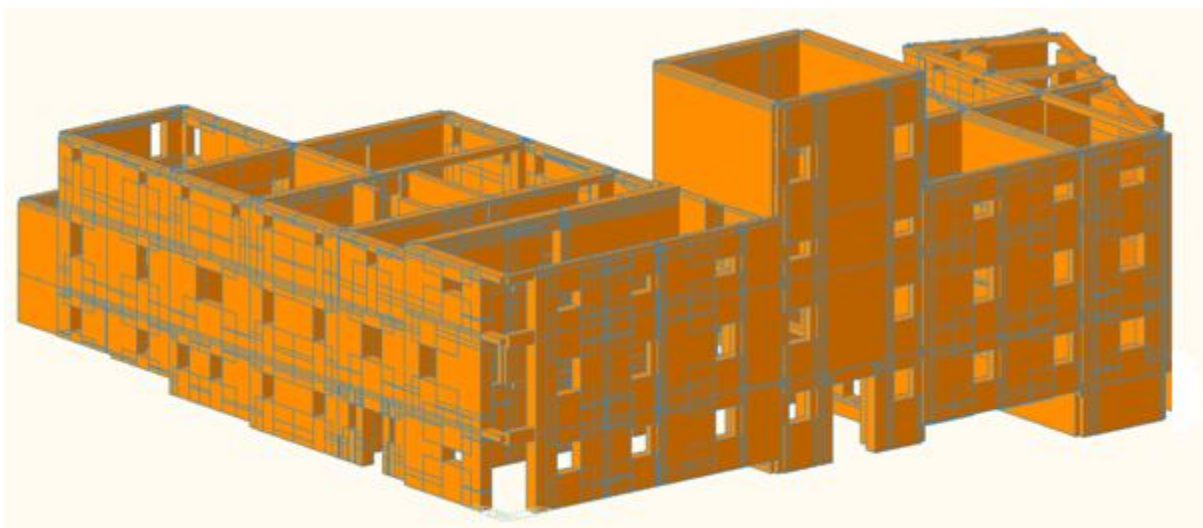


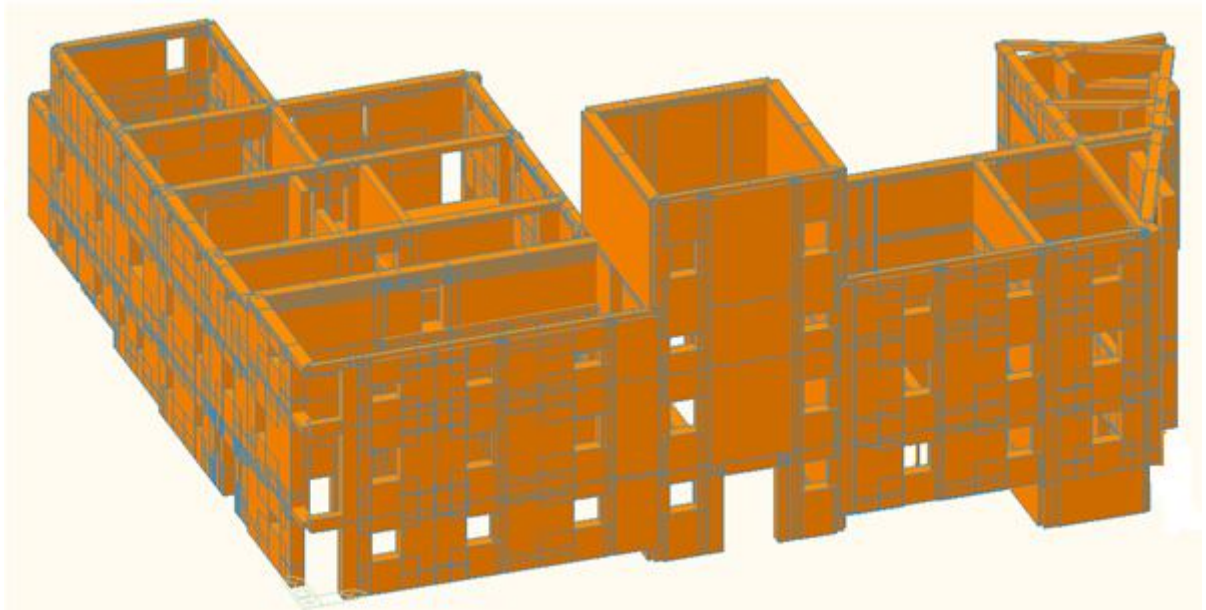
Modellazione a Plate.



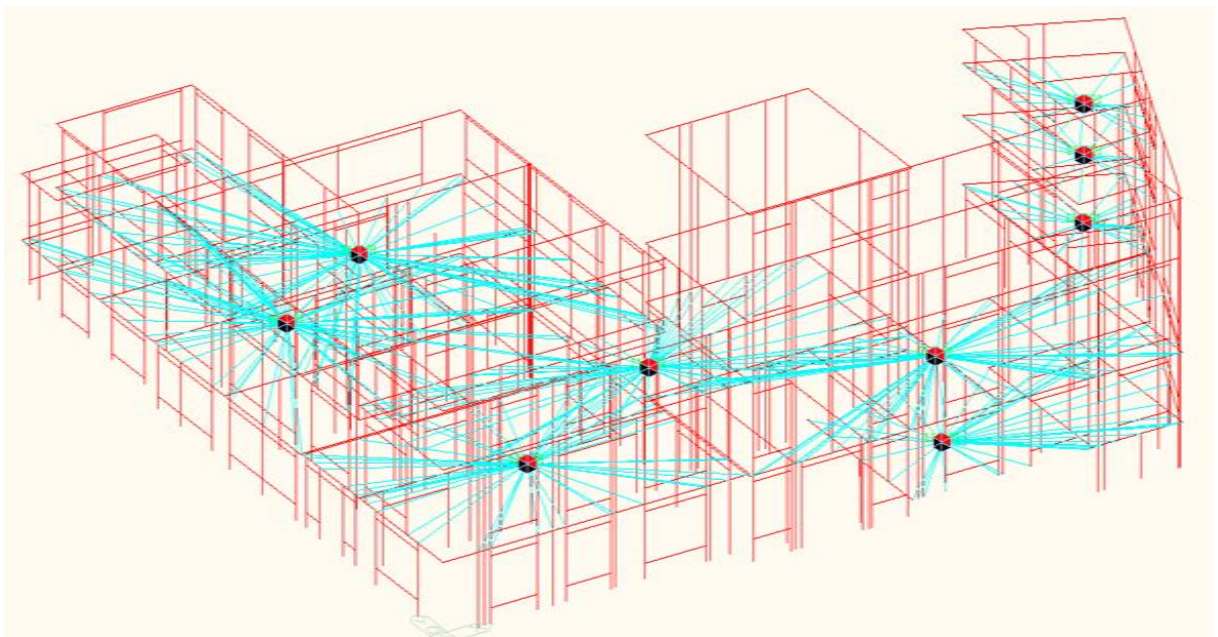


Modellazione a Beam – Telaio equivalente.





Modellazione a Beam con elementi rigidi di piano e masse sismiche applicate ai baricentri degli impalcati.

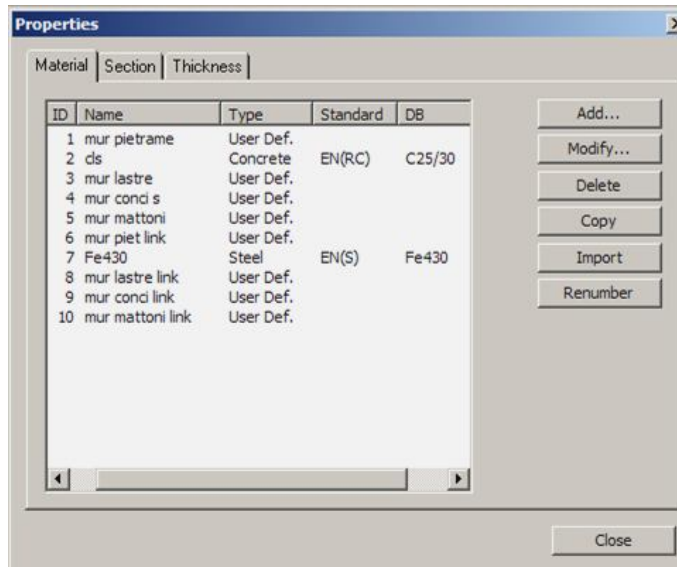


I materiali presenti nella struttura sono 6: muratura pietrame, muratura lastra, muratura conci sbazzati, muratura mattoni pieni, cemento armato e acciaio delle colonne.

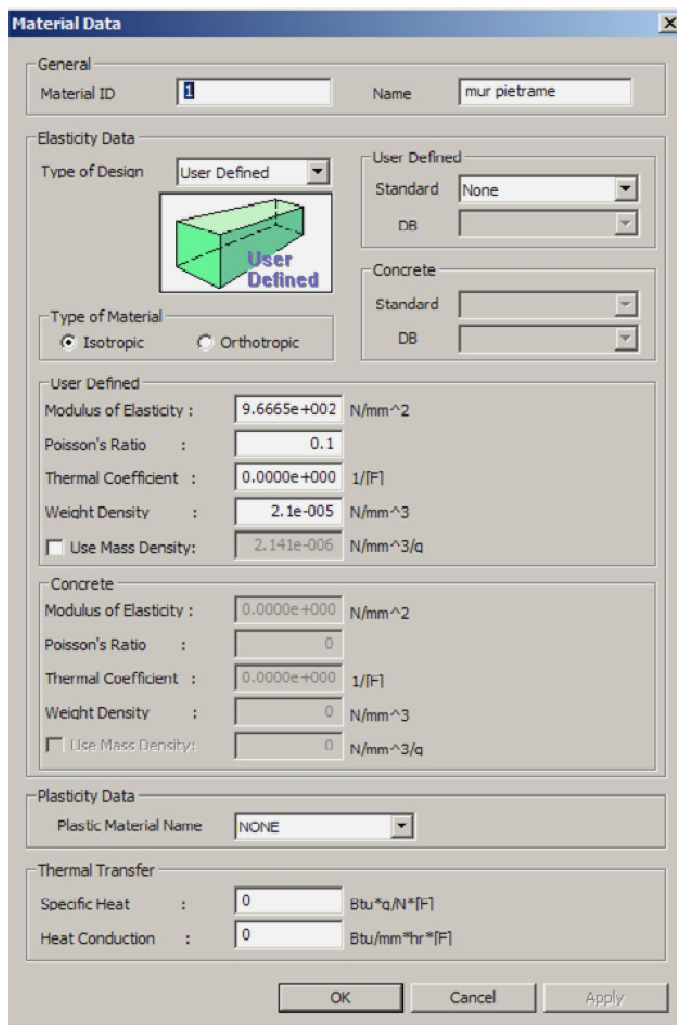
In realtà per la modellazione a telaio equivalente deve essere aggiunto un materiale "fittizio" ovvero quello da assegnare ai link rigidi, che conferisca a questi elementi caratteristiche di indeformabilità.

Il modulo elastico degli elementi in muratura si assume dimezzato per considerarla fessurata; la differenziazione tra modulo intero, che rispecchia la situazione a inizio sisma, e modulo fessurato che

invece descrive meglio il comportamento della muratura una volta che subisce delle forti oscillazioni è una distinzione che è opportuno fare affinché l'analisi sia rispondente al vero.



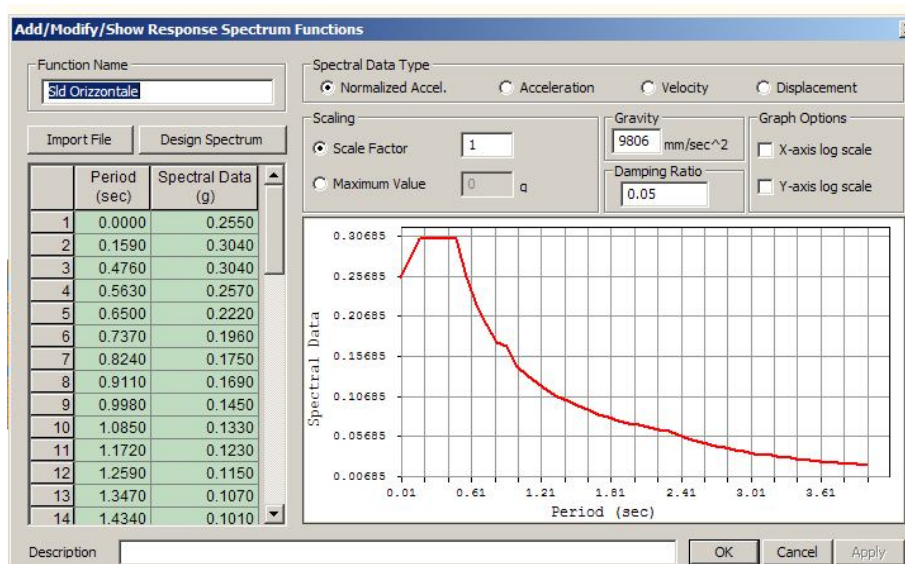
Esempio delle proprietà meccaniche inserite nel programma.



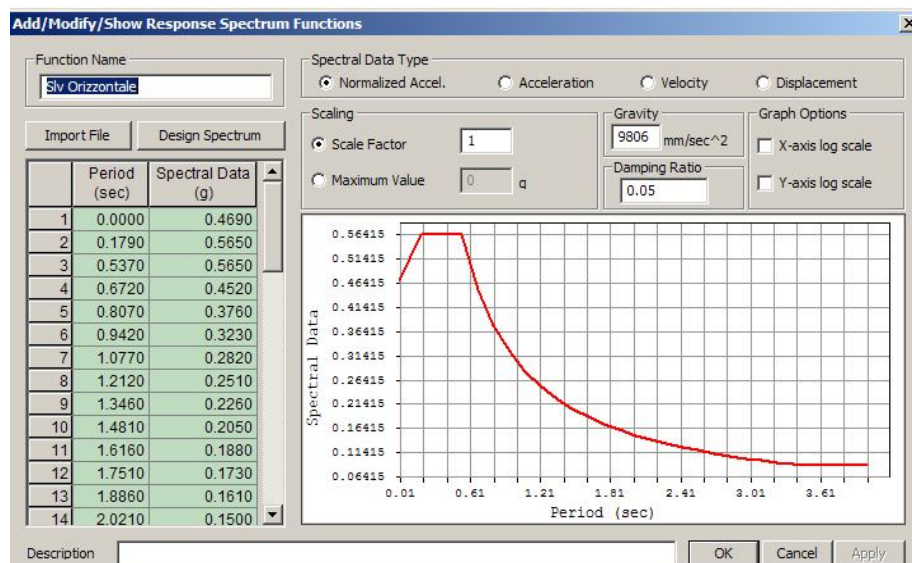
Per ogni maschio murario e per ogni fascia è stata definita una sezione rettangolare in base al rilievo in pianta e in alzato dell'edificio e assegnata al corrispondente elemento beam monodimensionale per il modello a telaio equivalente mentre per il modello a plate sono stati definiti gli spessori degli elementi.

Il programma di calcolo computa automaticamente l'azione dovuta al peso proprio degli elementi una volta definita la sezione la sezione e il peso specifico. Per assegnare i carichi verticali è stato necessario comprendere l'orientazione dei solai. Per quanto riguarda le masse sismiche (DX,DY,RZ) sono state applicate a ogni impalcato rigido nel relativo centro di massa.

Per l'assegnazione dello spettro all'interno del programma si sono riportati i punti del diagramma (Periodo – Ordinata spettrale) ed è stata attivata l'opzione per tenere in conto dell'eccentricità accidentale definita in normativa come il 5% della larghezza dell'edificio nella direzione ortogonale; inoltre è stata stabilita la relazione CQC per la combinazione dei modi di vibrare della struttura.



Definizione dello spettro di progetto



Prima di effettuare l'analisi devono essere definiti le modalità del calcolo di autovettori e autovalori per l'analisi modale: si scelgono il numero di iterazioni affinché il calcolo giunga a convergenza (e la relativa tolleranza) e il numero di frequenze proprie (modi) che devono essere considerati nell'analisi.

L'analisi modale fornisce indicazioni sul comportamento dinamico della struttura in risposta all'evento sismico: il periodo di vibrazione di ogni modo, la rispettiva massa partecipante (assoluta e percentuale) e il fattore di partecipazione modale associato. L'interpretazione di questi dati consente di valutare il comportamento della struttura e la sua adeguatezza in termini di progettazione antisismica globale.

Dal momento che le informazioni disponibili sull'edificio in esame sono decisamente modeste, sono state fatte alcune ipotesi sul suo comportamento: sono stati presi in considerazione i moduli elastici interi e fessurati e una modellazione a plate e a telaio equivalente.

9.9.2 Analisi modale

L'analisi modale viene effettuata automaticamente dal programma di calcolo che fornisce in output i valori dei periodi T_i propri e le deformate modali.

Per ogni direzione principale del sisma considerata (2 spostamenti DX e DY nelle due direzioni principali e 1 rotazione RZ) si fornisce il modo di vibrazione principale, il periodo di oscillazione e la relativa massa modale partecipante percentuale.

Modello plate

EIGENVALUE ANALYSIS				
Mode No	Frequency		Period	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
1	4.5348	0.7217	1.3856	0.0000e+000
2	4.9460	0.7872	1.2703	0.0000e+000
3	70.3717	11.2000	0.0893	4.4160e-118
4	84.6602	13.4741	0.0742	5.3121e-115
5	126.5434	20.1400	0.0497	3.7213e-105
6	167.6980	26.6900	0.0375	6.5108e-099
7	202.2793	32.1938	0.0311	7.4876e-094
8	220.1711	35.0413	0.0285	4.0316e-092
9	245.7401	39.1108	0.0256	2.5591e-090
10	278.2081	44.2782	0.0226	4.4049e-088
11	289.4884	46.0735	0.0217	2.0640e-087
12	317.8059	50.5804	0.0198	2.5311e-086
13	465.7838	74.1318	0.0135	1.0877e-081
14	551.4174	87.7608	0.0114	2.5068e-079
15	812.5907	129.3278	0.0077	2.4749e-074
16	876.3361	139.4732	0.0072	5.6660e-074
17	1335.1254	212.4918	0.0047	2.4651e-069
18	1434.2487	228.2678	0.0044	4.8292e-069
19	7446.8504	1185.2030	0.0008	3.3437e-052
20	13113.1231	2087.0184	0.0005	5.3947e-048
21	16844.2184	2680.8406	0.0004	1.1724e-044
22	19380.4386	3084.4926	0.0003	4.7693e-045
23	34271.3463	5454.4542	0.0002	9.2696e-042
24	47920.6034	7626.8009	0.0001	7.1080e-040
25	85449.3684	13599.6894	0.0001	1.5488e-036
26	107139.0911	17051.7159	0.0001	5.9337e-036

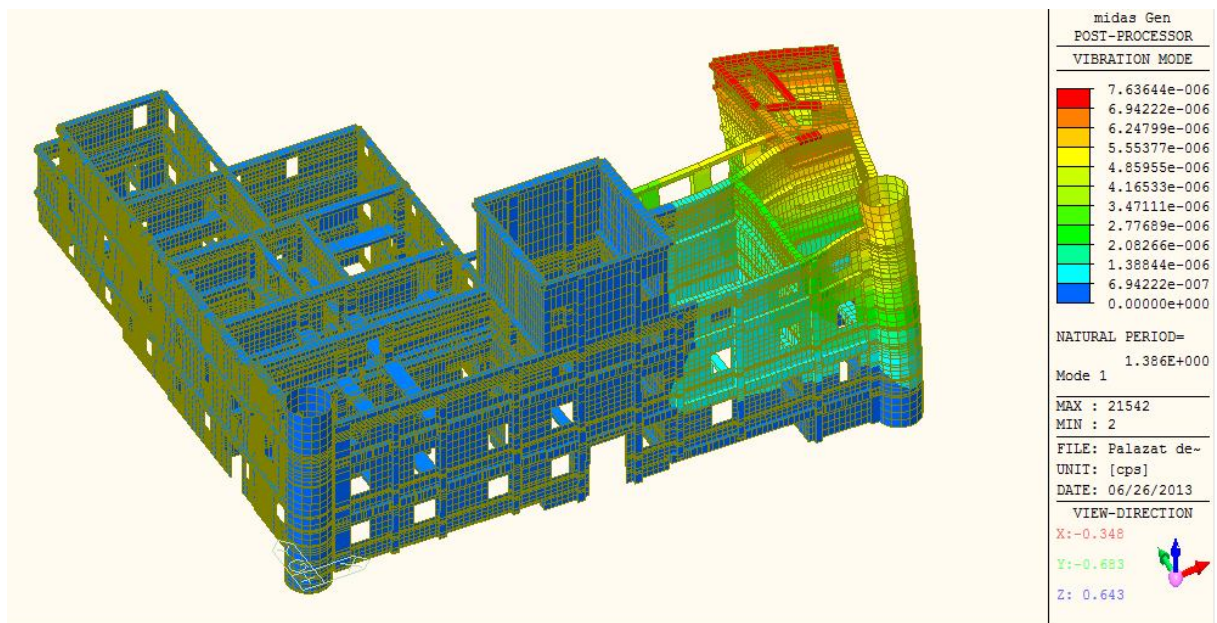
MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT												
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	3.0827	3.0827	93.2560	93.2560	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.8367	2.8367
2	93.4242	96.5069	3.0875	96.3435	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0492	2.8859
3	0.0080	96.5149	2.6749	99.0184	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	78.4168	81.3026
4	2.0464	98.5613	0.0032	99.0216	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.6510	82.9537
5	0.5428	99.1041	0.0363	99.0579	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.2552	87.2089
6	0.0631	99.1672	0.4957	99.5536	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.8756	91.0844
7	0.1528	99.3200	0.0517	99.6053	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.9514	96.0359
8	0.1887	99.5087	0.0092	99.6145	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0250	97.0608
9	0.0973	99.6060	0.0020	99.6165	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2863	97.3472
10	0.0021	99.6081	0.0007	99.6172	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5824	97.9295
11	0.0052	99.6133	0.0016	99.6188	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3979	98.3274
12	0.0010	99.6143	0.0039	99.6227	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2867	98.6141
13	0.0003	99.6146	0.0002	99.6228	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0518	98.6659
14	0.0007	99.6153	0.0003	99.6231	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0211	98.6871
15	0.0664	99.6817	0.3033	99.9265	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0445	99.7315
16	0.0001	99.6819	0.0019	99.9284	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0147	99.7463
17	0.3181	100.0000	0.0715	99.9999	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2495	99.9957
18	0.0000	100.0000	0.0001	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0038	99.9996
19	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9996
20	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9996
21	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9996
22	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9996
23	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9996
24	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9996
25	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9996
26	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	100.0000

Modello beam – telaio equivalente

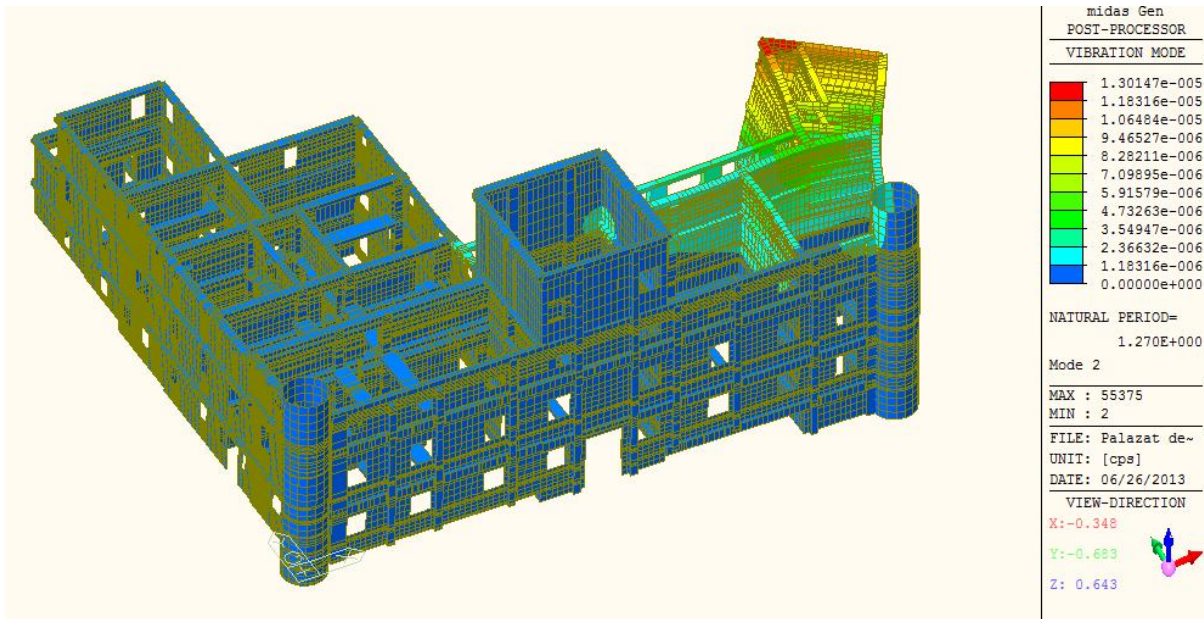
EIGENVALUE ANALYSIS				
Mode No	Frequency		Period	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
1	7.4713	1.1891	0.8410	0.0000e+000
2	9.5686	1.5229	0.6566	0.0000e+000
3	95.8017	15.2473	0.0656	0.0000e+000
4	119.2463	18.9786	0.0527	0.0000e+000
5	179.8964	28.6314	0.0349	0.0000e+000
6	241.5026	38.4363	0.0260	0.0000e+000
7	330.3948	52.5840	0.0190	0.0000e+000
8	596.2681	94.8990	0.0105	0.0000e+000
9	715.5850	113.8889	0.0088	0.0000e+000
10	2142.4255	340.9776	0.0029	2.7019e-120
11	2327.4077	370.4184	0.0027	2.5811e-118
12	2822.8994	449.2784	0.0022	5.6429e-115
13	8136.2461	1294.9238	0.0008	4.3498e-100
14	12955.1040	2061.8688	0.0005	6.5539e-093
15	15228.1432	2423.6343	0.0004	1.9235e-088
16	15407.5933	2452.1946	0.0004	4.3622e-090
17	31406.4823	4998.4969	0.0002	3.3724e-084
18	101801.9778	16202.2880	0.0001	7.9077e-072
19	379300.8408	60367.6037	0.0000	2.0742e-059
20	715142.7554	113818.5045	0.0000	5.4238e-052
21	813283.1185	129438.0284	0.0000	1.1039e-050
22	1020458.8570	162411.0713	0.0000	5.9043e-049
23	1689588.1964	268906.3133	0.0000	2.1509e-047
24	5494977.4480	874552.8230	0.0000	2.8774e-041

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT												
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	0.3713	0.3713	97.5506	97.5506	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.5184	1.5184
2	97.9690	98.3404	0.3681	97.9187	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	1.5186
3	0.0002	98.3405	0.8594	98.7781	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	55.3701	56.8887
4	0.3979	98.7384	0.0001	98.7782	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7194	57.6082
5	0.0155	98.7540	0.0046	98.7828	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.7905	62.3987
6	0.0000	98.7540	0.0082	98.7910	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3747	62.7734
7	0.0001	98.7541	0.7255	99.5165	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	29.2208	91.9942
8	0.4995	99.2536	0.0004	99.5169	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1024	92.0966
9	0.0008	99.2544	0.0809	99.5979	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.5138	93.6104
10	0.0002	99.2546	0.0001	99.5979	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0288	93.6392
11	0.0722	99.3268	0.0001	99.5980	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.4603	97.0995
12	0.2969	99.6236	0.0000	99.5980	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0513	97.1508
13	0.0044	99.6281	0.0000	99.5980	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0882	97.2389
14	0.0000	99.6281	0.0000	99.5980	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	97.2389
15	0.0098	99.6379	0.3912	99.9892	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.2899	98.5288
16	0.3621	100.0000	0.0108	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.4708	99.9997
17	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	99.9999
18	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9999
19	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9999
20	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9999
21	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	99.9999
22	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	100.0000
23	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	100.0000
24	0.0000	100.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	100.0000

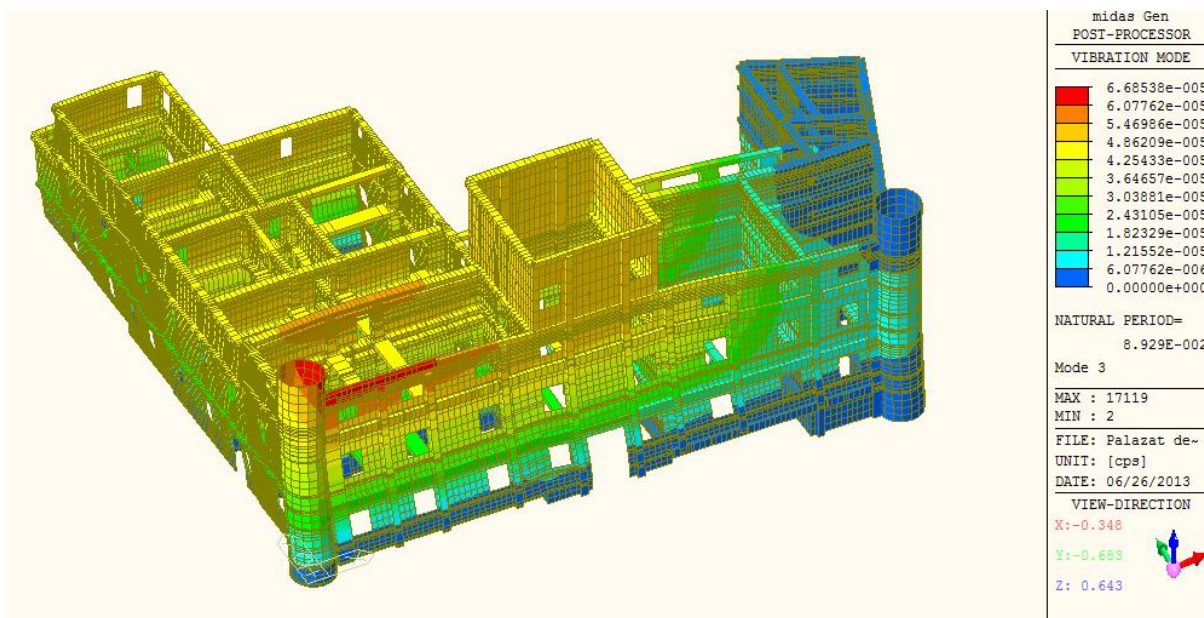
Si riportano i principali modi di vibrare della struttura.



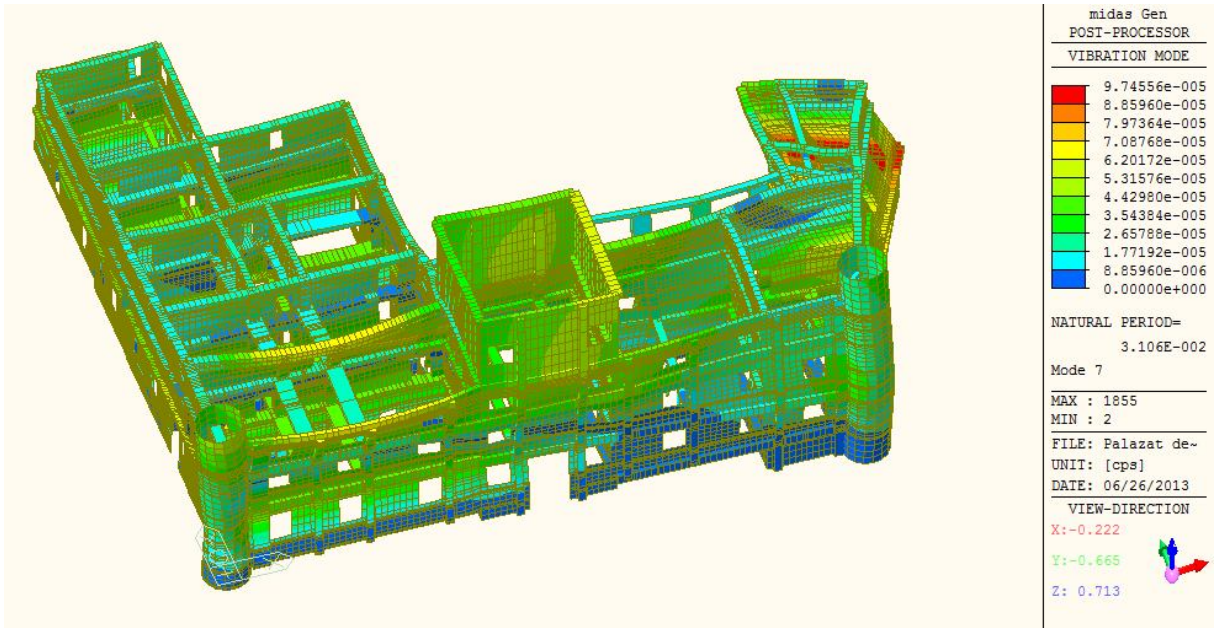
Modo principale in direzione Y.



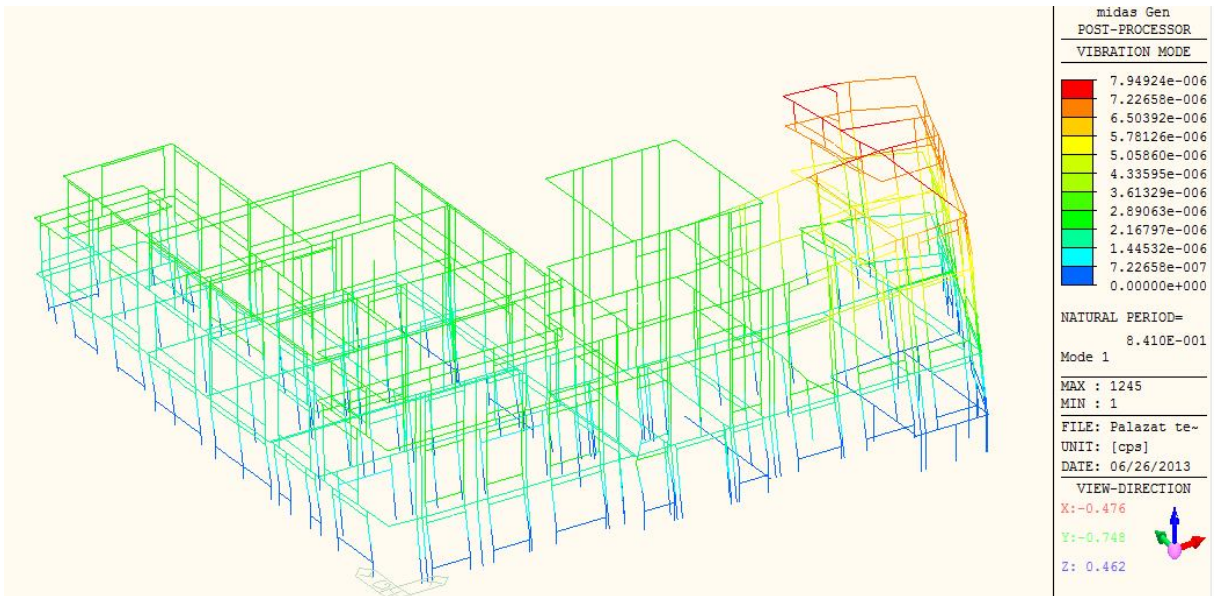
Modo principale in direzione X.



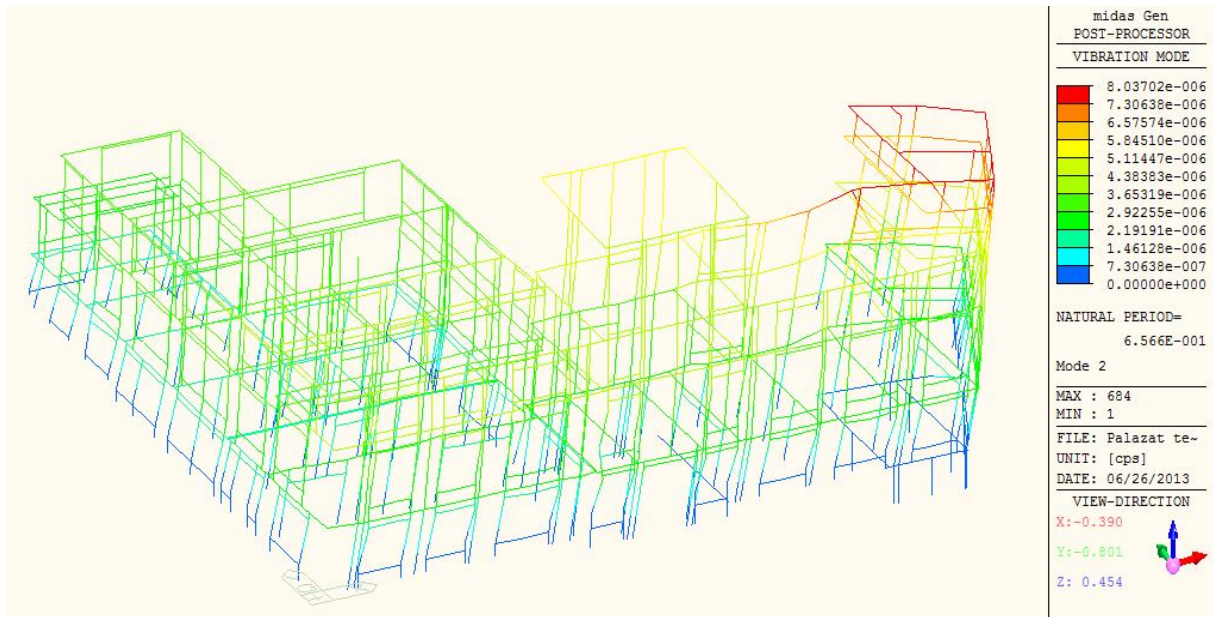
Modo principale in RZ.



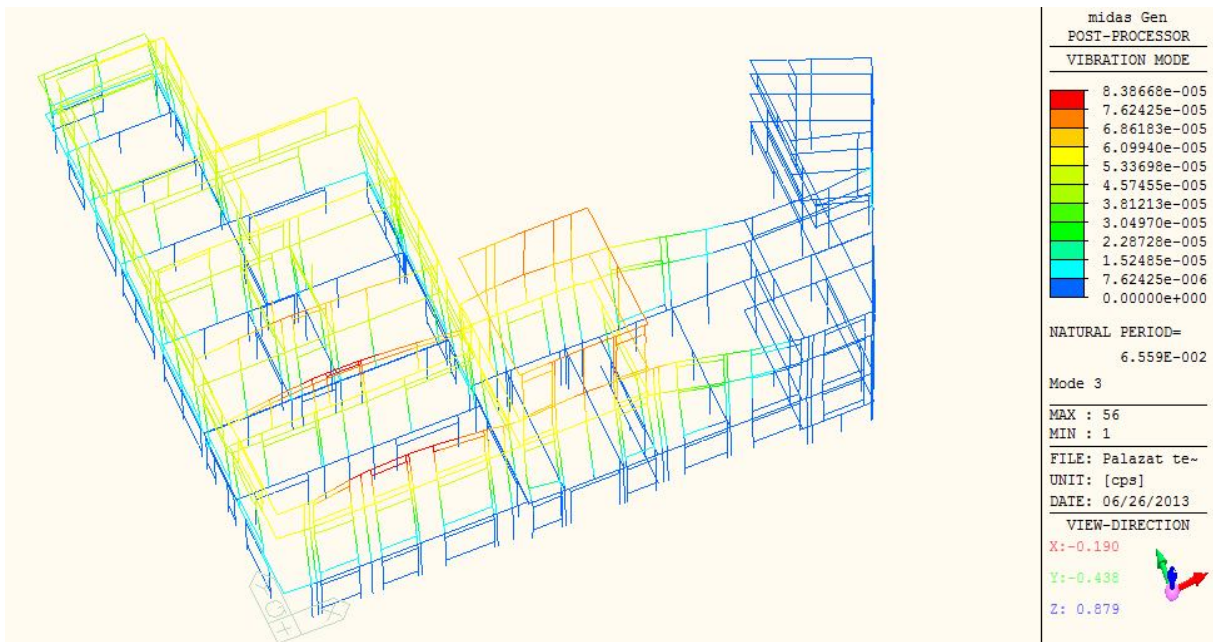
Modo secondario in RZ.



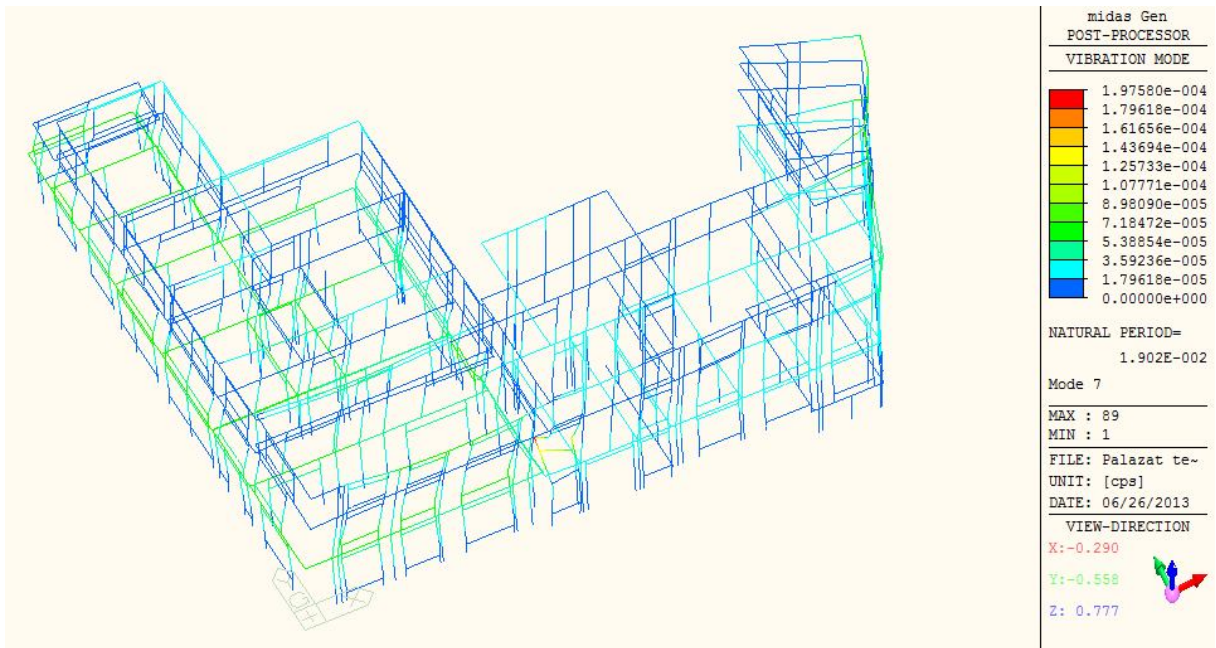
Modo principale in direzione Y.



Modo principale in direzione X.



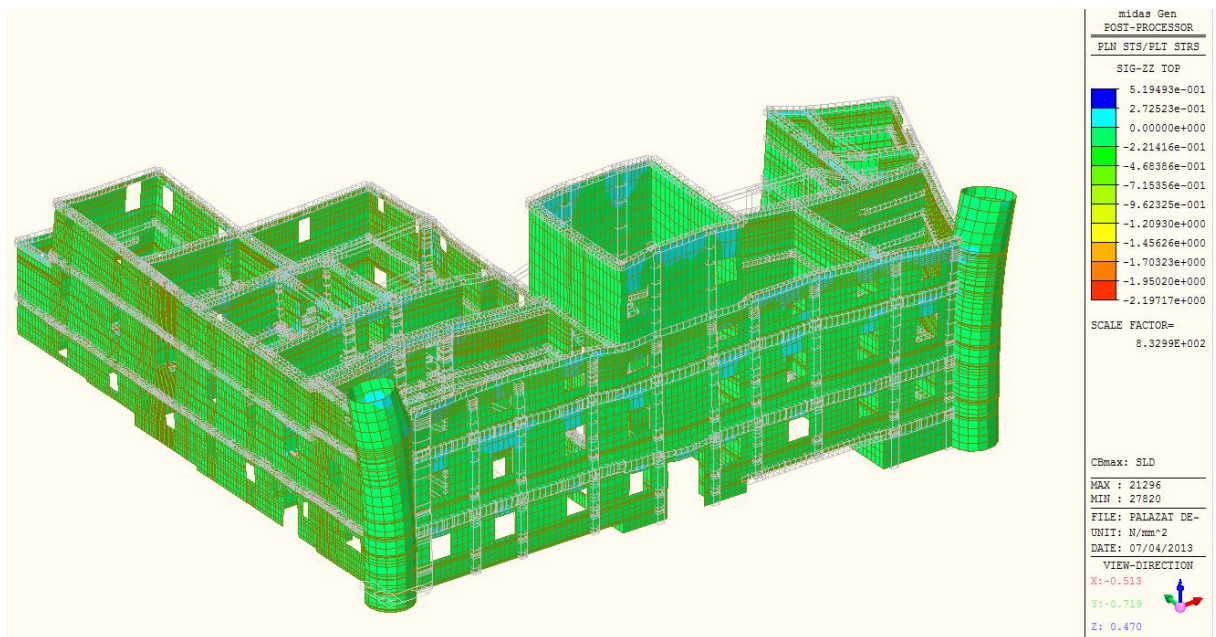
Modo principale in RZ.



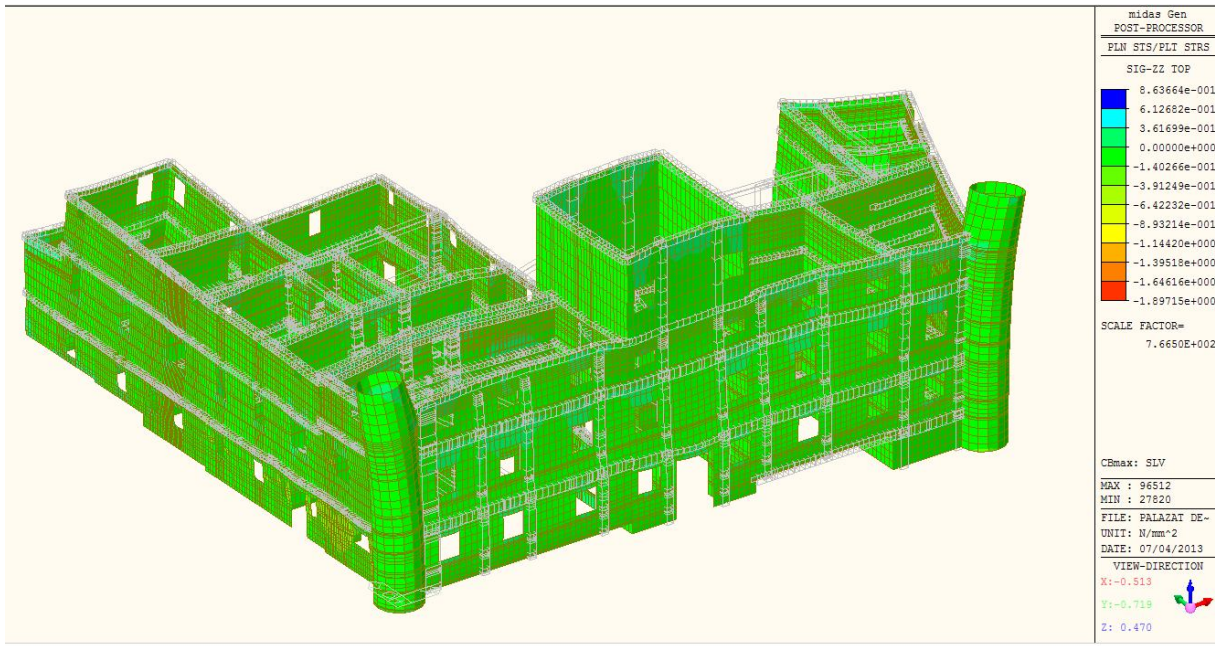
Modo secondario in RZ.

9.9.3 Sollecitazioni

Attraverso la precedente analisi andiamo a verificare quali sono i modi più importanti eccitanti la massa partecipante modale. Tali modi sono stati combinati utilizzando la formula prevista dalla normativa (CQC) e involuppando le 8 combinazioni dell'azione del sisma ($E_x + 0.3E_y$; $0.3E_x + E_y$;...). In seguito verranno riportati gli stati tensionali riguardanti l'analisi agli SLD e agli SLV.



Stato tensionale allo Stato limite di danno.



Stato tensionale allo Stato limite di salvaguardia della vita.

L'analisi degli stati tensionali permette di controllare il comportamento strutturale dell'edificio cogliendo le zone più critiche dove si concentrerà la nostra attenzione ma tuttavia non dà sicuramente risultati utilizzabili ai fini di verifiche rigorose.

Per eseguire le verifiche si utilizzeranno le sollecitazioni del modello a telaio equivalente a elementi beam come di seguito illustrato.

facciata frontale		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	V _y [N]	V _z [N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
livello	1	690	650	-344329.09	-131575.15	-100597.31	-149486.23	-195977100.8	-244753068.8
	2	690	650	-109898.12	-22662.82	-25306.58	-794788.02	-59839143.88	-58152165.05
	3	690	650	-39802.16	-6288.78	-11296.21	-2603724.94	-17446038.92	-10537506.02
	1	525	650	-117328.84	-253838.42	-456721.11	-164553.81	-444311217.1	-269891355
	2	525	650	-168036.96	-70242.46	-169229.02	-981632.37	-169985636.4	-110750044.9
	3	525	650	-41238.8	-26146.09	-26175.82	-6775359.03	-13455621.62	-26582175.99
	1	1535	650	-234005.73	-446322.02	-2111758.2	-810145.48	-2862309538	-686936243
	2	1535	650	-138802.25	-131594.71	-727874.96	-4633324.06	-913651939.6	-334864443.4
	3	1535	650	-53019.52	-4801.53	-38073.55	-31432067.01	-61661244.63	-27063576.21
	1	1345	650	-267117.33	-412046.39	-1776389.3	-645131.19	-2281064168	-623521612.3
	2	1345	650	-86484	-140619.41	-679908.02	-3960654.85	-841001123.7	-339596252.1
	3	1345	650	-62791.23	-20027.66	-107194.79	-2961338.56	-42440958.95	-39972847.91
	1	375	650	-46113.15	-107436.59	-417819.62	-42545.27	-369589917	-109518910.6
	2	375	650	-28966.14	-32851.3	-187422.42	-435078.91	-181727002.1	-50688878.27
	3	375	650	-16704.28	-3710.15	-63844.55	-960745.6	-37913939.41	-4220406.41
	1	3045	650	-968606.39	-556296.32	-4960261.3	-9595395.67	-8259330547	-885617397.6
	2	3045	650	-385436.3	-155313.25	-1389690.7	-10609653.84	-1209301463	-459015353.6

3	3045	650	-211800.38	-3562.73	-339347.22	-46151793.29	-915649125.9	-20222362.73
1	375	650	-275890.73	-125041.46	-381520.33	-223804.77	-345342866.3	-120293666.9
2	375	650	-75845.87	-25244.65	-139527.72	-474852.89	-132440641.4	-36960748.39
3	375	650	-18891.27	-9350.84	-6214	-3088964.79	-872240.94	-6364428.68
1	1975	650	-2427579.21	-487392.59	-1445720.6	-761549.97	-3174127395	-808211532.8
2	1975	650	-1204949.9	-102812.16	-348003.87	-4049007.08	-423417083.1	-309705672.5
3	1975	650	-433326.14	-35879.15	-107947.36	-12529300.05	-39212797.2	-93215118.82
1	430	650	-438568.75	-486568.54	-632118.16	-35743.57	-530921730.2	-382650352.7
2	430	650	-463800.03	-260366.68	-364905.77	-3803083.67	-394784004.5	-321144388.6
3	430	650	-248185.9	-74742.1	-127466.8	-3091861.08	-83941422.08	-62810272.01
4	430	650	-163134.72	-12161.59	-33111.85	-4759127.04	-40774233.73	-15587106.27
1	400	650	-480924.64	-248287.36	-453283.86	-51294.75	-407139466.3	-213315664.3
2	400	650	-214750.86	-58763.81	-224817.35	-3752351.45	-228612563.6	-74175185.13
3	400	650	-94639.26	-17065.54	-106301.45	-2488480.26	-65780535.37	-18714826.49
4	400	650	-36278.8	-6987.37	-34362.8	-1197448.49	-40759888.11	-7665605.98
1	630	650	-336424.98	-84586.58	-102786.67	-118671.84	-196904809.5	-175864769.8
1	630	650	-115434.24	-83503.8	-102392.4	-118671.84	-196382445.2	-174622532.4
2	3710	650	-453242.5	-58028.67	-1553976.9	-8311411.91	-4391808692	-217818189.8
3	3710	650	-340951.18	-8953.26	-538280.33	-23419026.14	-1933403309	-23183632.93
4	3710	650	-227541.44	-1934.35	-61294.39	-16410080.78	-375505685.2	-9880662.72
1	355	650	-122101.23	-125835.51	-408989.9	-58474.05	-363546524.7	-119064050.8
2	355	650	-96341.29	-30963.67	-156883.42	-407561.41	-152945438.2	-39817200.71
3	355	650	-50356.63	-6102.79	-49421.53	-1820177.65	-28255863.27	-5811546.31
4	355	650	-17637.93	-797.34	-21396.38	-1019154.65	-24032274.24	-333426.63
1	340	650	-175079.18	-112287.15	-404773.96	-52101.27	-354896199.3	-105768689.9
2	340	650	-60971.82	-33041.98	-155633.94	-368679.46	-151265800.5	-40385031.22
3	340	650	-89417.75	-10655.99	-40602.13	-3442388.21	-23002446.33	-7662721.34
4	340	650	-125513.4	-1337.45	-19823.61	-1751413.71	-21883473.24	-1672531.65
1	600	650	-160914.02	-86681.25	-133183.28	-76764.53	-229761378.5	-177325586.4
2	600	650	-62968.17	-18563.38	-24475.5	-5073297.95	-54365424.45	-66209698.44
3	600	650	-59133.62	-5070.37	-8707.9	-3644092.7	-13294132.97	-11356275.49
1	2175	650	-616562.98	-712184.17	-4075619.3	-2985803.95	-5474786169	-1001752551
2	2175	650	-216069.37	-281091.62	-954931.9	-192081053.9	-618456105.9	-570128845.9
3	2175	650	-92861.99	-34336.85	-178837.24	-83770878.74	-308954704.7	-99348874.97
1	410	650	-111892.37	-176661.35	-487920.72	-132759.09	-436292299.6	-175523936.7
2	410	650	-53909.89	-8263.96	-138414.79	-13172604.68	-134693536.9	-7078447.73
3	410	650	-44352.43	-8997.79	-67810.09	-10050996.68	-44998348.43	-7419611.7
1	2790	650	-980352.2	-565482.07	-5490589.3	-6871081.87	-7969293163	-966164276.1
2	2790	650	-624631.18	-39430.64	-1004798.7	-145505131.8	-745407043.9	-251420492.1
3	2790	650	-143951.57	-11523.8	-297507.42	-117530482.3	-144509500.5	-56040596.52
1	360	650	-412016.83	-103401.97	-460523.46	-154034.14	-399327477.5	-108201715.9
2	360	650	-408424.56	-51363.38	-143933.11	-4179246.02	-137729129.6	-34417560.32
3	360	650	-219568.63	-117816.41	-100610.68	-10802097.96	-64410992.36	-87319032.86
-1	565	650	-177257.4	-15576.2	-14353.81	-59069.14	-9495639.88	-10197327.66
1	565	650	-248195.87	-41767.95	-123511.15	-67601.97	-209531832	-106016451.3

2	565	650	-255259.94	-12132.59	-24748.71	-3325406.38	-54173233.34	-6419328.81
3	565	650	-93078.76	-31808.68	-29507.57	-9154535.75	-46194394.03	-64987670.64
-1	3765	650	-1074506.5	-248832.27	-62562.48	-970463.31	-113785632.3	-157810335.6
1	1475	650	-665181.17	-183032.74	-2018027.3	-590091.87	-2337632438	-324407222.7
2	1475	650	-550160.93	-32915.02	-483391.3	-47166699.27	-614138721.3	-101785747.6
3	1475	650	-106555.29	-1667.62	-355142.1	-88525865.13	-308033822.5	-17950498.58
1	910	650	-681629.2	-169312.52	-953255.82	-297264.77	-994443857.1	-251082219
2	910	650	-368263.89	-5970.39	-237512.84	-26643597.03	-274629538.4	-24544969.01
3	910	650	-63142.28	-53522.21	-137348.75	-24485941.77	-128250103.6	-60419367.99
-1	175	650	-140728.88	-19120.37	-1361.47	-3046.66	-989277.45	-12201417.47
1	175	650	-125483.73	-13063.97	-1773.41	-3486.76	-3128231.44	-31305367.51
2	175	650	-18037.4	-1764.83	-171.15	-218400.38	-576865.59	-4269452.07
3	175	650	-39053.96	-4770.56	-534.63	-891725.24	-435432.32	-5093895.49

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
facciata laterale	1	1345	630	-2169021.68	-2389232.9	-634759.9	-764379.3	-796824892.4	-2828096341
livello	2	3155	630	-504037.22	-798304.23	-126137.07	-15182291.13	-204057281	-1453999460
	3	1345	630	-135717.43	-26246.72	-14761.35	-10533444.74	-13941724.11	-55187696.72
	1	2735	630	-2132284.31	-5715821.7	-711600.4	-12059677.25	-945647354.8	-8064453637
	2	1105	630	-427381.63	-155729.87	-27006.03	-3309926.21	-51296410.97	-206006042.8
	3	2735	630	-121384.31	-152086.48	-5785.66	-20410657.95	-9035568.12	-190730866.1
	1	705	630	-576699.51	-842240.34	-371753.62	-450832.99	-446450518.6	-806028507.3
	1	475	630	-310910.53	-477558.22	-311799.11	-301022.81	-339808943.5	-381335234.8
	2	1630	630	-363417.93	-353068.32	-122247.11	-5407480.57	-257816675.7	-532576981.9
	3	2005	630	-135501.88	-132608.32	-42659.3	-4525785.83	-27051368.34	-153249490.9
	1	475	630	-593694.65	-489469.31	-298700.36	-215017.31	-332174750.8	-387841877.9
	1	735	630	-726649.97	-871262.38	-360154.15	-505138.96	-443505561.7	-837600643.2
	2	1660	630	-567059.11	-347229.89	-113203.84	-5497564.8	-253391930.7	-571445008.9
	3	2035	630	-100956.93	-130023.23	-36578.05	-3834093.72	-43028859.3	-210256965.2
	1	935	630	-279983.88	-1425348.6	-487826.57	-979259.44	-589523283	-1458315793
	2	935	630	-190468.15	-62392.03	-123271.7	-2825912.92	-225247307.3	-47681132.12
	3	1055	630	-126996.25	-37241.93	-95932.01	-19656608.23	-111273120.1	-48259862.5
	1	2820	630	-1053889.63	-6720150.3	-622846.94	-1714296.87	-921832853.6	-8623484421
	2	2820	630	-513672.41	-389812.11	-211526.23	-5914642.66	-474012029.6	-170485403.6
	3	3060	630	-84669.37	-223031.77	-52643.43	-43959503.35	-97344460.99	-379432492.1
	1	900	630	-1151126.71	-1326631.4	-497217.71	-711433.03	-582986221.7	-1345314596
	2	900	630	-309261.59	-51852.6	-102771.46	-2405556.43	-196447478.4	-31879846.61
	3	1020	630	-134053.55	-37700.54	-19855.17	-5914645.48	-25629392.32	-40427003.24
	1	2050	550	-947570.63	-3975112.8	-452005.56	-2233599.32	-610357114.4	-4830804608
	2	2050	550	-619901.56	-123649.72	-93767.66	-4735385.46	-244185340.2	-562675589.6
	3	750	550	-123368.49	-38253.65	-31158.44	-3491477.88	-29409941.84	-26860036.58
	1	1480	550	-947770.56	-3109067.3	-521287.65	-657650.08	-639287974.6	-3319238258
	3	3030	550	-64862.56	-119925.94	-16033.83	-12222002.08	-29111630.82	-193418330.7

1	600	550	-769715.61	-562863.21	-290068.08	-181757.82	-311547584.3	-512030566.1
2	1950	550	-374950.6	-188576.4	-95425.36	-4515016.28	-240790596.3	-307292432.8
3	850	550	-93318.66	-35519.05	-9481.87	-1280841.11	-10799979.72	-25052602.45
1	1500	550	-1087671.55	-3407082.8	-638422.9	-14018447.69	-703083772.3	-3282969125
2	1500	530	-522407.7	-150948.4	-88090.78	-2002458.63	-193135351.9	-188576445.2
3	1620	530	-145025.08	-14589.41	-13663.33	-3173055.69	-20476763.3	11012436.87
1	2150	550	-2525413.99	-4338469.8	-279942.01	-173475391.3	-444784842.5	-5263785302
2	2150	530	-206143.44	-287900.8	-50855.01	-86707151.51	-161350066.9	-748297794.8
3	2270	530	-37692.63	2683.15	-7414.76	-5317755.16	-14803201.12	17888717.91
1	1740	630	-2037240.84	-5172039.9	-1606538.2	-4256538.61	-1543468953	-5284769818
2	1740	550	-471503.28	-202285.49	-64250.86	-5623854.42	-95600651.24	-585617363.3
3	1860	530	-89097.6	-96279.83	-6287.1	-13091405.41	-10251649.01	-154960218.2
1	910	630	-1427805.11	-1784944.3	-886656.64	-1594006.68	-860023233.9	-1631094005
2	910	550	-545626.09	-45587.62	-49228.94	-3332467.07	-95472324.67	-89308684.39
3	1030	530	-107372.66	-43911.4	-31202.26	-878629.99	-29434927.34	-43143100.31
1	2875	480	-1381777.72	-4635435.9	-577122	-696242.8	-699648438.7	-7017197259
2	2875	480	-901908.49	-269098.67	-11024.99	-17632056.75	-50103399.37	-1467856292

		<i>dati parete</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>l [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata nord									
livello	1	860	450	-1108980.66	-296245.08	-784933.95	-769427.05	-724591312.9	-276894732.2
	2	760	450	-336618.03	-17038.78	-59736.4	-5037250.68	-83657964.52	-25396745.84
	1	3810	450	-1163573.24	-675662.68	-6397177.4	-8529524.28	-10288602769	-725670284.3
	2	3710	450	-395817.2	-58881.28	-425262.3	-2338439.58	-445369996.7	-119399690.4

		<i>dati parete</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>l [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata est									
livello	1	925	480	-744955.68	-627314.84	-249785.35	-187136.77	-270930591.4	-739586592.1
	2	975	480	-188142.98	-51039.19	-52762.29	-3893802.35	-54651999.84	-32587254.67
	1	850	480	-586643.78	-551384.89	-197088.07	-164866.96	-226056617.8	-625841114.6
	2	900	480	-283669.3	-80105.41	-27638.73	-2039945.43	-26008211.97	-49996197.62

		<i>dati parete</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>l [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata nord									
livello	1	6810	500	-791968.19	-1434379.7	-14100767	-1986783.99	-28612721906	-1832212909
	2	1600	500	-217570.93	-24027	-342798.94	-2442608.21	-556872732.8	-67643731.89
	3	1030	500	-39513.92	-4957.49	-10816.6	-1585839.63	-18591525.38	-7081306.03
	2	4310	500	-551463.2	-72660.36	-1198229.4	-8615290.87	-1453263394	-203200998.2
	3	4780	500	-198487.32	-5148.14	-32080.34	-3371225.8	-228462911.6	-12107133.84

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
facciata est									
livello	1	550	430	-608046.38	-510863.36	-266476.45	-100547.3	-227690873.8	-407312409.7
	1	500	430	-321560.41	-465475.62	-219799.2	-92992.82	-194938431.4	-347561191.1
	2	550	430	-175464.26	-51312.55	-35334.24	-601489.9	-39113613.73	-39599171.09
	3	550	430	-35833.48	-3881.55	-1055.32	-482552.06	-1512606.43	-4262811.5
	1	740	430	-589318.81	-439904.61	-199671.51	-192087.89	-214269920.1	-507648566
	2	1940	430	-504977.06	-422913.67	-9005	-1970322.84	-26905965.17	-507332537.5
	3	1940	430	-61784.98	-43358.19	-865.02	-603520.75	-2416324.35	-83357633
	1	1240	430	-935236.8	-1216020.2	-272283.91	-298292	-314320656.6	-1565707961
	2	2440	430	-607531.57	-351889.35	-14768.09	-2486755.61	-14912878.97	-376833010.8
	3	2440	430	-86285.51	-19733.51	-6326.17	-4591441.9	-14906719.2	-13837971.19
	1	2250	430	-576171.07	-2618525.9	-238826.86	-651122.25	-374412843.6	-5261682022
	2	1050	430	-114418.09	-119039.22	-6350.47	-902826.16	-4616057.16	-150675722.8
	3	1050	430	-76863.91	-20466.63	-7681.79	-1287112.8	-12569886.38	-16585419.91

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
facciata nord									
livello	1	2605	400	-1774538.8	-339939.01	-7014448.5	-906124.1	-15226140501	-558970450.4
	2	200	400	-59005.1	-439.21	-13924.73	-39419.65	-15957327.88	-266904.76
	3	3000	400	-90286.11	-4794.08	-97979.77	-609091.32	-199718484.4	-6943169.6
	1	5000	400	-394845.39	-176750.23	-3258336.5	-419396.43	-4928202216	-290136551.2
	2	7405	400	-1250926.94	-7529.77	-1790620.4	-3351142.37	-2194247102	-53133955.97
	3	3855	400	-108523.07	-3501.3	-72560	-1358225.19	-186166606	-4748985.89

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
facciata est									
livello	1	600	510	-1025482.5	-353448.33	-273217.87	-198958.27	-283726709.2	-374861125.3
	2	600	510	-391278.07	-45919.76	-106316.02	-669866.2	-92379185	-33370816.64
	3	850	510	-68158.32	-18492.02	-7006.83	-846331.5	-7070543.35	-20842253.09
	1	2600	510	-956798.62	-4339478.7	-395579.58	-2089592.53	-611832387	-7436621397
	2	2500	510	-484315.85	-522604.61	-44166.55	-13420397.42	-123657954.9	-424983131.5
	3	3050	510	-78604.52	-139260	-2308.89	-13176444.67	-4391895.59	-206011752.7
	1	500	510	-157784.18	-255894.39	-138096.83	-107557.65	-169356449.3	-256912600.3
	2	500	510	-54925.05	-64971.48	-50801.51	-746655.44	-73883613.28	-52384727.76
	3	500	510	-24942.98	-3237.47	-7627.39	-427109.16	-7360137.95	-2572478.33
	1	300	510	-67029.32	-18426.73	-24548.54	-22737.54	-46746983.6	-26272383.72
	2	600	510	-114362.54	-111197.65	-22467.52	-923167.59	-49325470.61	-98352791.33
	3	965	510	-36195.43	-20484.34	-9545.97	-1063768.49	-11456364.77	-13672866.08
	1	3100	510	-1106224.37	-4336036.4	-231059	-6539116.9	-451413786.5	-7302751536
	2	2620	510	-482902.71	-835031.14	-54316.24	-2175867.56	-156921568.1	-963515004.1
	3	3160	510	-113518.28	-254417.13	-7728.79	-14956641.43	-20053730.67	-414642395.4
	1	735	510	-1006365.28	-370401.27	-251528.01	-214551.81	-333901425.1	-365998236.7

2	735	510	-395670.25	-129657.32	-61817.68	-1152482.44	-101948014.9	-127749251.7
3	910	510	-79585.8	-46869.99	-35386.21	-13761503.79	-39475909.28	-38804134.26
1	335	510	-1132508.07	-184938.95	-312849.09	-332744.94	-319906600.6	-154472286.6
1	400	510	-1030563.67	-319435.33	-425843.35	-1714285.11	-412922995.8	-262318258.8
2	1820	510	-1043498.5	-335818.76	-91727.41	-4817308.98	-181470644.8	-242140965.5
3	1970	510	-104338.31	-248451.92	-8168.39	-72837768.76	-23268600.07	-364530654.4
1	275	510	-775681.12	-48292.38	-281188.69	-950601.46	-319756772.3	-56822206.16
2	275	510	-656603.29	-19799.91	-45694.01	-127405.46	-83802253.18	-26997008.29
3	425	510	-67581.45	-40180.24	-34719.68	-3991405.89	-21462160.18	-25930482.6

		<i>dati parete</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>l [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata nord	1	2290	570	-1135025.46	-186052.96	-1269441	-620113.77	-3749603507	-438277551.5
livello	2	2290	570	-237602.52	-30145.9	-367207.31	-3718956.61	-1290580373	-117975323
	3	2290	570	-124147.26	-6563.22	-588456.08	-8268447.85	-950750542.7	-13264780.58
	4	2290	570	-367061.2	-12273.08	-62713.29	-31703140.09	-182866711.2	-23242586.56
	1	630	570	-124909.55	-49948.22	-49956.76	-93434.67	-113570416.9	-129884773.8
	1	630	570	-87821.59	-47196.31	-59635.41	-93434.67	-126708434.9	-126352999.5
	2	1070	570	-701793.12	-19584.36	-132938.48	-2087089.78	-172771100.6	-73853346.38
	2	1260	570	-757225.53	-11165.89	-215026.85	-2577063.46	-334032129.8	-60534658.65
	3	3710	570	-378408.92	-4245.96	-2193706	-30159595.22	-4386294400	-27395550.68
	4	3710	570	-191425.73	-3809.32	-217949.78	-19404699.86	-1370947860	-16231107.3
	1	2155	570	-387508.45	-145535.38	-1187649.3	-576770.88	-3308787899	-373310787.1
	2	2155	570	-355696.19	-49578.88	-364317.57	-3459019.92	-1013467918	-182466383.7
	3	2155	570	-323690.4	-16845.11	-1128135.8	-24296353.05	-1490851050	-36456427.01
	4	2155	570	-120345.15	-5656.31	-82166.77	-22921430.85	-586622113.9	-9274630.62
	1	4565	570	-736199.31	-315266.16	-6534570.7	-1064684.62	-22096117725	-914346252.1
	2	2457.5	570	-749249.43	-35137.19	-39344.11	-67309035.09	-332250306.6	-95973904.27
	2	727.5	570	-572507.99	-55635.51	-36827.04	-34234588.23	-58150735.78	-52643822.09
	1	4530	570	-1067863.38	-378730.12	-6262885.8	-1055824.77	-22057325836	-978333297.8
	2	4530	570	-688940.07	-42123.39	-303716.17	-190613319.8	-1711179348	-237737530.7
	-1	8505	570	-7395664.15	-116927.19	-3436123	-1801779.81	-46958795612	-71921911.07
	1	8505	570	-12529141.7	-658148.13	-11018078	-2062055.71	-53189842413	-1717713427
	2	1002.5	570	-1187629.4	-115872.21	-75161.97	-15795340.51	-146124631.2	-146270519.4
	2	6302.5	570	-336155.03	-120720.73	-1743307.2	-14044250.81	-567257582.8	-152466321.7

		<i>dati parete</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>l [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata ovest	1	3910	400	-4466696.78	-4243259.1	-142619.07	-695575.48	-362233973.9	-13931992168
livello	2	3755	400	-1530131.42	-5253609.6	-67525.66	-9630477.56	-37579050.91	-6607311988
	3	3755	400	-1887666.58	-4018077.3	-93420.69	-2324139.1	-114280096.2	-5359036805
	4	3755	400	-2329783.32	-2042711.3	-14284.37	-67107467.71	-31997618.66	-1887428468
	1	4260	400	-7843728.91	-5353987.4	-347142.01	-11377507.4	-594973283.3	-17653470042

1	535	400	-3506521.67	-131901.35	-95923.34	-76918.94	-123209475.7	-177149170.6
2	4950	400	-7482646.21	-6012958.7	-267400.3	-14275460.61	-244638850.2	-7131868687
3	4950	400	-2007058.96	-5275476.3	-453690.34	-3586727.25	-376121166.1	-6000123388
4	2010	400	-2376173.8	-2126727.4	-173687.48	-21208579.48	-187390955.4	-95660118.65
4	2140	400	-404372.11	-566850.97	-692268.84	-31117427.95	-458550351.7	-465147352.8

		dati parete		sollecitazioni						
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]	
facciata nord	livello	1	7007	410	-6658164.03	-460556.09	-7884483.6	-978871.98	-39643412085	-827217567.2
		2	7007	410	-4547019.29	-535131.94	-3570641.5	-54461.29	-13807319330	-905958395.9
		3	7007	410	-2263896.86	-836541.56	-2427157	-54893.39	-4113649873	-1067932263
		4	7007	410	-586229.82	-428064.13	-661657.23	-49274494.12	-1299623488	-328925903.1

		dati parete		sollecitazioni						
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]	
facciata est	livello	1	662	650	-3737841.14	-933517.43	-543135.44	-478886.46	-553214786.2	-849239442.8
		1	398	650	-1584269.82	-349542.09	-447242.06	-689251.85	-390461148.4	-271076398.4
		2	1958	650	-2972203.03	-1091086.9	-640654.09	-677892.58	-815197590.4	-1325072917
		3	1958	650	-2226649.88	-2665140	-497897	-2751736.55	-640851536.5	-2318460580
		4	1958	650	-601394.07	-354657.46	-234563.09	-34631443.71	-113549848.5	-174982792.6
		1	728	650	-2972203.03	-1091086.9	-640654.09	-677892.58	-625649226.6	-1002185615
		1	499	650	-2668206.53	-465862	-474810.22	-275276.52	-445499334.8	-397587289.9
		2	2125	650	-3164337.22	-3223124.1	-784578.57	-3739578.64	-911428423.4	-3911586004
		3	2125	650	-3197052.02	-2489130.6	-430451.93	-31041662.31	-331459256	-1884272289
		4	2125	650	-1509805.81	-3457379.6	-409495.31	-669592.17	-465838767	-2973919350
		1	568	650	3127.12	-206563.22	-72051.63	-14378112.13	-46642103.98	-118083223.1
		2	568	650	-2929011.36	-419455.66	-316215.52	-932283.92	-285297097.7	-382292988.2
		3	568	650	-2094706.9	-273078.48	-270110.61	-103773.14	-271659491.9	-219117650.6
		4	568	650	-2515539.15	-504405.14	-169017.51	-3606692.79	-92443578.37	-219008202.1
		1	563	650	-2420235.67	-214807.07	-137562.55	-164810.18	-226336815.9	-294470213.7
		2	563	650	-1547998.72	-305577.09	-181246.65	-356634.6	-187314731.3	-332074544.2
		3	563	650	-1263693.68	-144472.02	-36489.38	-9485.26	-22118557.11	-79400511.78
		4	563	650	-601394.07	-354657.46	-234563.09	-34631443.71	-78950835.99	-130169687.3
		-1	7550	650	-4884987.69	-407898.68	-756514.21	-2477229.23	-457541127.3	-6489942241
		1	4404	650	-2248257.05	-1084333.9	-372562.44	-874482.37	-791088652.7	-4943323280
		1	1797	650	-2415133.13	-1496985.3	-615157.99	-736338.77	-802987381.2	-2889935169
		2	4404	650	-4466.87	-14355.6	-55794.47	-6127625.16	-29502359.65	-2290283.54
		2	1797	650	-1931453.92	-852831.45	-372170.86	-86586487.3	-596600114.9	-1361762465

		dati parete		sollecitazioni						
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]	
interni 1	livello	1	6810	480	-933593.31	-1467273	-16568803	-2172698.21	-34473972266	-1957466161

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 2 livello	1	6810	700	-1000699.66	-1715542	-16852785	-5061833.38	-46879458699	-3213941164
	2	5210	650	-688227.31	-85845.18	-1942404.3	-14504674.33	-1640822309	-360636259
	2	500	650	-181792.04	-5239.98	-86215.93	-627765.14	-113380883.4	-8904379.59
	3	840	400	-89719.41	-16151.91	-3211.84	-480054.16	-4146371.09	-23304647.51
	3	3690	400	-135304.52	-9970.53	-82400.52	-1741289.11	-266506190.8	-16645758.32
	3	500	400	-58614.87	-3832.53	-2684.49	-154010.22	-1406174.13	-4771038.76

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 3 livello	1	5540	600	-	-	-10128535	-	-	-
				2576417.36	925634.67		2407210.45	26419938896	-1679156863
	2	840	600	-191699.56	-18196.93	-66678.88	-1262039.9	-103028730.7	-
									16883883.82
	2	3800	600	-636846.66	-5500.35	-	-	-2910846517	-34988668.8
						1391909.6	7428433.51		
	3	840	500	-106714.18	-1687.06	-5579.35	-	-4675281.8	-
							1076671.18		11962531.08
	3	3800	500	-154914.26	-9258.26	-	-	-878743200.4	-26954874.4
						208038.44	1607506.96		
	1	1600	600	-266048.06	-247619.1	-1203575	-452223.46	-1979129398	-
									417034177.4
	1	400	600	-79752.36	-30108.96	-65119.22	-38875.79	-105820918.8	-
									49891976.46
	2	2230	600	-138605.39	-41199.01	-862001.4	-	-1566685417	-
							4459818.09		56901265.62
	3	800	500	-41119.59	-405.13	-10771.69	-548243.93	-12698125.83	-1424315.74
	3	800	500	-21359.74	-739.69	-6554.21	-146269.87	-7642909.19	-1758353.42
	1	5040	600	-	-	-	-689039.8	-7203268403	-
				3938629.53	897648.51	8931788.6			79850555.91
2	1200	600	-246611.74	-12842.67	-130610.1	-	-266545139.6	-	
						1681411.99		18384772.05	
3	1200	500	-29204.64	-2824.82	-31829.28	-599930.98	-85163584.09	-6831971.5	
1	560	600	-196060.73	-50313.76	-54044.69	-77674.51	-108305027.6	-	
								100818671.8	
2	560	600	-176549.75	-8367.5	2577.67	-447144.8	-6627812.7	-	
								29711213.94	
3	560	500	-14642.64	-838.78	2175.09	-154050.01	5365051.61	-2193277.94	

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 4 livello	1	5540	670	-863794.2	-616378.43	-7787562.1	-2474127.48	-24269287000	-1380657295
	2	5540	620	-581549.3	-209724.4	-46281.26	-13701611.62	-2030539968	-693675830.1
	3	5540	550	-223499.19	-30480.68	-503777.37	-6870628.47	-1797308315	-89327444.2
	1	1280	670	-480423.55	-301993.7	-1061763.6	-730624.25	-1534650983	-478266437.3

2	1400	620	-245367.01	-44211.17	-367764.97	-3626326.08	-427828958.7	-123234707.8
3	1400	550	-53445.57	-3342.76	-208495.86	-1438595.17	-271595494.3	-4705690.56
1	700	670	-313664.83	-226674.5	-286504.55	-334225.25	-368861751	-325070047.1
2	700	620	-112034.05	-18949.83	-98587.85	-1295540.77	-120328817.5	-62177384.53
3	700	550	-17383.79	-1414.66	-44017.1	-1157054.41	-52249679.6	-3009962.76
1	2550	670	-2649676.74	-340807.07	-3654615.6	-1352412.24	-7039026647	-804218911.4
2	4450	620	-662340.05	-217373.36	-1577731.7	-12251833.97	-4978972996	-709259580.8
3	4450	550	-245528.28	-30125.03	-132355.36	-19317109.95	-620632613.4	-85898067.89
1	2725	670	-1267527.64	-346957.69	-3956457.4	-1498037.73	-7965492157	-842887829.1
2	1125	620	-365110.83	-56016.42	-40728.87	-1962091.7	-51820166.98	-172836392.6
3	1125	550	-103778.73	-10238.73	-28491.95	-10277042.24	-37920361.48	-20105146.42

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 5	1	2340	610	-4008138.7	-249422.21	-3090969.4	-303563.43	-5626509572	-551983741.2
livello	2	4140	610	-1734621.09	-146095.72	-1666646.3	-9575862.42	-1974472248	-522656863.3
	3	5540	600	-260719.36	-31613.12	-149072.55	-40437346.42	-49648895.63	-91613015.76
	1	2100	610	-2230825.58	-218598.61	-2593513	-571188.76	-4567627324	-489596312.3
	2	300	610	-50165.65	-1265.97	-51820.25	-190331.76	-63824121.96	-4781955.27
	1	3100	610	-806038.88	-223769.86	-2455780.5	-941090.45	-6707136992	-531734996.7
	2	3100	610	-779389.39	-69082.16	-274469.68	-5790314.83	-899811279.7	-291397994.6
	3	1800	600	-259225.09	-2925.21	-239598.75	-2051706.87	-218314163.2	-11868720.89
	3	300	600	-11497.99	-662.66	-5664.62	-345107.91	-7106742.61	-2080141.15
	1	2850	610	-4615893.05	-324208.21	-4337261.4	-966463.2	-8125953297	-700884614.9
	2	4850	610	-2134886.57	-241842.75	-1917318.9	-16147479.27	-3185722177	-712792161.7
	3	6775	600	-280971.83	-77508.65	-64500.03	-48721735.44	-440656035	-186720332
	1	2925	610	-3793768.93	-331106.64	-4441930.2	-972561.28	-8510343554	-719229746.6
	2	725	610	-400945.66	-32629.2	-98208.92	-1599943.34	-169368364.5	-29250205.42

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 6	1	4650	630	-2225544.72	-10782797	-646667.42	-55301890.69	-1365709603	-23190088006
livello	1	300	630	-76652.39	-52976.01	-145907.52	-320835.13	-177888874.3	-59659062.25
	2	4650	400	-370551.97	-89285.37	-48196.71	-2509001.75	-151899637	-3048627070
	2	300	400	-27356.36	-6297.5	-5946.62	-87916.93	-5395677.95	-5876555.66
	3	5800	300	-121270.37	-26647.82	-2486.78	-3053360.53	-5054543.67	-83192260.3

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 7	1	2400	400	-262995.77	-2349018.3	-134149.41	-296796.98	-231660131.9	-4049627775
livello	1	2835	400	-256322.43	-3071994	-145763.75	-356900.97	-259695962	-5464506897
	2	1000	400	-126500.83	-45689.32	-15616.58	-575643.62	-27388285.16	-71300646.92

2	4135	400	-582430.41	-783267.03	-41567.8	-2730178.46	-69705817.38	-1701877207
3	6335	400	-140713.02	0	0	0	0	0

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 8									
livello	1	2400	400	-341180.78	-2839942	-185952.78	-767904.42	-285662159.3	-4393478252
	1	2900	400	-360658.92	-2909458.3	-149054.64	-1030995.44	-239186845.6	-4592708953
	2	1835	400	-246455.13	-157318.78	-23743.76	-1145126.82	-43089743.29	-253775767
	2	2835	400	-307367.36	-266504.83	-13808.75	-1592046.58	-24539447.45	-546879828.1
	3	1835	400	-40759.02	0	0	0	0	0
	3	2835	400	-62971.02	0	0	0	0	0

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 9									
livello	1	1645	700	-1613126.27	-935425.78	-260382.41	-9787940.91	-552373143.1	-2267248426
	2	1645	650	-1495235.33	-233132.61	-44361.65	-4299073.03	-145057842.9	-421702415.6
	3	530	550	-169210.02	-26323.44	-7766.01	-14540064.87	-13448112.3	-38827677.13
	3	415	550	-466530.1	-9878.32	-3679.04	-5245544.26	-11092149.74	-15521620.25
	4	8515	550	-739701.49	-135672.76	-89485.27	-109189894.3	-222421388.3	-652020474.9
	1	1825	700	-1480392.63	-1892912.5	-225217.31	-1218862.75	-540599068.1	-3663894232
	1	3255	700	-3156205.35	-4216996.5	-360025.16	-3565035.23	-898964403.5	-11285882788
	2	2240	650	-556205.55	-165045.36	-11558.71	-6375781.12	-96970981.24	-143724989.6
	2	3530	650	-717161.56	-341664.96	-11674.95	-12533419.22	-88634136.5	-290554787.6
	3	2170	550	-706085.18	-161762.74	-12094.89	-26259585.04	-44723644.42	-180161359
	3	3400	550	-963390.89	-102701.7	-42362.25	-30931925.85	-106610230.9	-100121184.8

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 10									
livello	-1	8515	560	-1215191.09	-65035.25	-290341.85	-4708060.98	-35895398.97	-5590981463
	1	3380	560	-1832443.06	-5712043.4	-354865.56	-765478.41	-721292544.3	-10949677338
	1	3835	560	-1465783.88	-6769570.6	-377577.82	-882437.27	-789397675.9	-12934140397
	2	3380	650	-850966.73	-1053673.5	-34830.39	-7809632.1	-285321948.2	-4820405875
	2	3835	650	-611602.62	-1071759.7	-65106.18	-7664046.88	-369204459.6	-5970027248
	3	8515	650	-377552.19	-123865.89	-878687.63	-363761304.7	-1270334716	-647040698.8
	4	8515	650	-542231.14	-111885.85	-43695.67	-34469311.72	-77800825.43	-307063965.3

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 11									
livello	1	750	320	-204643.52	-52788.75	-8070.56	-31192.43	-20783399.97	-129511454.9
	1	1345	320	-408899.2	-232172.69	-20141.64	-64972.53	-45111632.23	-618608066.5

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 12									
livello	1	750	320	-195772.76	-52683.68	-8577.13	-31192.43	-21482914.26	-129580694.2
	1	1345	320	-500426.29	-217085.2	-19911.25	-64972.53	-44797323.08	-603295608.4

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 13									
livello	-1	8515	480	-4166421.59	-296652.69	-250181.25	-1084781.92	-171420540	-3774297945
	1	3380	480	-3037108.43	-1855243.9	-72795.89	-471040.01	-271897724.8	-6485223519
	1	3835	480	-1469890.06	-3112767.5	-152859.81	-560817.09	-394104891.9	-11004734581
	2	3380	420	-2556361.35	-2971428.6	-123605.58	-39673723.05	-334501723.1	-9549659674
	2	3835	420	-1655212.77	-3138761.7	-22145.05	-50197709.19	-134977613.5	-10151496784
	3	8515	420	-47539.97	-4487875.5	-116252.27	-144041573.8	-53493771.31	-291572459.5

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 14									
livello	-1	3380	450	-2494503.32	-691827.23	-127608.85	-343663.71	-88668735.55	-1152215458
	-1	3835	450	-2621305.4	-1603112.7	-147087.47	-394149.7	-101963165.8	-3603534227
	1	3380	450	-2307524.31	-4587286.6	-63369.7	-819557.28	-192187086.7	-8128342103
	1	3835	450	-2693047.84	-4523060.7	-76189.52	-951971.66	-220986962.2	-7365718134

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 16									
livello	1	2600	400	-821699.9	-526840.13	-33423.56	-1531053.35	-75762335.37	-2023546224
	2	2600	400	-771256.87	-106203.73	-20411.04	-3314821.64	-34085876.67	-300056654.5
	3	2600	400	-524184.96	-357505.81	-46369.84	-15639.86	-52573671.21	-123937915.4
	4	2600	400	-220731.25	-768172.83	-66080.53	-27999790.55	-36073932.01	-1162016937

		dati parete		sollecitazioni					
		<i>l</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 17									
livello	1	2818	500	-1488827.08	-286839.34	-2381626.1	-739985.64	-5426956979	-480805630.6
	1	822	500	-1343398.77	-293060.27	-124085.79	-145767.54	-169391337.5	-418554794.2
	2	1879	500	-672724.55	-160748.65	-851988.03	-20182.03	-1436872678	-259539876.4
	3	1879	500	-206515.77	-222450.31	-789031.81	-20342.16	-1598413422	-323309314.3
	4	1879	500	-128684.96	-78268.2	-142679.97	-42948241.69	-345817998	-131377632.8

		dati fascia		sollecitazioni					
facciata frontale		<i>h</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	V _y [N]	V _z [N]	T [Nmm]	M _y [Nmm]	M _z [Nmm]
livello	1	1510	650	-50710.8	-8960.38	-141399.77	-6559463.56	-120686189.1	-6077026.91
	1	710	650	-27719.29	-20467.22	-393667.1	-12374083.35	-271659918.4	-14126721.57
	2	1550	650	-148087	-91094.64	-1450333.6	-45719052.68	-928798319.5	-61495648.56
	2	1330	650	-102977.5	-45894.26	-413364.95	-23557007.36	-250958966.3	-31209842.69
	3	940	650	-63554.32	-21417.01	-208662.86	-14692327.68	-131594823.7	-15457813.38
	3	1110	650	-34157.51	-15482.07	-72759.74	-26098646.54	-46987166.47	-11001179.83
	1	1510	650	-97678.94	-10454.74	-130894.75	-10652854.5	-33642009.44	-7610195.25
	1	710	650	-146027.3	-652.28	-281987	-487909.94	-207248753.6	-453951.94
	2	1550	650	-692937	-8370.17	-1079981.1	-6124838.65	-936437527.5	-6109807.8
	2	1330	650	-231228.3	-17650.8	-369747.95	-8548030.65	-298879235.6	-12694614.45
	3	940	650	-134997.9	-10985.34	-188975.05	-6650030.05	-147365434.4	-7742809.27
	3	1110	650	-25827.46	-4772.7	-108016.76	-2460037.55	-73257995.92	-10426267.5
	1	1510	650	-1072482	-22153.73	-695776.8	-100972397.9	-592996814.7	-13443976.6
	1	710	650	-442381.6	-29905.02	-510430.2	-28461380.74	-365879432.7	-19716917.59
	2	1550	650	-976172.8	-54963.43	-1655674.3	-7989296.38	-1337539606	-33181455.7
	2	1330	650	-457389.9	-37019.03	-487321.14	-32892524.9	-415238965.2	-22973698.67
	3	940	650	-103943.6	-13592.64	-169637	-19792375.58	-131560965.6	-7021359.25
	3	1110	650	-51177.92	-13444.02	-16096.63	-21869086.96	-23552786.4	-13330218.58
	1	2190	650	-72756.08	-30262.65	-508684.96	-30831669.58	-407523119.8	-22424033
	1	585	650	-646667.5	-198788.8	-204734.81	-130608930.7	-210089911	-145278332.5
	2	1675	650	-3461363	-1091402	-1062783.1	-576932649.3	-1565236335	-804093963.8
	2	1330	650	-109193	-69788.2	-284851.98	-47059987.12	-181444872.6	-51270781.19
	3	940	650	-82571.61	-34442.09	-128082.54	-21530087.81	-76012242.78	-25216722.82
	3	2760	650	-89382.7	-32002.23	-311225.69	-20802863.48	-212982799.6	-21677238.31
	4	1980	650	-89382.7	-32002.23	-256221.65	-20802863.48	-218249125.7	-24800628.39
	1	710	650	1815.67	-582.52	-10354.72	-821620.32	-4431396.94	-713586.07
	1	2190	650	-9895.53	-803.59	-439488.91	-1122320.27	-301752145.4	-594337.71
	1	585	650	-26509.71	-3928.39	-91028.98	-2624710.47	-66136408.62	-2870940.96
	2	1675	650	-147181.2	-15795.33	-523343.03	-9182306.44	-401038901.9	-11627960.41
	2	1330	650	-18756.3	-17365.49	-233395.69	-10270536.55	-160433008.1	-12747461.52
	3	940	650	-12805.09	-7802.52	-111699.34	-7565497.79	-75657869.04	-5721919.27
	3	2760	650	-209627.3	-22300.29	-199375.47	-19946633.52	-80865123.47	-26322715.62
	4	1980	650	-20748.55	-15825.43	-97078.73	-3941696.37	-49997247.34	-37575461.35
	1	1390	650	-696877.6	-17540.75	-557729.6	-87218670.71	-489639201.7	-11008635.67
	1	585	650	-224770.3	-3639.05	-266126.76	-4053098.25	-195256220.3	-2483647.21
	2	1675	650	-1251596	-15210.27	-1693407.5	-8284768.91	-1554025823	-10965944.88
	2	2270	650	-301175.8	-12075.84	-719076.53	-205231924.8	-998527792.3	-16973829.68
	3	1110	650	-201776.2	-49078.93	-111821.53	-39100909.93	-63888624.88	-52375492.67
	1	1390	650	-1152726	-24816.29	-700288.93	-104265101.1	-595253346.9	-15109036.79
	1	585	650	-408730.6	-9095.7	-312874.77	-7569148.61	-233400656	-6124554.68
	2	1675	650	-1518760	-44781.13	-1672685.7	-25102049.64	-1545666099	-35836500.92
	2	2270	650	-186902.4	-36804.15	-843321.13	-136830679.4	-1082764971	-141272406.8
	3	1110	650	-299652.7	-35689.72	-221035.41	-81644109.63	-151201662.3	-17365284.74

1	1390	650	-273958.7	-4122.39	-1277445.8	-2074465.22	-928177732.2	-2848000.59
1	585	650	-100430.9	-2902.64	-270720.83	-2024764.49	-186575743.4	-1979740.55
2	1675	650	-211374.6	-21946.91	-1316148.3	-11876213.15	-933643196.3	-15235284.1
2	2270	650	-32699.42	-67194.09	-617535.22	-147201512.5	-445383055.9	-51204167.61
3	1110	650	-338171.9	-83588.43	-215424.07	-62125202.03	-78890404.19	-24052714.99

		dati fascia		sollecitazioni					
facciata laterale		<i>h</i> [mm]	<i>t</i> [mm]	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
livello	1	1710	630	-1590784	-42300.71	-884956.3	-161317617.7	-296072939.2	-35372945.25
	1	710	630	-1111033	-48556.09	-1158060.7	-91594430.71	-404588368.5	-35826884.06
	2	1550	630	-537548.1	-57254.62	-130506.49	-25247543.62	-224921439	-27282756.46
	2	1330	630	-82823.79	-47565.39	-260215.79	-20574467.91	-130174743.5	-23335941.66
	3	1440	630	-44706.81	-10765.22	-140769.04	-14240543.71	-89071233.87	-10100572.57
	3	728	630	-4466.87	-14355.6	-64679.73	-6127625.16	-45997274.33	-20127926.15
	1	1530	630	-114144.6	-18948.35	-421533.56	-8073622.08	-19848507.39	-4409893.81
	1	710	630	-408876.2	-214095	-635837.06	-57826705.27	-192666338.8	-48344251.77
	1	710	630	-106680.1	-6228.02	-331046.95	-3786218.22	-250205600.5	-3217187.31
	1	1530	630	-207205.2	-10719.58	-780463.96	-5543212.56	-64589305	-2473012.35
	1	710	630	-600662.3	-216601.2	-924932.05	-62411892.39	-124177935	-49136852.06
	2	1550	630	-91270.38	-10169.77	-527796.88	-5619000.94	-395058219.9	-7373733.06
	2	630	630	-24843.83	-5124.04	-157974.38	-3690198.13	-109189277.2	-3715243.32
	3	2140	630	-14213.53	-10405.52	-286067.31	-8491353.8	-85888535.56	-4649589.01
	3	265	630	-8068.55	-3308.13	-23128.74	-432017.04	-7816216.39	-936613.37
	1	1530	630	-2060967	-200280.4	-1221383.2	-199313885.5	-260536427.9	-84737848.95
	1	640	630	-692343.5	-28476.49	-710176.33	-16790203.19	-291520792.6	-11792070.59
	2	1620	630	-422262.7	-23087.36	-1761745.6	-62638141.38	-808268811.6	-4794614.91
	2	630	630	-20972.11	-2327.78	-40683.44	-781101.23	-18333415.37	-926405.58
	3	2200	630	-77922.81	-49218.52	-88619.59	-30345254.63	-11377617.63	-25784300.26
	3	265	630	-23224.45	-27966.45	-9468.61	-2242967.01	-3271142.81	-6279020.94
	1	1530	630	-2061084	-200428.8	-1225316.4	-198931138.5	-762805210.6	-83784210.85
	1	640	630	-663039.3	-40466.4	-639858.75	-26607583.37	-271881813.2	-15920056.72
	2	1620	630	-284426.1	-61065.28	-1455106	-21117595.04	-492150528.5	-20466087.45
	2	630	630	-30390.22	-16183.94	-32058.61	-7102699.14	-15147714.03	-6498260.33
	3	2200	630	-116246.6	-11534.86	-239125.27	-46656812.77	-105757787.3	-8283617.5
	3	265	630	-11182.33	-14255.56	-15224.24	-2314481.97	-3967958.33	-8645519.86
	1	1300	550	-961720.6	-25199.87	-636359.68	-82639486.23	-438266517.1	-8186398.99
	1	640	550	-401853.2	-1444.18	-902859.81	-5285624.83	-371562920	-686927.45
	1	1300	550	-28293.04	-5122.13	-151644.02	-1885336.26	-28400672.41	-2272622.31
	1	640	550	-210511.2	-12720.51	-124189.97	-4556264.6	-70533723.49	-5181640.39
	2	1620	550	-794390.5	-1236.6	-827399.08	-3525765.06	-973400421.3	-1135260.56
	2	630	550	-54221.43	-928.23	-60082.89	-1004560.14	-46297470.58	-824054.25
	3	2200	550	-159394.3	-274.21	-66959.09	-6037810.73	-43005538.5	-2889558.5
	3	265	550	-27009.99	-9547.41	-9676.13	-646662.27	-3015936.01	-3554664.73
	3	2200	550	-79588.82	-14492.88	28690.06	-15399571.46	-13552897.07	-1095618.54

3	265	550	-8927.87	-5249.12	-5281.71	-747569.45	-1567164.98	-2691039.33
1	570	550	-89288.85	-22974.89	-214474.97	-5478687.39	-92306633.25	-6645001.4
1	640	550	-2363497	-156496.3	-761510.64	-1227348.51	-284780195.4	-132247969.6
2	1620	530	-2200134	-174148.8	-1541949.5	-39931095.45	-64754015.53	-240755289.6
2	630	530	-287900.8	-50855.01	-110211.5	-23306427.47	-47094545.69	-11807295.47
3	2200	530	-41261.4	-14544.72	-103082.04	-12407664.51	-35960880.92	-8430264.11
3	265	530	-17224.81	-2139.46	-7721.92	-461869.36	-2032166.96	-2174235.3
1	420	630	-130443.4	-9050.84	-41282.48	-7028563.43	-19354843.1	-3650550.09
1	640	630	-483296.9	-45251.95	-792559.26	-15119072.82	-333524343.9	-18476727.38
2	1620	550	-327282.7	-565472.7	-1456779.6	-148018984.9	-683570532.7	-237454452.1
2	630	550	-111166.9	-33745.64	-70113.55	-13335905.58	-21164337.61	-13723013.61
3	2200	530	-42097.57	-47471.38	-189247.81	-16169840.37	-9298363.34	-2656429.55
3	265	530	-6913.37	-5686.87	-19004.43	-306620.78	-5721245.74	-989980.93

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata nord									
livello	1	420	450	-318907.8	-8831.13	-43241.05	-10263986.2	-15817258.95	-3907292.43
	1	640	450	-614454.3	-30072.71	-710626.97	-30305436.95	-303105902.5	-13512407.76
	2	1100	450	-588327.8	-21589.69	-381170.93	-16660420.62	-290482546.3	-13743568.53
	2	1120	450	-228351.9	-39908.57	-161509.2	-8390635.77	-102663008.4	-29198987.39

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata est									
livello	1	260	480	-23962.73	-5569.66	-39783.78	-2401232.15	-22383077.49	-3061135.45
	2	1100	480	-244320	-115576.1	-668814.6	-40245203.06	-374194407.2	-57783853.85
	2	950	480	-14983.15	-112752.8	-58093.34	-7349454.01	-28662165.21	-53777028.1

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata nord									
livello	2	1580	500	-162826	-21231.59	-208684.71	-4234553.38	-69120620.86	-13273029.04
	3	1090	500	-47598.81	-4484.39	-8906.33	-3746382.68	-9377588.97	-1633578.59
	3	265	500	-1992.09	-5135.93	-3239.86	-511937.93	-1084783.37	-3026319.17

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata est									
livello	1	795	430	-10070.64	-209.33	-84527.94	-6848.01	-18220150.98	-52285.07
	1	260	430	-60805.44	-54591.37	-108817.97	-11033349.71	-24608466.65	-13616603.79
	1	260	430	-23617.41	-17596.79	-48521.14	-9082180.78	-27785812.82	-10650195.51
	2	1100	430	-235786.4	-43133.46	-403119.84	-15406988.11	-239929427.8	-21643803.71
	2	1750	430	-178198.6	-4809.38	-298585.57	-4987770.62	-110970259.8	-3097979.18
	3	1090	430	-30061.39	-3103.36	-117562.22	-1266069.13	-55915112.97	-1777589.86

3	535	430	577.74	-1442.88	-12810.12	-416859.2	-5281237.89	-881189.58
1	260	430	-113262.8	-20973.84	-167602.69	-9960272.35	-80512964.22	-10648534.09
2	1750	430	-153445.1	-11648.62	-305504.99	-6607362.22	-189144275.6	-5199046.71
3	1090	430	-56323.77	-1753.55	-124159.35	-931717.31	-65375915.92	-481930.2
3	535	430	-14241.01	-3019.35	-20909.3	-1087770.78	-11052518.65	-945820.62

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
facciata nord		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
livello	1	640	400	-368699.2	-1964.73	-365499.89	-1987125.9	-175192652	-1061023.84
	2	1750	400	-694569.6	-1522.21	-664471.44	-9413430.04	-262950447.9	-1331774.54
	3	1090	400	-4149.73	-1199.82	-18866.93	-1062142.79	-9345858.63	-1095299.03
	3	535	400	-11202.89	-1013.64	-17902.41	-603264.6	-9316379.99	-465022.47
	3	1090	400	-77443.05	-2849.05	-45102.69	-2263237.33	-36469450.98	-1379509.1
	3	535	400	-23773.16	-1242.83	-3960.32	-166879.11	-143558.14	-650460.1

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
facciata est		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
livello	1	880	510	-111069.9	-107.07	-90221.9	-5939858.61	-41098512.67	-70679.41
	1	640	510	-485373.4	-141077.1	-797933.78	-71333208.55	-360450701.7	-72696731.58
	2	1160	510	-338636.9	-150380.8	-455871.31	-89038054.85	-308676441.4	-94499938.54
	2	1580	510	-200788.9	-16086.7	-157202.45	-10684350.45	-59918902.63	-9891831.07
	3	1900	510	-112120	-18142.3	-233713.69	-5372767.55	-31987453.16	-5835939.26
	3	265	510	-7783.3	-2599.57	-12728.61	-589913.97	-4068497.16	-2208973.3
	1	880	510	-96699.23	-513.11	-81737.35	-6138259.73	-44975478.96	-259363.73
	1	640	510	-606782.3	-13819.21	-708753.08	-4605130.16	-441381855.5	-8104041.46
	2	1160	510	-412240.9	-51154.57	-539804.1	-44815990.66	-325885771.6	-39659417.12
	2	1580	510	-257320.5	-7509.61	-281281.44	-7758220.12	-231705424.8	-5520828.75
	3	1900	510	-285667.2	-13245.54	-92535.02	-4782486.15	-95346511.91	-4985091.34
	3	265	510	-27419.6	-2304.44	-5465.14	-618638.63	-1668366.48	-289713.1
	1	640	550	-323461.5	-25531.43	-457900.32	-15597626.88	-242737375.3	-15500076.87
	2	1160	510	-305186.3	-2217.48	-337212.16	-1425178.8	-209609955.4	-1391932.62
	2	1580	510	-202665.3	-1481.01	-368011.28	-3142150.18	-237547906.3	-792352.85
	3	1900	510	-192641.9	-278.19	-348482.1	-22788407.81	-337436819.3	-4300542.82
	3	265	510	-34732.87	-6347.92	-16746.51	-919660.98	-5660992.85	-275512.92
	1	960	550	-465990.1	-7595.18	-224496.34	-22624303.59	-130079403.6	-3452594.34
	1	1070	550	-1467681	-35870.14	-1427263.2	-31324377.5	-866260464	-14810982.84
	2	1160	510	-388882.2	-27404.74	-442882.45	-40480710.73	-225780164	-10026449.03
	2	1580	510	-225352.5	-3019.09	-354567.76	-1601874.98	-153605336	-1266446.57
	3	1900	510	-197614.4	-3950.44	-254094.05	-10851404.46	-48887454.43	-3546148.02
	3	385	510	-24321.26	-8766.13	-37962.89	-4278724.8	-11188283.11	-10521974.43
	1	960	700	-17494.78	-3151.98	-197808.05	-1667192.05	-39591297.92	-744933.21

1	1140	700	-736686.6	-151806.7	-740357.37	-87980843.49	-192829041.4	-66539460.12
1	1140	700	-2157214	-436143.7	-524671.15	-357068537.5	-179732641.9	-371072369.9
2	1580	650	-209019.6	-121335.8	-491869.43	-54156739.14	-363590388.5	-71344530.52
3	1900	550	-88708.23	-38756.65	-388238.29	-38622723.24	-160262324.8	-839105.29
3	385	550	-87204.23	-33456.77	-65280.18	-5800897.43	-24277528.79	-28266621.3

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata nord									
livello	1	2105	570	-174801.4	-2722.71	-74676.79	-1251849.9	-104073330.9	-1859484
	2	1215	570	-154036.2	-25820.36	-65992.57	-22309308.52	-65567837.84	-16598185.23
	2	4955	570	-7813047	-9838.54	-3108144.9	-244543432.4	-3057929786	-188647593.4
	2	4955	570	-1176271	-294192.9	-3219715.4	-523582628.9	-4372332583	-42312506.96

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata ovest									
livello	1	1180	450	-2322991	-52784.72	-767328.63	-89591666.51	-555269176.1	-13242964.1
	2	1355	400	-467351.1	-18901.75	-3830111	-12271600.67	-1463709550	-8225769.08
	2	1075	400	-312665.8	-13047.2	-2365007	-7371884.39	-952859739.4	-5650037.53
	3	900	400	-244979.6	-6372.24	-1722023.7	-997158.2	-702981486.4	-2727326.7
	3	260	400	-23057.2	-6174.8	-93985.19	-5194616.94	-39459194.45	-2598575.08
	4	1185	400	-562907.4	-31152.12	-2283498.1	-26768133.78	-1153710501	-9380069.35
	4	1185	400	-49645.39	-16296.48	-53747.65	-35834189.52	-343045670.9	-14417807.19

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
facciata est									
livello	1	1210	650	-27568.66	-3327.6	-114844.03	-4092037.97	-38211057.34	-1623337.89
	1	1180	650	-307712.7	-79378.62	-81452.76	-48125007.29	-71035581.69	-9045173.4
	1	1180	650	-459544	-125283.7	-1183769.2	-86146785.73	-614581711.5	-61877829.94
	1	1210	650	-581034.7	-247370.4	-1665985.4	-177492249.4	-286409817.4	-18821332.81
	1	1180	650	-293346	-348342.3	-1385309	-85951030.19	-394032770.4	-94018461.94
	2	1730	650	-351905.6	-53482.07	-944942.76	-65919125.05	-467017776.9	-30012189.63
	2	400	650	-47963.46	-1317.79	-16690.94	-2178723.75	-9076288.15	-671554.97
	3	900	650	-150002.3	-5773.97	-190180.92	-12858113.95	-110191473.4	-3488312.5
	3	260	650	-17853.9	-774.5	-7975.12	-1209922.64	-3536726.18	-392831.78
	4	985	650	-92599.9	-10700.74	-238485.08	-23338690.37	-134192840.8	-8753527.85
	1	1180	650	0	0	15190.04	0	-10743956.95	0
	2	1730	650	-181766.3	-93919.34	-1478720.7	-62014437.93	-890084901.6	-71799784.81
	2	400	650	0	0	-5327.62	0	-3898841.59	0
	3	900	650	0	0	-11987.15	0	-8772393.59	0
	3	260	650	-20893.97	-1582.91	-23707.73	-723181.43	-15786872.69	-1158322.38

4	985	650	-237289.5	-22079.39	-575610.58	-11892038.06	-387885094.3	-16312573.2
1	1510	650	-874201.9	-5690.22	-450493.12	-25871635.11	-734590653.9	-12884742.39
1	585	650	-85345.03	-4633.13	-92110.59	-17624744.91	-179021670.6	-10313933.48
2	1675	650	0	0	67819.74	0	-150878055.5	0
2	4180	650	-1095539	-80930.09	-2442305.4	-223096654.6	-5590585704	-197296001

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
interni 2									
livello	2	1580	650	-924257.8	-2996.96	-689402.63	-14210061.74	-535037906.1	-1716734.91
	3	1285	400	-3590.52	-5467.26	-6736.61	-1885851.42	-8264463.53	-609201.19
	3	1185	400	-41728.36	-6581.76	-44289.36	-4411538.08	-28899764.99	-5457575.05

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
interni 3									
livello	1	260	600	-7094.07	-498.9	-6540.72	-336413.01	-2993767.34	-271453.69
	2	1260	600	-503980.9	-3391.46	-459384.36	-6887853.96	-134359318.7	-2226781.14
	2	1040	600	-116378.6	-18123.2	-276677.36	-12155644.55	-193318789.6	-8834628.13
	3	945	500	-19176.42	-1992.21	-45301.78	-2636371.07	-1109920.51	-2539846.34
	3	945	500	-43699.2	-1376.3	-45233.53	-1075746.27	-31149685.72	-958302.45
	3	945	500	-1830.14	-2125.39	-21440.24	74832.57	-5350778.57	-2715390.93

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
interni 4									
livello	1	1210	670	-564552.3	-63796.23	-1100426.1	-25105639.56	-722503594.6	-35893392.48
	2	1580	620	-328854.4	-12682.49	-598053.42	-4523546.07	-396232683.2	-6485910.64
	3	885	550	-109048.9	-2266.04	-179487.41	-2137457.83	-112756617	-3466744.25

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
interni 5									
livello	1	1500	610	-249969.7	-18009.66	-1229041.4	-4410902.18	-684985642.8	-9191133.45
	2	2280	610	-917563.5	-457.49	-1145949.5	-6673329.47	-902819983.9	-671303.96
	3	600	600	-59524.92	-6274.19	-194785.2	-1471816.09	-95808583.4	-6889694.75
	1	1500	610	-73839.5	-2381.22	-1494954.9	-4204144.69	-716141028.9	-1213250.38
	2	2110	610	-340596.6	-22843.49	-979926.27	-59653973.18	-340486833.5	-9636092.29

		<i>dati fascia</i>		<i>sollecitazioni</i>					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	<i>N [N]</i>	<i>Vy [N]</i>	<i>Vz[N]</i>	<i>T [Nmm]</i>	<i>My [Nmm]</i>	<i>Mz [Nmm]</i>
interni 6									
livello	1	1040	630	-2478120	-196441.6	-2140371.7	-237094732.6	-1043719432	-62739535.1
	2	1750	400	-130229.7	-1397.17	-323502.63	-3613168.26	-237583602.1	-155398.08

		dati fascia		sollecitazioni					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 7									
livello	2	640	400	-66047.69	-1705.24	-40943.18	-2788961.66	-19174884.32	-1123349.98

		dati fascia		sollecitazioni					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 8									
livello	1	1040	400	-61787.51	-9089.33	-243754.97	-5156730.9	-126841287.6	-4855019.99
	2	1040	400	-50191.53	-4370.23	-176310.93	-4916138.12	-132255522.2	-3782922.41

		dati fascia		sollecitazioni					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 9									
livello	1	1140	700	-591542.9	-14867.37	-1725966.2	-10418826.05	-1489618687	-14004000.1
	2	2205	650	-273304.5	-8748.01	-518681.43	-16335432.24	-183314615.6	-5743375.78
	3	600	550	-10072.99	-6538.27	-37333.2	-6401024.57	-14533906.49	-2982342.82
	3	600	550	-12174.85	-1022.33	-39501.05	-718939.23	-23329008.22	-672123.65

		dati fascia		sollecitazioni					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 10									
livello	1	825	560	-24604.15	-4400.15	-1455117.4	-4950498	-930252332.6	-2829456.59
	2	2205	650	-85091.36	-18153.5	-401909.75	-27307883	-291403848.7	-10556799.5

		dati fascia		sollecitazioni					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 13									
livello	2	2105	420	-1194639	-58033.57	-1154114	-32309751.91	-1164317609	-32540332.9

		dati fascia		sollecitazioni					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 14									
livello	1	1360	450	-70448.76	-1974.13	-2913413	-2078790.08	-1919846676	-1266200.04

		dati fascia		sollecitazioni					
		<i>h [mm]</i>	<i>t [mm]</i>	N [N]	Vy [N]	Vz[N]	T [Nmm]	My [Nmm]	Mz [Nmm]
interni 17									
livello	1	1320	500	-333746.6	-3786.53	-105213.35	-7136609.92	-25376897.43	-3440642.2

9.9.4 Verifiche

Sulla base delle sollecitazioni ricavate dal modello a telaio equivalente a elementi beam, riportate nel capitolo precedente, si effettuano ora le verifiche degli elementi strutturali.

- ❖ Verifica di resistenza dei pannelli murari:
 - Collasso per pressoflessione nel piano;
 - Collasso per taglio da scorrimento;
 - Collasso per taglio da fessurazione diagonale (trazione).
- ❖ Verifica travi di collegamento.

Verifica maschi murari.

facciata frontale	sm [N/mm ²]	Collasso per pressoflessione		Collasso per taglio da scorrimento		Collasso per taglio da fessurazione diagonale	
		Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
livello 1	0.7677	44509127.16	NO!	41407.08	NO!	87418.45369	NO!
2	0.2450	30347728.83	NO!	17963.99	NO!	52317.2841	ok
3	0.0887	12739169.76	NO!	10954.39	ok	35644.26658	ok
1	0.3438	22173806.75	NO!	17039.32	NO!	46056.6931	NO!
2	0.4924	26418396.82	NO!	22110.13	NO!	54115.22326	NO!
3	0.1208	9759663.344	NO!	9430.318	NO!	30164.84468	ok
1	0.2345	145290779.6	NO!	38915.59	NO!	114272.6826	NO!
2	0.1391	94459726.75	NO!	29395.24	NO!	92881.62599	NO!
3	0.0531	38931228.28	NO!	20816.96	ok	68075.22356	ok
1	0.3055	134931582.2	NO!	40306.32	NO!	112059.6494	NO!
2	0.0989	53474279.65	NO!	22242.99	NO!	72044.83465	NO!
3	0.0718	39756810.57	NO!	19873.71	NO!	64993.67581	ok
1	0.1892	7313922.391	NO!	8401.628	NO!	25566.53997	NO!
2	0.1188	4905459.099	NO!	6686.927	NO!	21416.5914	NO!
3	0.0685	2957226.603	NO!	5460.741	ok	17867.33174	ok
1	0.4894	886882493.3	NO!	127638	NO!	312983.3507	NO!
2	0.1947	493746960.7	NO!	69320.97	NO!	210031.6876	ok
3	0.1070	294359776.3	NO!	51957.38	ok	167574.3294	ok
1	1.1319	4039826.324	NO!	31379.39	NO!	57152.72931	NO!
2	0.3112	10616857.18	NO!	11374.9	NO!	31491.85398	ok
3	0.0775	3318512.737	ok	5679.44	NO!	18550.19326	ok
1	1.8910	-1295066218	NO!	262720.2	NO!	385962.0833	NO!
2	0.9386	280208915.1	NO!	140457.3	ok	275222.1006	ok
3	0.3375	310262790.4	ok	63294.93	ok	171863.3781	ok
1	1.5691	-26218418.51	NO!	48203.1	NO!	76735.66604	NO!
2	1.6594	-35058752.78	NO!	50726.23	NO!	78850.14205	NO!
3	0.8880	14767331.77	NO!	29164.82	NO!	58361.1372	NO!
4	0.5837	18399840.07	NO!	20659.7	ok	47927.73353	ok
1	1.8497	-48727054.97	NO!	52135.46	NO!	77332.06062	NO!
2	0.8260	14055347.19	NO!	25518.09	NO!	52457.84805	NO!

3	0.3640	13316171.79	NO!	13506.93	NO!	35986.00041	ok
4	0.1395	6431135.813	NO!	7670.88	ok	24230.9349	ok
1	0.8216	35060729.26	NO!	40010.22	NO!	82411.87149	NO!
1	0.2819	28013072.48	NO!	17911.15	NO!	50696.07266	NO!
2	0.1880	712055073.2	NO!	82823.08	ok	252276.9123	ok
3	0.1414	559630359.1	NO!	71593.94	ok	225856.7307	ok
4	0.0944	389650088.2	ok	60252.97	ok	195583.9124	ok
1	0.5291	12332033.97	NO!	15798.29	NO!	37818.39969	NO!
2	0.4175	11285238.37	NO!	13222.29	NO!	33954.95256	ok
3	0.2182	7349522.576	NO!	8623.826	ok	25650.2925	ok
4	0.0764	2935817.481	NO!	5351.956	ok	17485.3501	ok
1	0.7922	10558242.21	NO!	20944.47	NO!	43718.34799	NO!
2	0.2759	8035999.862	NO!	9533.732	NO!	27108.79944	NO!
3	0.4046	10191479.01	NO!	12378.33	ok	32064.84975	ok
4	0.5679	11466976.23	NO!	15987.89	ok	37420.42367	ok
1	0.4126	32050950.37	NO!	22155.9	NO!	57084.08417	NO!
2	0.1615	16406217.66	NO!	12361.32	NO!	38426.74646	ok
3	0.1516	15549203.06	ok	11977.86	ok	37508.01191	ok
1	0.4361	432332327.7	NO!	83640.11	NO!	212162.2185	NO!
2	0.1528	205724713.6	NO!	43590.75	NO!	136380.6352	NO!
3	0.0657	95584523.02	NO!	31270.01	NO!	102342.4342	ok
1	0.4199	15093690.16	NO!	15333.31	NO!	39314.51816	NO!
2	0.2023	9230623.099	NO!	9535.064	ok	28718.98502	ok
3	0.1664	7859753.393	NO!	8579.318	NO!	26569.9004	ok
1	0.5406	765427721.3	NO!	126235.1	NO!	300157.7876	NO!
2	0.3444	626906263.7	NO!	90663.04	ok	244950.5648	ok
3	0.0794	187829201.1	ok	42595.08	ok	139051.7615	ok
1	1.7608	-32197417.88	NO!	44840.38	NO!	67946.87746	NO!
2	1.7454	-30997452.23	NO!	44481.16	NO!	67657.70155	ok
3	0.9383	9316519.742	NO!	25595.56	NO!	50159.68861	NO!
-1	0.4827	30389147	ok	23436.48	ok	57708.96074	ok
1	0.6758	31519595.84	NO!	30530.32	NO!	67421.48835	ok
2	0.6951	31286931.87	NO!	31236.73	ok	68313.10445	ok
3	0.2534	20866604.95	NO!	15018.61	NO!	43452.93777	ok
-1	0.4391	1299375423	ok	145505.4	NO!	368379.7712	ok
1	0.6938	213347553.3	NO!	81426.68	NO!	178188.3056	NO!
2	0.5738	216103779.1	NO!	69924.66	ok	163115.6429	ok
3	0.1111	71470748.95	NO!	25564.09	ok	82256.58469	ok
1	1.1524	19038329.92	NO!	77360.75	NO!	139892.5236	NO!
2	0.6226	82589503.22	NO!	46024.21	ok	104513.5413	ok
3	0.1067	26231747.02	NO!	15512.05	NO!	50037.13408	NO!
-1	1.2372	-94649.28047	NO!	15841.7	NO!	27837.51579	ok
1	1.1032	1114190.52	NO!	14317.19	ok	26344.44627	ok
2	0.1586	1374428.415	ok	3572.553	ok	11129.80749	ok
3	0.3433	2461612.137	ok	5674.209	ok	15342.60984	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>	
facciata laterale	sm [N/mm ²]	<i>Mu [Nmm]</i>	verifica	<i>Vt [N]</i>	verifica	<i>Vu [N]</i>	verifica
livello 1	2.5598	-2494864093	ok	245161.3	NO!	437116.8609	NO!
2	0.2536	581626227.4	ok	116691.8	NO!	373874.435	NO!
3	0.1602	75791480.08	ok	41830.87	ok	136722.2311	ok
1	1.2375	-904842252.7	NO!	270692.1	NO!	630321.8695	NO!
2	0.6139	82635170.55	ok	65954.77	NO!	186059.5172	ok
3	0.0704	153611280.9	ok	69602.15	NO!	225042.8638	ok
1	1.2984	-76197162.8	NO!	72482.35	NO!	166137.236	NO!
1	1.0390	-7390954.443	NO!	41071.04	NO!	101020.0523	NO!
2	0.3539	185199131.8	NO!	70588.91	NO!	218846.5922	NO!
3	0.1073	120411270.8	ok	55676.24	NO!	181922.8315	ok
1	1.9839	-155196564.5	NO!	69349.45	NO!	136644.0519	NO!
1	1.5693	-176675009.3	NO!	88107.71	NO!	189237.0163	NO!
2	0.5422	200441204.3	NO!	91583.34	NO!	265104.9025	NO!
3	0.0787	94158631.2	ok	52852.06	NO!	171471.9145	ok
1	0.4753	65017037.87	NO!	47643.21	NO!	141329.2835	NO!
2	0.3233	58557743.36	NO!	38691.63	NO!	121236.9821	ok
3	0.1911	53437405.24	NO!	34865.7	NO!	113432.9806	ok
1	0.5932	552627689.9	NO!	164638.6	NO!	467891.3285	NO!
2	0.2891	502545338.9	ok	110616.9	NO!	350569.9879	NO!
3	0.0439	123519788.3	ok	72759.07	NO!	231369.8862	ok
1	2.0302	-595527395.2	ok	134022.1	NO!	261762.5347	NO!
2	0.5454	58794868.87	NO!	49835.61	NO!	144090.2683	ok
3	0.2086	53266021.45	ok	34836.07	NO!	112925.047	ok
1	0.8404	106972013.3	NO!	132359.2	NO!	345857.3204	NO!
2	0.5498	265502191.8	ok	99592.28	NO!	287496.3062	ok
3	0.2991	31612977.47	ok	26093.72	NO!	82430.32922	ok
1	1.1643	-163302422.5	NO!	121924	NO!	289516.2957	NO!
3	0.0389	94217073.17	ok	62064.03	NO!	196506.3662	ok
1	2.3325	-339375413.8	ok	87977.06	NO!	162798.6631	NO!
2	0.3496	230250179.9	NO!	73262.94	NO!	227481.0465	ok
3	0.1996	31277956.22	ok	24922.99	NO!	80947.99125	ok
1	1.3184	-323002602.7	NO!	136280.9	NO!	310790.6486	NO!
2	0.6571	119196140.4	NO!	78754.02	NO!	218812.1333	ok
3	0.1689	96461174.14	ok	43136.82	ok	140845.2792	ok
1	2.1357	-3424219147	ok	291977.8	NO!	559264.31	NO!
2	0.1809	179155820.1	ok	58616.67	NO!	191048.1101	NO!
3	0.0313	41361963.34	ok	43892.65	ok	137934.9192	ok
1	1.8585	-1715324624	ok	240282.4	NO!	485244.8516	NO!
2	0.4927	196212335.3	ok	79066.28	NO!	233051.6597	ok
3	0.0904	74931117.01	ok	41786.19	NO!	136071.1941	ok
1	2.4905	-1063498102	ok	161900.1	NO!	291868.1405	NO!
2	1.0902	-38306681.43	NO!	71254.28	ok	172712.9069	ok
3	0.1967	43780712.28	ok	28943.03	NO!	94060.90133	ok

1	1.0013	231381390.3	NO!	161154.8	NO!	316225.873	NO!
2	0.6536	606337384.8	ok	111649.8	NO!	249412.4315	NO!

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
facciata nord								
livello	1	2.8656	-728892091.7	ok	117341.6	NO!	147685.4462	NO!
	2	0.9843	25367172.9	NO!	38979.9	NO!	75000.29816	ok
	1	0.6787	889218264.1	ok	144903.7	NO!	327080.501	NO!
	2	0.2371	592452601.4	ok	65542.45	NO!	192074.823	NO!

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
facciata est								
livello	1	1.6778	-165543328.4	NO!	81888.17	NO!	130435.1674	NO!
	2	0.4020	61686724.71	ok	26091.7	NO!	67706.86911	ok
	1	1.4379	-66999489.64	NO!	65457.58	NO!	111224.5192	NO!
	2	0.6566	59378491.74	ok	35084.53	ok	78248.74451	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
facciata nord								
livello	1	0.2326	2143214074	ok	135890.1	NO!	404505.7146	NO!
	2	0.2720	135500445.8	ok	34197.09	NO!	97532.19729	NO!
	3	0.0767	18971972.7	ok	12526.14	ok	40965.87598	ok
	2	0.2559	940702818.9	ok	88656.57	NO!	256018.4384	NO!
	3	0.0830	439621576.1	ok	59642.23	ok	194800.4602	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
facciata est								
livello	1	2.5710	-287987912.7	ok	68691.91	NO!	122259.4332	NO!
	1	1.4956	-46917583.1	NO!	39326.29	NO!	85905.28479	NO!
	2	0.7419	16663947.58	NO!	21484.15	NO!	47035.53033	NO!
	3	0.1515	8536761.319	ok	7521.073	ok	23724.63432	ok
	1	1.8520	-209544543.1	NO!	69543.85	NO!	140623.7027	NO!
	2	0.6053	228191421.6	ok	64387.14	NO!	150923.083	NO!
	3	0.0741	56014728.28	ok	20067.93	NO!	65656.08011	ok
	1	1.7540	-497046422	ok	111305.9	NO!	229646.7412	NO!
	2	0.5790	362491009.1	ok	78222.34	NO!	185972.5391	NO!
	3	0.0822	97629428.18	ok	26097.73	ok	85255.85942	ok
	1	0.5955	239466353.2	NO!	89883.23	NO!	255229.9918	NO!
	2	0.2534	46637390.6	ok	18959.28	NO!	55578.92826	NO!
	3	0.1702	34291779.46	ok	15203.87	NO!	47350.60125	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
facciata nord		sm [N/mm ²]	<i>Mu [Nmm]</i>	verifica	<i>Vt [N]</i>	verifica	<i>Vu [N]</i>	verific a
livello	1	1.7030	-1856483064	ok	212204.6	NO!	442569.6519	NO!
	2	0.7376	2355783.688	ok	7144.51	ok	15301.46585	ok
	3	0.0752	126438225.2	ok	29008.61	ok	94892.32336	NO!
	1	0.1974	780769361.8	ok	106184.5	NO!	345034.1614	NO!
	2	0.4223	3038367263	ok	171151.8	ok	438112.6263	NO!
	3	0.0704	196188271.3	ok	36526.61	ok	119546.1781	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
facciata est		sm [N/mm ²]	<i>Mu [Nmm]</i>	verifica	<i>Vt [N]</i>	verifica	<i>Vu [N]</i>	verific a
livello	1	3.3513	-784007368.4	ok	112753.4	NO!	179813.1001	NO!
	2	1.2787	-4870961.964	NO!	43886.11	NO!	76086.97715	ok
	3	0.1572	25257651.03	ok	13556.76	NO!	42276.60107	ok
	1	0.7216	293520468.3	NO!	139902	NO!	380177.9582	NO!
	2	0.3799	418089201.6	ok	68257.84	NO!	179844.9973	NO!
	3	0.0505	114938014.4	ok	32048.48	NO!	104734.9477	NO!
	1	0.6188	13602346.29	NO!	24282.67	NO!	68384.27269	NO!
	2	0.2154	11322276.12	NO!	9457.755	NO!	28193.67893	NO!
	3	0.0978	5738935.262	NO!	6459.548	ok	20933.80812	ok
	1	0.4381	6167683.41	NO!	9250.382	NO!	23888.63825	ok
	2	0.3737	23864902.81	NO!	16194.55	NO!	42851.91469	NO!
	3	0.0735	16418128.25	ok	11272.48	NO!	36852.54307	ok
	1	0.6997	656029303.9	ok	136946.1	NO!	305934.6341	NO!
	2	0.3614	446388387.6	ok	69068.18	NO!	184354.6068	NO!
	3	0.0704	169068653.7	ok	36412.21	NO!	119107.6719	NO!
	1	2.6847	-506282210	ok	106877.8	NO!	138540.6747	NO!
	2	1.0555	20394366.02	NO!	45395.94	NO!	84998.67203	NO!
	3	0.1715	31153704.73	NO!	15175.34	NO!	46816.53164	NO!
	1	6.6287	-1141710457	ok	118948.7	NO!	140181.1828	NO!
	1	5.0518	-896384254.2	ok	109859.8	NO!	146460.1887	NO!
	2	1.1242	80068629.83	NO!	118783.4	NO!	216930.8046	NO!
	3	0.1039	94080008.38	ok	26056.92	NO!	84184.23797	NO!
	1	5.5307	-517932652.4	ok	82245.45	ok	105267.5855	ok
	2	4.6817	-253987326.8	ok	67841.22	ok	65869.11382	ok
	3	0.3118	10713951.72	NO!	10128.61	NO!	28028.24265	NO!

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
facciata nord		sm [N/mm ²]	<i>Mu [Nmm]</i>	verifica	<i>Vt [N]</i>	verifica	<i>Vu [N]</i>	verific a
livello	1	0.8696	103044698.6	NO!	157034.3	NO!	406551.4407	NO!
	2	0.1820	219619416	ok	67292.01	NO!	219282.6653	NO!
	3	0.0951	127833414.9	ok	55946.48	NO!	182395.6347	NO!
	4	0.2812	295143954.6	ok	80237.88	ok	254934.4581	ok

1	0.3478	24854974.16	NO!	24466.94	NO!	76016.85762	ok
1	0.2446	20500294.23	NO!	20758.14	NO!	66678.84285	ok
2	1.1507	-81988211.88	ok	90519.48	NO!	215748.1504	ok
2	1.0543	-55514080.72	NO!	99674.52	NO!	244078.6786	ok
3	0.1789	568950333.6	ok	108366.1	NO!	353307.8502	NO!
4	0.0905	321059890.3	ok	89667.82	NO!	292002.2794	ok
1	0.3155	278068868.4	NO!	79716.32	NO!	250453.4482	NO!
2	0.2896	265750838.4	ok	76535.09	NO!	242522.8173	NO!
3	0.2635	251460750.1	ok	73334.51	NO!	234273.1738	NO!
4	0.0980	116220103.5	ok	52999.99	NO!	172897.4182	ok
1	0.2829	1176974141	ok	160398.3	NO!	509345.5491	NO!
2	0.5349	399234365.1	ok	121640.8	ok	353053.5316	ok
2	1.3806	-96179329.75	ok	71080.21	ok	159604.5703	ok
1	0.4136	1359567892	ok	192899.4	NO!	585328.9357	NO!
2	0.2668	1119604212	ok	155007	NO!	494691.0695	ok
-	1.5256	-19351543636	ok	901242.2	NO!	1955083.443	NO!
1	2.5845	-92522574634	ok	1414590	NO!	2512414.869	NO!
2	2.0784	-714741967.4	ok	137820	ok	266770.6439	ok
2	0.0936	954353738.7	ok	153422.9	NO!	500005.8152	NO!

		Collasso per pressoflessione		Collasso per taglio da scorrimento		Collasso per taglio da fessurazione diagonale		
		sm [N/mm2]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
facciata ovest	1	2.8559	-17674110260	ok	498829.1	NO!	850544.5898	NO!
livello	2	1.0187	-225991520.9	ok	203104.8	NO!	502516.9229	NO!
	3	1.2568	-1172065813	ok	238858.4	NO!	553400.2979	NO!
	4	1.5511	-2809876137	ok	283070	NO!	610484.2562	NO!
	1	4.6031	-64722605384	ok	841201.3	NO!	1168890.455	NO!
	1	16.3856	-15335881133	ok	357789.1	ok	274837.2275	ok
	2	3.7791	-55585595908	ok	814297.6	NO!	1233510.416	NO!
	3	1.0137	-364136951.9	NO!	266738.9	NO!	660938.4137	NO!
	4	2.9554	-5084934377	ok	264430.8	NO!	444534.0499	NO!
	4	0.4724	216256694.9	NO!	68984.81	NO!	204856.6546	NO!

		Collasso per pressoflessione		Collasso per taglio da scorrimento		Collasso per taglio da fessurazione diagonale		
		sm [N/mm2]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
facciata nord	1	2.3176	-33916210427	ok	761626.6	ok	1412931.968	ok
livello	2	1.5827	-10766837948	ok	550512.1	ok	1178799.837	ok
	3	0.7880	1313553724	ok	322199.9	NO!	856346.7207	ok
	4	0.2041	1610094403	ok	154433.2	NO!	501115.5448	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
		sm [N/mm ²]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica	
facciata est	livello 1	8.6866	ok	388134.6	NO!	403451.5545	NO!	
	1	6.1240	ok	167054.6	NO!	204145.7301	NO!	
	2	2.3354	ok	339664.8	NO!	628231.8604	NO!	
	3	1.7495	ok	265109.5	NO!	547486.3265	NO!	
	4	0.4725	ok	102584	NO!	304617.0507	NO!	
	1	6.2811	ok	313001.5	NO!	378095.7443	NO!	
	1	8.2263	ok	277637.7	NO!	296039.9162	NO!	
	2	2.2909	ok	362498.4	NO!	675566.5877	NO!	
	3	2.3146	ok	365769.9	NO!	678904.4156	NO!	
	4	1.0931	NO!	197045.3	NO!	477225.1014	NO!	
	1	0.0085	NO!	12625.53	NO!	38470.25896	NO!	
	2	7.9334	ok	305214	NO!	330994.8924	NO!	
	3	5.6736	ok	221783.5	NO!	280605.9459	ok	
	4	6.8135	ok	263866.7	NO!	307057.9621	NO!	
	1	6.6136	ok	254228	ok	299922.2269	ok	
	2	4.2301	ok	167004.3	NO!	240868.9918	NO!	
	3	3.4532	ok	138573.8	NO!	218193.7813	ok	
	4	1.6434	ok	72343.84	NO!	152838.3249	NO!	
	-	1	0.9954	ok	652163.9	ok	1624679.298	ok
	1	0.7854	ok	320293.4	NO!	852017.9629	NO!	
1	2.0677	ok	280467.8	NO!	543964.8241	NO!		
2	0.0016	NO!	95914.4	ok	288627.9238	ok		
2	1.6536	ok	232099.9	NO!	489257.9399	NO!		

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>	
		sm [N/mm ²]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
interni 1	livello 1	0.2856	ok	202373.8	NO!	642092.6563	NO!

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>	
		sm [N/mm ²]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
interni 2	livello 1	0.2099	NO!	259049.4	NO!	839489.27	NO!
	2	0.2032	ok	125208	NO!	380829.6175	NO!
	2	0.5594	ok	23590.45	NO!	56698.33479	NO!
	3	0.2670	ok	14566.34	ok	42278.29945	ok
	3	0.0917	ok	38105.85	NO!	124141.2126	ok
	3	0.2931	ok	9191.487	ok	26179.43184	ok

		Collasso per pressoflessione		Collasso per taglio da scorrimento		Collasso per taglio da fessurazione diagonale	
interni	sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
3							
livello							
1	0.7751	1279623623	NO!	368497.1	NO!	983579.9959	NO!
2	0.3804	53492021.05	ok	27561.56	NO!	73890.24725	ok
2	0.2793	911785265.8	ok	101646.7	NO!	292400.3073	NO!
3	0.2541	34771543.03	ok	17664.42	ok	51757.8518	ok
3	0.0815	273161481.1	ok	47126.43	NO!	153977.5856	NO!
1	0.2771	150383496.8	NO!	58620.81	NO!	186490.2206	NO!
1	0.3323	10338263.88	NO!	15979.24	NO!	49915.82727	NO!
2	0.1036	140418587.5	ok	36138.24	NO!	117175.4716	NO!
3	0.1028	14955898.1	ok	10771.96	ok	34939.51643	ok
3	0.0534	8141322.56	ok	8795.974	ok	28739.6591	ok
1	1.3025	-3762557441	ok	494713.4	NO!	1132772.845	NO!
2	0.3425	103247286.1	ok	36649.17	NO!	100809.4932	NO!
3	0.0487	16770196.66	ok	12910.46	NO!	42112.51549	ok
1	0.5835	20979185.94	NO!	30811.67	NO!	87869.35524	ok
2	0.5254	26514375.96	NO!	23249.38	ok	56962.66818	ok
3	0.0523	3910751.906	ok	6126.264	ok	20010.00148	ok

		Collasso per pressoflessione		Collasso per taglio da scorrimento		Collasso per taglio da fessurazione diagonale	
interni	sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
4							
livello							
1	0.2327	1901384819	ok	148180.9	NO!	441051.0733	NO!
2	0.1693	1388742243	ok	111566.1	ok	344758.4402	ok
3	0.0734	582105440.4	ok	69730.77	NO!	227976.4227	NO!
1	0.5602	155487386.1	NO!	62321.4	NO!	149716.3321	NO!
2	0.2827	132210753.2	ok	38034.1	NO!	107587.4914	NO!
3	0.0694	35296830.99	ok	17318.06	NO!	56657.51422	NO!
1	0.6688	44996857.35	NO!	39175.33	NO!	88864.43646	NO!
2	0.2581	30967272.11	NO!	17952.11	NO!	51750.91444	NO!
3	0.0452	5860562.692	ok	7725.129	NO!	25194.99542	NO!
1	1.5509	-2169310384	ok	321946.1	NO!	694364.8459	NO!
2	0.2401	1099106179	ok	158246.7	NO!	508947.875	NO!
3	0.1003	488272331.9	ok	106177	NO!	346533.6536	ok
1	0.6943	457490916.8	NO!	187641.5	NO!	514685.8662	NO!
2	0.5235	117811699.2	NO!	47357.21	ok	113749.1053	ok
3	0.1677	50400775.79	ok	19999.44	NO!	61876.57711	ok

		Collasso per pressoflessione		Collasso per taglio da scorrimento		Collasso per taglio da fessurazione diagonale	
interni	sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
5							
livello							
1	2.8080	-9253392709	ok	448417.7	NO!	769936.9236	NO!
2	0.6869	1581836475	ok	212732.1	NO!	467156.0011	NO!

3	0.0784	662214452.7	ok	136927.3	NO!	444192.2154	ok
1	1.7415	-1976793489	ok	265803.9	NO!	549852.4028	NO!
2	0.2741	5844702.935	ok	7862.215	NO!	22386.18237	NO!
1	0.4263	779460370.8	ok	112089	NO!	291644.6419	NO!
2	0.4122	802505107.6	ok	107344	NO!	276651.1606	ok
3	0.2400	174009946.4	ok	61940.51	NO!	199213.3901	NO!
3	0.0639	1608046.945	NO!	7152.799	ok	23051.92797	ok
1	2.6551	-11914168743	ok	519568.3	NO!	912758.6193	NO!
2	0.7216	1221451311	ok	312154.6	NO!	848255.1305	NO!
3	0.0691	882133875.3	ok	163664.9	ok	528847.5111	ok
1	2.1263	-6942976450	ok	438881.6	NO!	842086.0983	NO!
2	0.9066	5821946.517	NO!	54843.6	NO!	140351.3259	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
interni		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
6	livello							
1	1	0.7597	1012123548	NO!	320253.3	NO!	859188.4869	NO!
1	1	0.4056	6560339.467	NO!	13968.39	NO!	42509.07945	NO!
2	2	0.1992	710086056	ok	68024.2	NO!	207505.6205	ok
2	2	0.2280	3278024.799	NO!	4733.636	NO!	14138.67242	ok
3	3	0.0697	330056322.5	ok	41098.04	ok	134513.3497	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
interni		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
7	livello							
1	1	0.2740	224049747.5	NO!	58315.58	NO!	185702.5472	NO!
1	1	0.2260	276378720.1	ok	63451.14	NO!	204826.5603	NO!
2	2	0.3163	46957816.41	ok	18870.08	NO!	52045.18314	ok
2	2	0.3521	858799240.9	ok	83962.74	NO!	225595.5074	NO!
3	3	0.0555	423869539.7	ok	56262.4	ok	183932.8996	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
interni		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
8	livello							
1	1	0.3554	255350848	NO!	66134.08	NO!	204926.6939	NO!
1	1	0.3109	379486931.9	ok	55379.89	NO!	155738.8022	NO!
2	2	0.3358	164281179	ok	36059.21	NO!	98037.481	NO!
2	2	0.2710	339505630	ok	48370.44	NO!	138052.8806	NO!
3	3	0.0555	35564041.39	ok	16297	ok	53278.11694	ok
3	3	0.0555	84887764.42	ok	25178.2	ok	82312.5131	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
interni	9							
livello	1	1.4009	-641255866.9	ok	199715.2	NO!	446225.4487	NO!
	2	1.3984	-591142646.6	ok	185183	NO!	414007.6909	ok
	3	0.5805	17280136.08	ok	26642.53	ok	76062.54501	ok
	3	2.0439	-112700094.8	ok	54265.15	ok	105713.6488	ok
	4	0.1579	2622597394	ok	230156.5	ok	752423.8164	ok
	1	1.1588	-306642422	NO!	190643.9	NO!	453377.4423	NO!
	1	1.3852	-2397358689	ok	391608.5	NO!	878332.8018	NO!
	2	0.3820	370976517.6	ok	104178.2	NO!	319757.0711	ok
	2	0.3126	846882224.2	ok	148237.7	NO!	466191.9768	ok
	3	0.5916	286203874.5	ok	110411.7	NO!	313961.8963	ok
	3	0.5152	744376107.2	ok	158703.6	ok	463948.436	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
interni	10							
livello	-	0.2548	3777632224	ok	280545.2	ok	898523.9363	ok
	1	0.9681	-77638699.46	NO!	246369.2	NO!	618773.7867	NO!
	1	0.6825	779454159.8	NO!	218200.8	NO!	600930.223	NO!
	2	0.3873	848327026.8	ok	158366.6	NO!	485146.6164	NO!
	2	0.2454	868082544.3	ok	144293.5	NO!	463393.6242	NO!
	3	0.0682	1491326753	ok	222339.1	ok	718130.328	ok
	4	0.0980	2069077771	ok	238807	ok	779039.4231	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
interni	11							
livello	1	0.8527	7455566.021	NO!	28468.35	ok	74097.74859	ok
	1	0.9500	-1633311.872	NO!	55243.76	ok	139506.6865	ok

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
interni	12							
livello	1	0.8157	10005554.95	NO!	27581.28	NO!	72646.20883	ok
	1	1.1627	-77775964.11	ok	64396.47	NO!	152981.7349	NO!

		<i>Collasso per pressoflessione</i>		<i>Collasso per taglio da scorrimento</i>		<i>Collasso per taglio da fessurazione diagonale</i>		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
interni	13							
livello	-	1.0194	-1407683380	ok	552950.3	ok	1367834.206	ok
	1	1.8720	-5040948360	ok	357817.9	NO!	720649.0047	NO!

1	0.7985	435501255	ok	208379.7	NO!	551934.7708	NO!
2	1.8008	-3917205666	ok	302979.8	NO!	619076.1723	NO!
2	1.0276	-279604360	ok	219238.1	NO!	541024.8778	NO!
3	0.0133	200209969.5	ok	60365.46	NO!	189116.4125	NO!

		Collasso per pressoflessione		Collasso per taglio da scorrimento		Collasso per taglio da fessurazione diagonale		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
interni	14							
livello	1	1.6400	-3105005906	ok	300175.7	NO!	634634.7076	NO!
	1	1.5189	-3057541852	ok	319684.3	NO!	694557.3306	NO!
	1	1.5171	-2364662373	ok	281477.8	NO!	611806.7383	NO!
	1	1.5605	-3368526878	ok	326858.5	NO!	703418.1029	NO!

		Collasso per pressoflessione		Collasso per taglio da scorrimento		Collasso per taglio da fessurazione diagonale		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
interni	16							
livello	1	0.7901	-272316034.9	ok	88929.99	NO!	130672.6918	NO!
	2	0.7416	397011853.5	ok	93297.69	NO!	199429.4375	ok
	3	0.5040	401688757.6	ok	68590.5	NO!	166688.8112	NO!
	4	0.2122	237344962.6	ok	38245.13	NO!	114292.6051	NO!

		Collasso per pressoflessione		Collasso per taglio da scorrimento		Collasso per taglio da fessurazione diagonale		
		sm [N/mm ²]	Mu [Nmm]	verifica	Vt [N]	verifica	Vu [N]	verifica
interni	17							
livello	1	1.0567	141879569.8	NO!	172342.6	NO!	331264.6389	NO!
	1	3.2686	-1040303142	ok	141183	ok	167334.0856	ok
	2	0.7160	263413836.1	ok	81881.68	NO!	177214.0458	NO!
	3	0.2198	159283947.8	NO!	35260.8	NO!	104747.1773	NO!
	4	0.1370	107411469.6	NO!	27477.72	NO!	86953.02008	NO!

Verifiche fasce di piano.

		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
facciata frontale									
livello	1	567071.4	226661790	ok	1380	328495.348	30524.65	30524.65	ok
	1	266636.2	50111928.6	NO!	1380	72625.9835	14352.65	14352.65	NO!
	2	582093.2	238829416	NO!	1380	346129.588	31333.25	31333.25	NO!
	2	499473.5	175844060	NO!	1380	254846.464	26885.95	26885.95	NO!
	3	353011.4	87837532.5	NO!	1380	127300.772	19002.1	19002.1	NO!
	3	416853.8	122481467	ok	1380	177509.372	22438.65	22438.65	ok
	1	567071.4	226661790	ok	1380	328495.348	30524.65	30524.65	ok
	1	266636.2	50111928.6	NO!	1380	72625.9835	14352.65	14352.65	ok
	2	582093.2	238829416	NO!	1380	346129.588	31333.25	31333.25	ok
	2	499473.5	175844060	NO!	1380	254846.464	26885.95	26885.95	ok
	3	353011.4	87837532.5	NO!	1380	127300.772	19002.1	19002.1	ok

3	416853.8	122481467	ok	1380	177509.372	22438.65	22438.65	ok
1	567071.4	226661790	NO!	1380	328495.348	30524.65	30524.65	ok
1	266636.2	50111928.6	NO!	1380	72625.9835	14352.65	14352.65	NO!
2	582093.2	238829416	NO!	1380	346129.588	31333.25	31333.25	NO!
2	499473.5	175844060	NO!	1380	254846.464	26885.95	26885.95	NO!
3	353011.4	87837532.5	NO!	1380	127300.772	19002.1	19002.1	ok
3	416853.8	122481467	ok	1380	177509.372	22438.65	22438.65	ok
1	822441.4	476774094	ok	1460	653115.198	44270.85	44270.85	ok
1	219693.2	34020144.4	NO!	1460	46602.9375	11825.78	11825.78	NO!
2	629036.2	278903550	NO!	1460	382059.658	33860.13	33860.13	NO!
2	499473.5	175844060	NO!	1460	240882.274	26885.95	26885.95	NO!
3	353011.4	87837532.5	ok	1460	120325.387	19002.1	19002.1	NO!
3	1036501	757255758	ok	1460	1037336.65	55793.4	55793.4	ok
4	743577.1	389721891	ok	1460	533865.603	40025.7	40025.7	ok
1	266636.2	50111928.6	ok	2450	40907.6968	14352.65	14352.65	ok
1	822441.4	476774094	ok	1460	653115.198	44270.85	44270.85	ok
1	219693.2	34020144.4	NO!	1460	46602.9375	11825.78	11825.78	ok
2	629036.2	278903550	NO!	1460	382059.658	33860.13	33860.13	ok
2	499473.5	175844060	ok	1460	240882.274	26885.95	26885.95	ok
3	353011.4	87837532.5	ok	1460	120325.387	19002.1	19002.1	ok
3	1036501	757255758	ok	1460	1037336.65	55793.4	55793.4	ok
4	743577.1	389721891	ok	1460	533865.603	40025.7	40025.7	ok
1	522006.2	192067561	NO!	1380	278358.784	28098.85	28098.85	ok
1	219693.2	34020144.4	NO!	1380	49304.5571	11825.78	11825.78	ok
2	629036.2	278903550	NO!	1380	404208.044	33860.13	33860.13	ok
2	852484.9	512243121	NO!	1380	742381.334	45888.05	45888.05	ok
3	416853.8	122481467	ok	1380	177509.372	22438.65	22438.65	NO!
1	522006.2	192067561	NO!	1380	278358.784	28098.85	28098.85	ok
1	219693.2	34020144.4	NO!	1380	49304.5571	11825.78	11825.78	ok
2	629036.2	278903550	NO!	1380	404208.044	33860.13	33860.13	NO!
2	852484.9	512243121	NO!	1380	742381.334	45888.05	45888.05	ok
3	416853.8	122481467	NO!	1380	177509.372	22438.65	22438.65	NO!
1	522006.2	192067561	NO!	1380	278358.784	28098.85	28098.85	ok
1	219693.2	34020144.4	NO!	1380	49304.5571	11825.78	11825.78	ok
2	629036.2	278903550	NO!	1380	404208.044	33860.13	33860.13	ok
2	852484.9	512243121	ok	1380	742381.334	45888.05	45888.05	NO!
3	416853.8	122481467	ok	1380	177509.372	22438.65	22438.65	NO!

facciata laterale

livello

	Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
1	478795.2	216725244	NO!	1380	314094.557	71855.91	71855.91	ok
1	198798	37362332.3	NO!	1380	54148.3076	29834.91	29834.91	NO!
2	433995.7	178065866	NO!	1200	296776.444	65132.55	65132.55	ok
2	372396.3	131105395	ok	1200	218508.991	55887.93	55887.93	ok
3	403196	153688816	ok	1380	222737.415	60510.24	60510.24	ok
3	203838	39280774.2	NO!	1380	56928.6583	30591.29	30591.29	ok

1	428395.7	173500265	ok	450	771112.289	64292.13	64292.13	ok
1	198798	37362332.3	NO!	450	166054.81	29834.91	29834.91	NO!
1	198798	37362332.3	NO!	1450	51534.2514	29834.91	29834.91	ok
1	428395.7	173500265	ok	450	771112.289	64292.13	64292.13	ok
1	198798	37362332.3	NO!	450	166054.81	29834.91	29834.91	NO!
2	433995.7	178065866	NO!	1450	245608.092	65132.55	65132.55	ok
2	176398.2	29416999.9	NO!	1450	40575.1723	26473.23	26473.23	ok
3	599194	339425782	ok	700	969787.949	89924.94	89924.94	ok
3	74199.26	5204859.72	NO!	700	14871.0278	11135.57	11135.57	ok
1	428395.7	173500265	NO!	840	413095.869	64292.13	64292.13	NO!
1	179198.2	30358284.6	NO!	840	72281.6301	26893.44	26893.44	NO!
2	453595.5	194512408	NO!	840	463124.78	68074.02	68074.02	ok
2	176398.2	29416999.9	ok	840	70040.4761	26473.23	26473.23	ok
3	615993.8	358725824	ok	600	1195752.75	92446.2	92446.2	ok
3	74199.26	5204859.72	ok	600	17349.5324	11135.57	11135.57	NO!
1	428395.7	173500265	NO!	840	413095.869	64292.13	64292.13	NO!
1	179198.2	30358284.6	NO!	840	72281.6301	26893.44	26893.44	NO!
2	453595.5	194512408	NO!	840	463124.78	68074.02	68074.02	ok
2	176398.2	29416999.9	ok	840	70040.4761	26473.23	26473.23	ok
3	615993.8	358725824	ok	600	1195752.75	92446.2	92446.2	ok
3	74199.26	5204859.72	ok	600	17349.5324	11135.57	11135.57	NO!
1	317774.6	109351848	NO!	850	257298.465	47690.5	47690.5	ok
1	156442.9	26503264.4	NO!	850	62360.6221	23478.4	23478.4	ok
1	317774.6	109351848	ok	820	266711.824	47690.5	47690.5	ok
1	156442.9	26503264.4	NO!	820	64642.1082	23478.4	23478.4	ok
2	395996	169812420	NO!	1800	188680.466	59429.7	59429.7	ok
2	153998.5	25681507.9	NO!	1800	28535.0088	23111.55	23111.55	ok
3	537772.4	313173339	ok	600	1043911.13	80707	80707	ok
3	64777.13	4543925.15	ok	600	15146.4172	9721.525	9721.525	ok
3	537772.4	313173339	ok	570	1098853.82	80707	80707	ok
3	64777.13	4543925.15	ok	570	15943.597	9721.525	9721.525	ok
1	139331.9	21022730.9	NO!	840	50054.1213	20910.45	20910.45	NO!
1	156442.9	26503264.4	NO!	840	63103.0104	23478.4	23478.4	NO!
2	381596.2	163637422	ok	840	389612.911	57268.62	57268.62	NO!
2	148398.5	24747634.9	NO!	840	58922.9402	22271.13	22271.13	NO!
3	518217	301785217	ok	600	1005950.72	77772.2	77772.2	ok
3	62421.6	4378691.51	ok	600	14595.6384	9368.015	9368.015	ok
1	117598.8	13074222.2	NO!	840	31129.1005	17648.82	17648.82	ok
1	179198.2	30358284.6	NO!	840	72281.6301	26893.44	26893.44	NO!
2	395996	169812420	NO!	840	404315.285	59429.7	59429.7	NO!
2	153998.5	25681507.9	ok	840	61146.4474	23111.55	23111.55	NO!
3	518217	301785217	ok	600	1005950.72	77772.2	77772.2	ok
3	62421.6	4378691.51	NO!	600	14595.6384	9368.015	9368.015	ok

facciata nord		Hp [N]	<i>Mu [Nmm]</i>	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	100797.5	11206308.1	ok	800	28015.7702	6293.7	6293.7	NO!
	1	153596.2	26020996.5	ok	800	65052.4913	9590.4	9590.4	NO!
	2	285991.2	83273908.2	ok	1000	166547.816	15394.5	15394.5	NO!
	2	291191	86329578.9	ok	1000	172659.158	15674.4	15674.4	NO!

facciata est		Hp [N]	<i>Mu [Nmm]</i>	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	66558.34	4580779.6	ok	1100	8328.69017	4155.84	4155.84	NO!
	2	305057.3	88825502.1	ok	1000	177651.004	16420.8	16420.8	NO!
	2	263458.6	66252079.1	ok	1000	132504.158	14181.6	14181.6	NO!

facciata nord		Hp [N]	<i>Mu [Nmm]</i>	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	2	456430.4	190895303	ok	900	424211.784	24569	24569	ok
	3	290659.4	83863785.7	ok	1000	167727.571	18148.5	18148.5	ok
	3	70664.9	4956934.9	ok	1000	9913.86979	4412.25	4412.25	NO!

facciata est		Hp [N]	<i>Mu [Nmm]</i>	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	151931.8	31972709.7	ok	500	127890.839	22801.4	22801.4	ok
	1	49688.39	3419730.51	NO!	500	13678.922	7457.06	7457.06	NO!
	1	49688.39	3419730.51	NO!	1200	5699.55085	7457.06	5699.551	NO!
	2	252260.4	73452281.3	NO!	1000	146904.563	15750.9	15750.9	NO!
	2	401323.3	185907117	ok	1000	371814.234	25058.25	25058.25	ok
	3	249967.1	72122855.7	ok	1000	144245.711	15607.71	15607.71	ok
	3	122690.3	17375106.8	ok	1000	34750.2136	7660.665	7660.665	ok
	1	49688.39	3419730.51	NO!	1000	6839.46102	7457.06	6839.461	NO!
	2	401323.3	185907117	NO!	1000	371814.234	25058.25	25058.25	ok
	3	249967.1	72122855.7	ok	1000	144245.711	15607.71	15607.71	ok
	3	122690.3	17375106.8	ok	1000	34750.2136	7660.665	7660.665	ok

facciata nord		Hp [N]	<i>Mu [Nmm]</i>	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	113776.6	19275101.4	NO!	1000	38550.2027	17075.2	17075.2	ok
	2	404432	187347176	NO!	1000	374694.353	21770	21770	ok
	3	232527.5	67091028.6	ok	950	141244.271	14518.8	14518.8	ok
	3	114130.5	16162890	ok	950	34027.1369	7126.2	7126.2	ok
	3	232527.5	67091028.6	ok	800	167727.571	14518.8	14518.8	ok
	3	114130.5	16162890	ok	800	40407.2251	7126.2	7126.2	ok

facciata est		Hp [N]	<i>Mu [Nmm]</i>	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	199464.7	46463535.4	ok	1000	92927.0707	29934.96	29934.96	ok
	1	145065.2	24575754.2	NO!	1000	49151.5085	21770.88	21770.88	NO!
	2	341802.8	104953571	NO!	1100	190824.674	18398.76	18398.76	NO!
	2	465559	194713209	ok	1100	354024.016	25060.38	25060.38	ok

3	559849.4	281571336	ok	600	938571.12	30135.9	30135.9	ok
3	78084.26	5477381.46	ok	600	18257.9382	4203.165	4203.165	ok
1	199464.7	46463535.4	ok	1100	84479.1552	29934.96	29934.96	ok
1	145065.2	24575754.2	NO!	1100	44683.1895	21770.88	21770.88	ok
2	341802.8	104953571	NO!	1100	190824.674	18398.76	18398.76	NO!
2	465559	194713209	NO!	1100	354024.016	25060.38	25060.38	ok
3	559849.4	281571336	ok	800	703928.34	30135.9	30135.9	ok
3	78084.26	5477381.46	ok	800	13693.4537	4203.165	4203.165	ok
1	187728.6	31803440.2	NO!	1200	53005.7336	11721.6	11721.6	NO!
2	341802.8	104953571	NO!	1380	152106.624	18398.76	18398.76	ok
2	465559	194713209	NO!	1380	282193.056	25060.38	25060.38	ok
3	559849.4	281571336	NO!	650	866373.342	30135.9	30135.9	ok
3	78084.26	5477381.46	NO!	650	16853.4814	4203.165	4203.165	NO!
1	281593	71557740.4	NO!	1000	143115.481	17582.4	17582.4	ok
1	313858.8	88895895.2	NO!	1000	177791.79	19597.05	19597.05	NO!
2	341802.8	104953571	NO!	1000	209907.141	18398.76	18398.76	NO!
2	465559	194713209	ok	1000	389426.417	25060.38	25060.38	ok
3	559849.4	281571336	ok	650	866373.342	30135.9	30135.9	ok
3	113443.2	11561194.3	ok	650	35572.9054	6106.485	6106.485	NO!
1	298663.7	75895711.6	ok	450	337314.274	44822.4	44822.4	ok
1	354663.1	107024812	NO!	450	475665.832	53226.6	53226.6	NO!
1	354663.1	107024812	NO!	1635	130917.201	53226.6	53226.6	NO!
2	593359.5	248163893	NO!	1000	496327.787	31939.7	31939.7	NO!
3	603759.2	303655362	ok	700	867586.75	32499.5	32499.5	NO!
3	122340.7	12467954.6	NO!	700	35622.7274	6585.425	6585.425	NO!

facciata nord

livello

	Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
1	533261.3	297136352	ok	1380	430632.394	80030	80030	ok
2	307796.9	98992921.8	ok	1380	143468.003	46193.09	46193.09	ok
2	1255254	1646413447	NO!	1380	2386106.45	188384.1	188384.1	ok
2	1255254	1646413447	NO!	1200	2744022.41	188384.1	188384.1	NO!

facciata ovest

livello

	Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
1	235997.6	73714557	ok	800	184286.392	35417.7	35417.7	NO!
2	240886.5	86400312.5	ok	800	216000.781	36151.4	36151.4	ok
2	191109.2	54381809.1	ok	800	135954.523	28681	28681	ok
3	159998.4	38117265.9	ok	800	95293.1647	24012	24012	ok
3	46221.76	3181144.66	ok	800	7952.86165	6936.8	6936.8	ok
4	210664.6	66080515.7	ok	800	165201.289	31615.8	31615.8	ok
4	210664.6	66080515.7	ok	800	165201.289	31615.8	31615.8	ok

facciata est

livello

	Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
1	349552.1	111959469	ok	898	249352.937	52459.55	52459.55	ok
1	340885.5	106476582	ok	898	237141.609	51158.9	51158.9	NO!

1	340885.5	106476582	NO!	1062	200520.871	51158.9	51158.9	NO!
1	349552.1	111959469	NO!	898	249352.937	52459.55	52459.55	NO!
1	340885.5	106476582	NO!	898	237141.609	51158.9	51158.9	NO!
2	499772.8	228866535	NO!	1062	431010.423	75004.15	75004.15	ok
2	115554.4	12235171.8	ok	1062	23041.7547	17342	17342	ok
3	259997.4	61940557.1	NO!	1062	116648.883	39019.5	39019.5	ok
3	75110.36	5169360.07	ok	1062	9735.14138	11272.3	9735.141	ok
4	284552.7	74192934.5	NO!	1062	139723.041	42704.68	42704.68	ok
1	340885.5	106476582	ok	898	237141.609	51158.9	51158.9	ok
2	499772.8	228866535	NO!	898	509725.022	75004.15	75004.15	NO!
2	115554.4	12235171.8	ok	898	27249.8258	17342	17342	ok
3	259997.4	61940557.1	ok	898	137952.243	39019.5	39019.5	ok
3	75110.36	5169360.07	NO!	898	11513.0514	11272.3	11272.3	ok
4	284552.7	74192934.5	NO!	898	165240.389	42704.68	42704.68	ok
1	436217.9	174358845	NO!	1350	258309.399	65466.05	65466.05	ok
1	168998.3	26169885.4	NO!	1350	38770.2005	25362.68	25362.68	ok
2	483884.1	214545649	ok	1350	317845.405	72619.63	72619.63	ok
2	1207543	1336111345	NO!	1350	1979424.21	181223.9	181223.9	ok

interni 2		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	2	547719.6	229075685	NO!	1100	416501.245	34199.1	34199.1	ok
	3	274126.5	93243315.9	ok	850	219396.037	17116.2	17116.2	ok
	3	252793.7	79295429.3	ok	930	170527.805	15784.2	15784.2	ok

interni 3		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	83197.92	5725974.49	ok	1100	10410.8627	5194.8	5194.8	ok
	2	403189.9	134475697	ok	900	298834.882	25174.8	25174.8	ok
	2	332791.7	91615591.9	NO!	870	210610.556	20779.2	20779.2	ok
	3	251993.7	63035482.9	ok	900	140078.851	15734.25	15734.25	ok
	3	251993.7	63035482.9	ok	800	157588.707	15734.25	15734.25	ok
	3	251993.7	63035482.9	ok	700	180101.38	15734.25	15734.25	ok

interni 4		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	432362.5	138483173	ok	1120	247291.381	26996.31	26996.31	NO!
	2	565973.7	236710175	ok	1000	473420.35	30465.56	30465.56	ok
	3	281224.7	65881016.9	ok	1000	131762.034	15137.93	15137.93	ok

interni 5		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	406662.6	161468974	ok	1100	293579.952	61030.5	61030.5	ok
	2	803548.6	484965219	ok	1100	881754.943	43253.88	43253.88	ok
	3	159998.4	25411510.6	ok	1000	50823.0212	24012	24012	ok
	1	406662.6	161468974	ok	1000	322937.947	61030.5	61030.5	ok
	2	572038.7	319500452	ok	1200	532500.753	85849.57	85849.57	ok

interni 6		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	291197.1	80164845.4	NO!	850	188623.166	43701.84	43701.84	NO!
	2	373324	172936853	NO!	850	406910.242	23310	23310	ok

interni 7		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	2	147906.6	25057111.3	ok	1200	41761.8522	7961.6	7961.6	ok

interni 8		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	221861.1	61077061.3	NO!	1035	118023.307	13852.8	13852.8	ok
	2	240348.2	66166434.6	NO!	1665	79479.2008	12937.6	12937.6	ok

interni 9		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	354663.1	107024812	NO!	1790	119580.796	53226.6	53226.6	ok
	2	636993.6	371798194	ok	1100	675996.716	95597.78	95597.78	ok
	3	146665.2	23293884.7	ok	700	66553.9563	22011	22011	ok
	3	146665.2	23293884.7	NO!	1300	35836.7457	22011	22011	ok

interni 10		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	205331.3	44840728.1	NO!	1300	68985.7355	30815.4	30815.4	ok
	2	636993.6	371798194	ok	1300	571997.221	95597.78	95597.78	ok

interni 13		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	2	392929.4	218942575	NO!	1300	336834.731	58969.47	58969.47	ok

interni 14		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	271997.3	97919020.8	NO!	1300	150644.647	40820.4	40820.4	ok

interni 17		Hp [N]	Mu [Nmm]	verifica	l [mm]	Vp [N]	Vt [N]	VR [N]	verifica
livello	1	351991.2	122989866	ok	1057	232714.979	21978	21978	ok

9.10 Analisi pushover

L'analisi non lineare statica consiste nell'applicare alla struttura i carichi gravitazionali e, per la direzione considerata dell'azione sismica, un sistema di forze orizzontali distribuite, a ogni livello della costruzione, proporzionalmente alle forze d'inerzia ed aventi risultante (taglio alla base) F_b . Tali forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente, sia in direzione positiva che negativa e fino al raggiungimento delle condizioni di collasso locale o globale, lo spostamento orizzontale dx di

un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione (sono esclusi eventuali torrini). Il diagramma $F_b - dx$ rappresenta la curva di capacità della struttura.

Questo tipo di analisi può essere utilizzato soltanto se ricorrono le condizioni di applicabilità nel seguito precisate per le distribuzioni principali (Gruppo 1); in tal caso esso si utilizza per gli scopi e nei casi seguenti:

- valutare i rapporti di sovraresistenza a_u/a_i di cui ai paragrafi 7.4.3.2, 7.4.5.1, 7.5.2.2, 7.6.2.2, 7.7.3, 7.8.1.3 e 7.9.2.1; delle NTC-2008.
- verificare l'effettiva distribuzione della domanda inelastica negli edifici progettati con il fattore di struttura q ;
- la possibilità di verificare le conseguenze della perdita di resistenza di un elemento sulla stabilità dell'intera struttura;
- l'individuazione delle zone critiche dove si ha maggiore richiesta di duttilità;
- l'individuazione di irregolarità in pianta o in altezza in termini di resistenza che causano modifiche della risposta dinamica in campo non lineare;
- la valutazione degli spostamenti relativi fra i piani tenendo conto delle discontinuità di resistenza e rigidità fra i piani. In questo modo è possibile controllare il danno di elementi non strutturali;
- il monitoraggio continuo di deformazioni, sollecitazioni, snervamento e rottura nei singoli elementi, nonché della curva di capacità dell'intera struttura;
- come metodo di progetto per gli edifici di nuova costruzione sostitutivo dei metodi di analisi lineari;
- come metodo per la valutazione della capacità di edifici esistenti.

Si devono considerare almeno due distribuzioni di forze d'inerzia, ricadenti l'una nelle distribuzioni principali (Gruppo 1) e l'altra nelle distribuzioni secondarie (Gruppo 2) appresso illustrate.

Gruppo 1 - Distribuzioni principali:

- I. distribuzione proporzionale alle forze statiche di cui al paragrafo 7.3.3.2 (NTC-2008), applicabile solo se il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata ha una partecipazione di massa non inferiore al 75% ed a condizione di utilizzare come seconda distribuzione la 2 a);
- II. distribuzione corrispondente ad una distribuzione di accelerazioni proporzionale alla forma del modo di vibrare, applicabile solo se il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata ha una partecipazione di massa non inferiore al 75%;

- III. distribuzione corrispondente alla distribuzione dei tagli di piano calcolati in un'analisi dinamica lineare, applicabile solo se il periodo fondamentale della struttura è superiore a T_C .

Gruppo 2 - Distribuzioni secondarie:

- a) distribuzione uniforme di forze, da intendersi come derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione;
- b) distribuzione adattiva, che cambia al crescere dello spostamento del punto di controllo in funzione della plasticizzazione della struttura. L'analisi richiede che al sistema strutturale reale venga associato un sistema strutturale equivalente ad un grado di libertà.

9.10.1 Criteri di verifica

Le verifiche da effettuare nel caso di analisi push over riguardano la capacità di spostamento del singolo pannello che viene confrontata con la domanda calcolata secondo le modalità riportate in normativa.

Come per le resistenze, anche la capacità di spostamento viene calcolata in maniera differente a seconda di muratura nuove o esistenti:

- muratura esistente:
 - rottura per pressoflessione : 0,6 % dell'altezza del pannello;
 - rottura per taglio : 0,4 % dell'altezza del pannello;

I predetti limiti sono definiti al netto degli spostamenti dovuti ad un eventuale moto rigido del pannello (ad esempio conseguente alla rotazione della base), e si incrementano di un'aliquota fino al 100% nel caso di rottura per pressoflessione di pannelli che esibiscono un comportamento a mensola.

- muratura nuova:
 - rottura per pressoflessione : 0,8 % dell'altezza del pannello;
 - rottura per taglio : 0,4 % dell'altezza del pannello;

La capacità di spostamento è definita al § C7.3.4.1 a seguito della trattazione sull'analisi push over e sulla determinazione della curva di capacità del sistema; si distinguono due situazioni: nel caso in cui risulti che il periodo elastico della costruzione $T^* \geq T_C$ la domanda in spostamento per il sistema anelastico è assunta uguale a quella di un sistema elastico di pari periodo:

$$d_{max}^* = d_{e,max}^* = S_{De}(T^*)$$

Nel caso in cui $T^* < T_C$ la domanda in spostamento per il sistema anelastico è maggiore di quella di un sistema elastico di pari periodo e si ottiene mediante l'espressione:

$$d_{max}^* = \frac{d_{e,max}^*}{q} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_c}{T^*} \right] \geq d_{e,max}^*$$

dove $q^* = \frac{S_e(T^*)m^*}{F_y^*}$ rappresenta il rapporto tra la forza elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente. Se $q^* < 1$ allora si ha $d_{max}^* = d_{e,max}^*$.

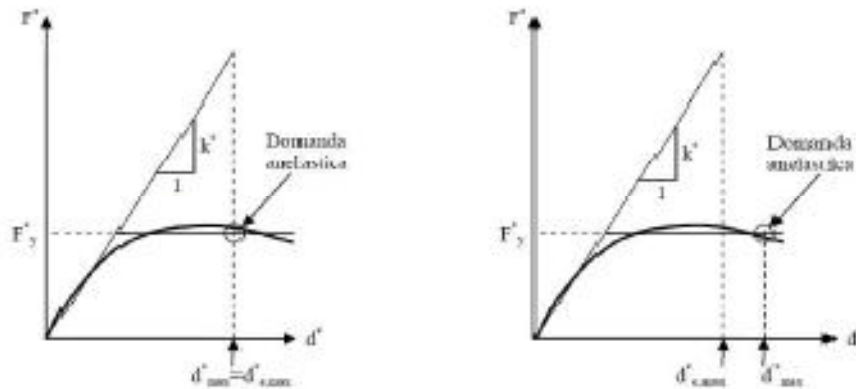
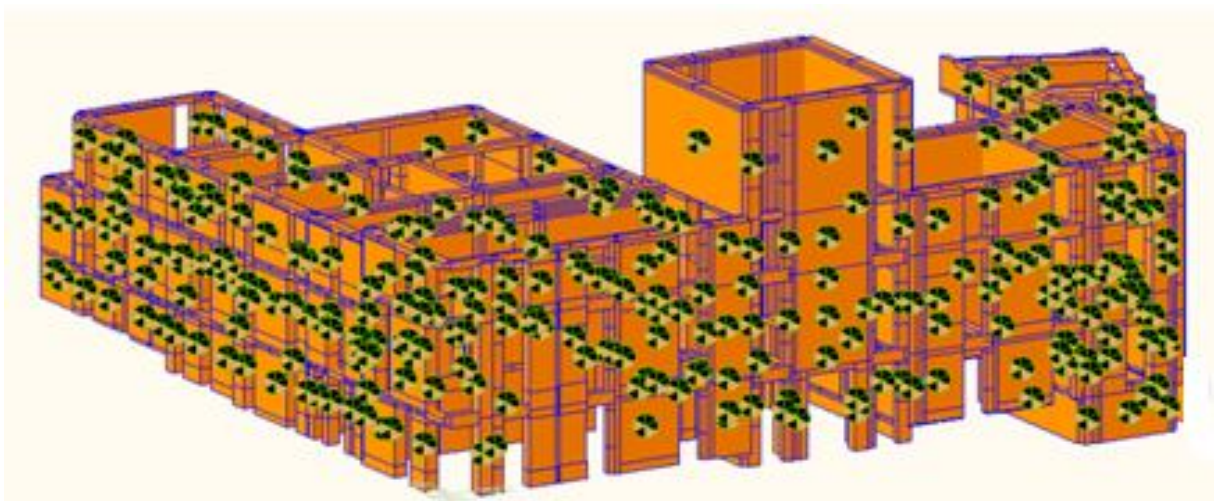


Fig.9.16 Spostamento di riferimento per $T > T_c$ e per $T < T_c$.

Una volta trovata la domanda di spostamento d_{max}^* si verifica che sia $d_{max}^* \leq d_u^*$ e si procede alla verifica della compatibilità degli spostamenti.

9.10.2 Definizione delle cerniere plastiche

Uno degli aspetti fondamentali per condurre un'analisi statica non lineare consiste nel definire il comportamento delle cerniere plastiche: per ogni materiale in gioco deve essere definito il legame costitutivo che assume quella parte di elemento che, per effetto di uno sforzo eccessivo, plasticizza; nella schematizzazione a telaio equivalente tali porzioni vengono schematizzate con delle cerniere appunto che si trovano alle estremità nel caso di rottura per taglio, e in mezziera per rottura a pressoflessione.



Per gli elementi in muratura si è fatto riferimento al modello proposto da Magenes e si seguono le norme americane FEMA; oltre a stabilire il legame costitutivo per le cerniere sono state inserite le resistenze di progetto attraverso le quali viene calcolata la formazione ed evoluzione delle cerniere plastiche negli elementi. Per i maschi si utilizza un comportamento elasto – plastico:

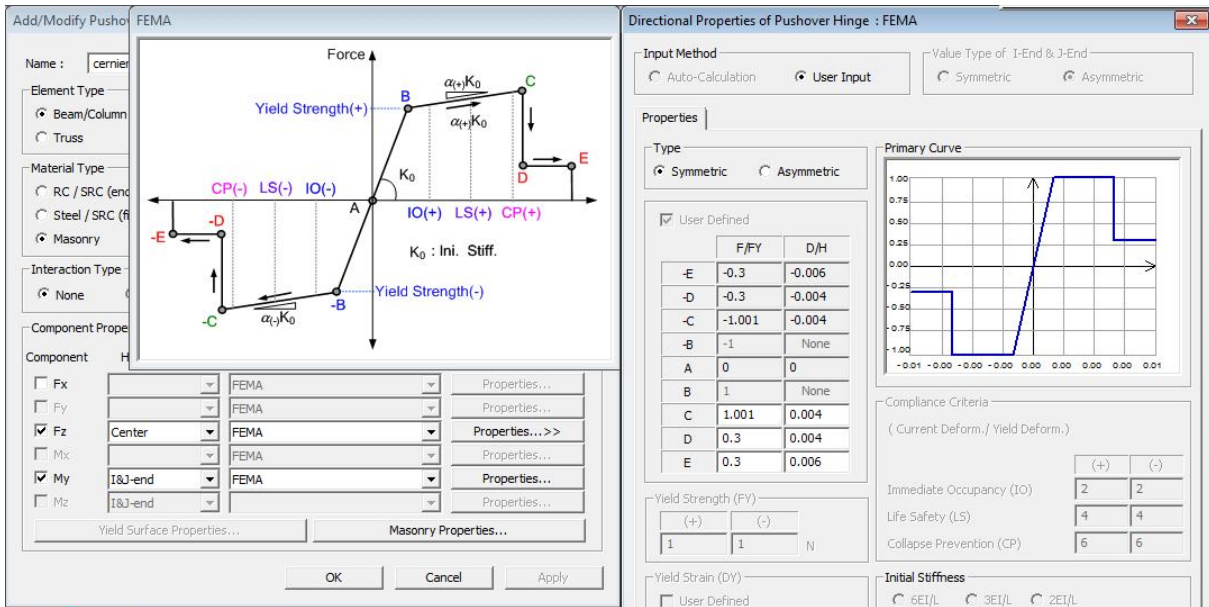


Fig.9.17 Caratterizzazione delle cerniere plastiche a taglio per i maschi murari.

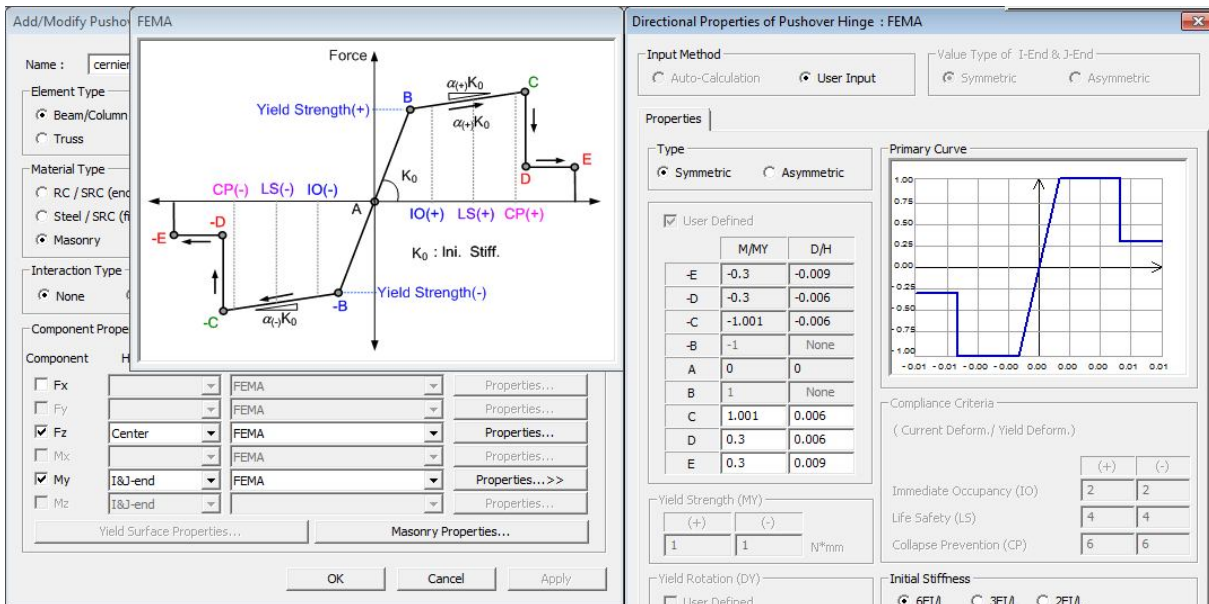


Fig.9.18 Caratterizzazione delle cerniere plastiche a momento per i maschi murari.

9.10.3 Analisi pushover dell'edificio

L'analisi statica non lineare viene svolta separatamente su due differenti modelli per le due direzioni principali e per ognuna vengono utilizzate le due distribuzioni di forze; si ottengono quindi 4 curve "Taglio alla base – spostamento".

Le verifiche devono essere effettuate prendendo in considerazione per ogni direzione la curva conseguente alla distribuzione di forze più svantaggiosa; entrambe le curve sono state definite attraverso 50 step di carico in "controllo di spostamento".

Direzione X

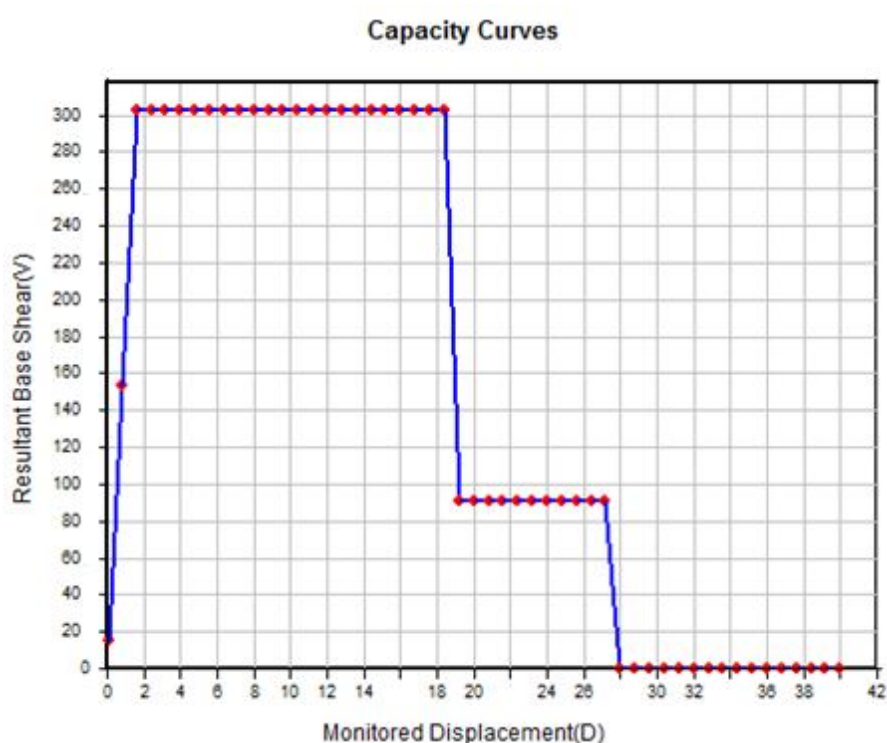


Fig.9.19 Curva di capacità del modello in direzione X.

La curva presenta un tratto iniziale praticamente elastico lineare; poi la pendenza diminuisce e si perde completamente il carattere di linearità fino ad arrivare alla capacità massima della struttura per uno spostamento di 19 mm; da qui cominciano delle rotture di elementi di significativa rigidità con perdita della capacità portante.

L'analisi è stata condotta fino ad uno spostamento del punto di controllo in sommità pari a 4 cm in quanto il resto della curva non ha rilevanza apprezzabile.

La legenda riportata alla destra delle immagini fa riferimento allo schema di cerniera plastica fornito dalle norme americane (FEMA) ed utilizzata per i maschi murari.

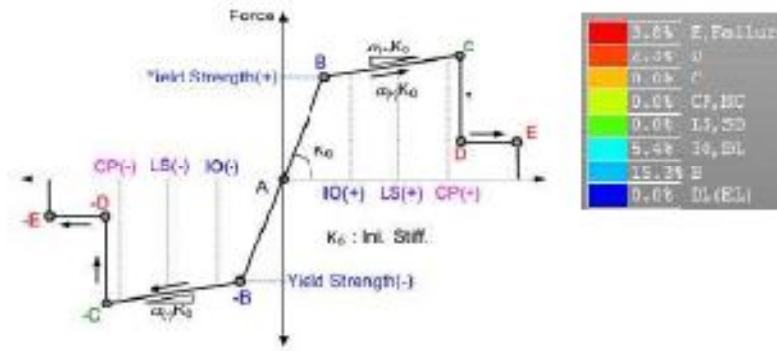


Fig.9.20 Legame sforzo – deformazione delle cerniere FEMA e legenda dell’analisi pushover.

Di seguito si riportano gli stati di avanzamento dell’analisi negli step più rilevanti; la visualizzazione scelta mostra l’evoluzione delle cerniere plastiche, sia nella loro formazione in un numero crescente di elementi, sia nel loro stato effettivo.

Le sigle DL, SD ed NC sono gli stati limite che nella nomenclatura delle NTC corrispondono agli stati limite di:

- ❖ danno (damage low) : DL;
- ❖ salvaguardia della vita (severe damage) : SD ;
- ❖ collasso (near collapse), mentre le altre lettere sono i punti del grafico :NC.

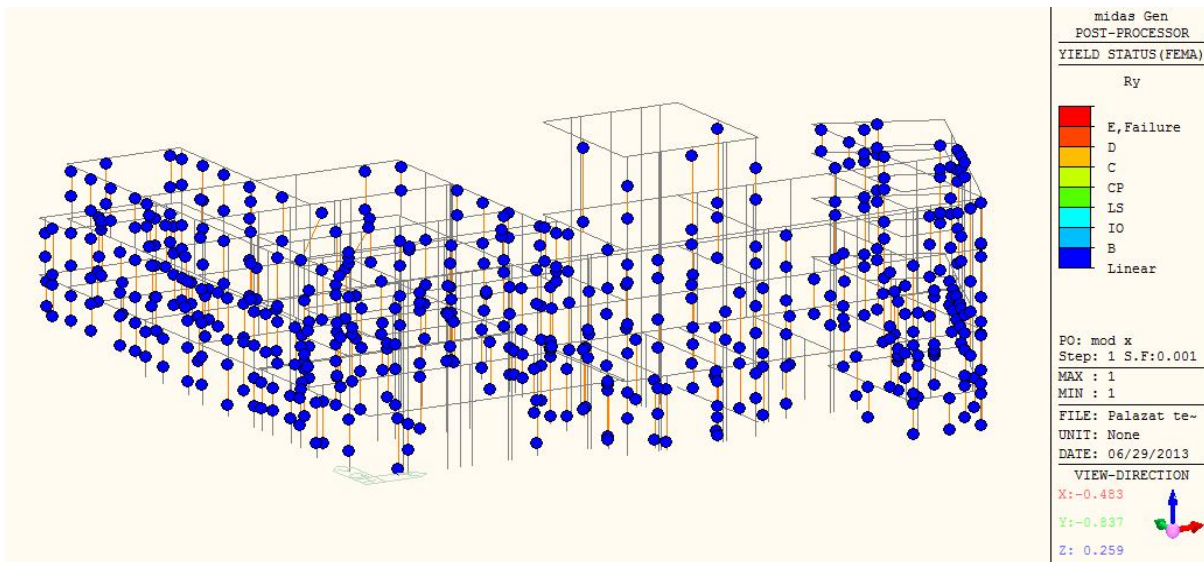


Fig.9.21 Cerniere plastiche analisi pushover in direzione X primo step.

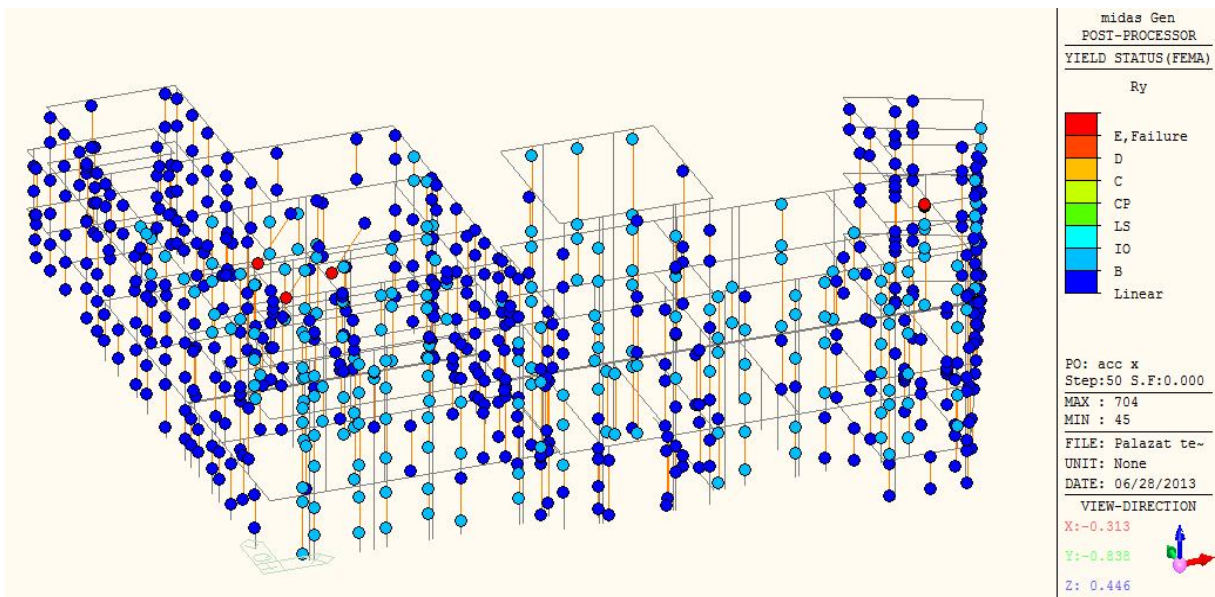


Fig.9.22 Cerniere plastiche analisi pushover in direzione X verso rottura.

Direzione Y

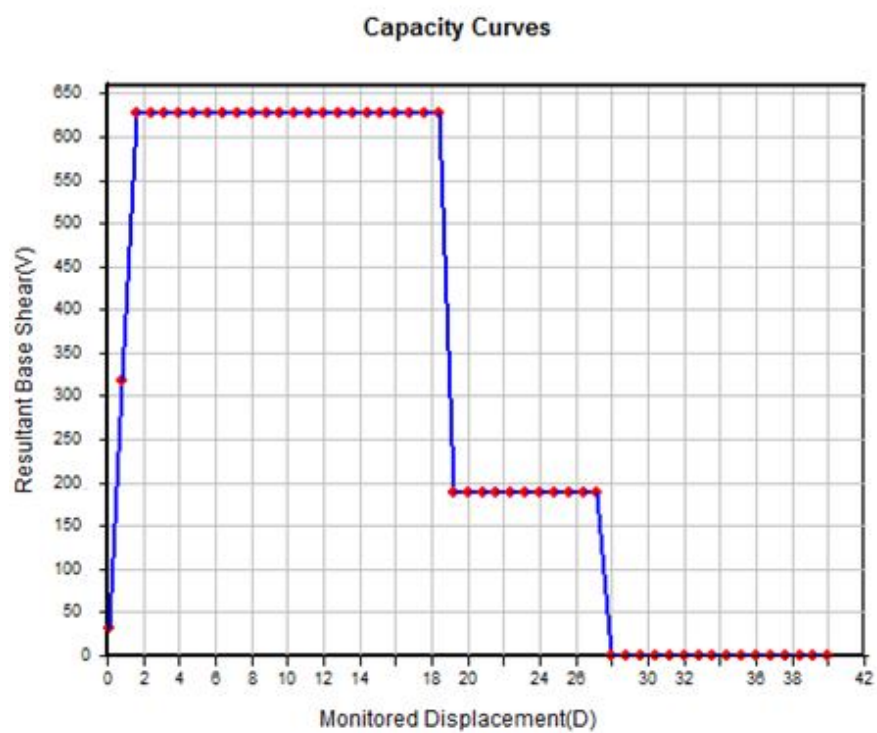


Fig.9.23 Curva di capacità del modello in direzione Y.

Per la curva di capacità e le verifiche in direzione Y valgono le stesse considerazioni fatte in precedenza sia per l'analisi dell'evoluzione della stessa che per le verifiche.

Per altro, seppur con valori e differenti, il modello presenta le stesse modalità evolutive verso la crisi in entrambe le direzioni e le curve hanno caratteristiche simili.

La curva presenta un tratto iniziale praticamente elastico lineare; poi la pendenza diminuisce e si perde completamente il carattere di linearità fino ad arrivare alla capacità massima della per uno spostamento di 19 mm; da qui cominciano delle rotture di elementi significativa rigidità con perdita della capacità portante.

Anche in questo caso si rappresenta l'evoluzione del modello al crescere del carico orizzontale con la formazione e l'evoluzione progressiva di cerniere plastiche fino alla crisi della struttura.

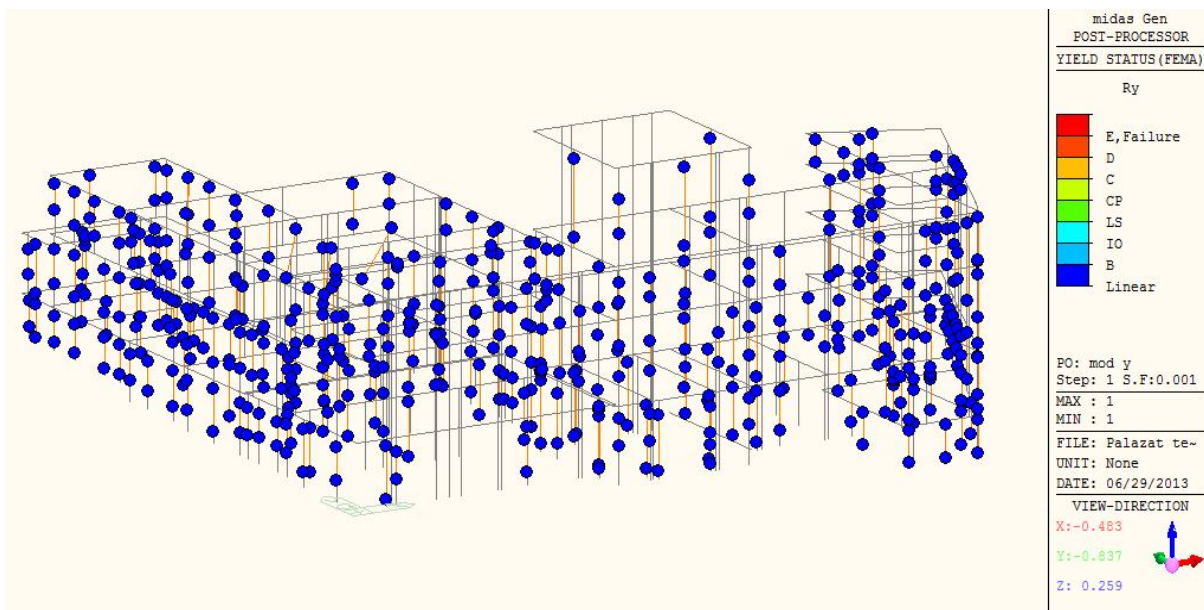


Fig.9.24 Cerniere plastiche analisi pushover in direzione Y primo step.

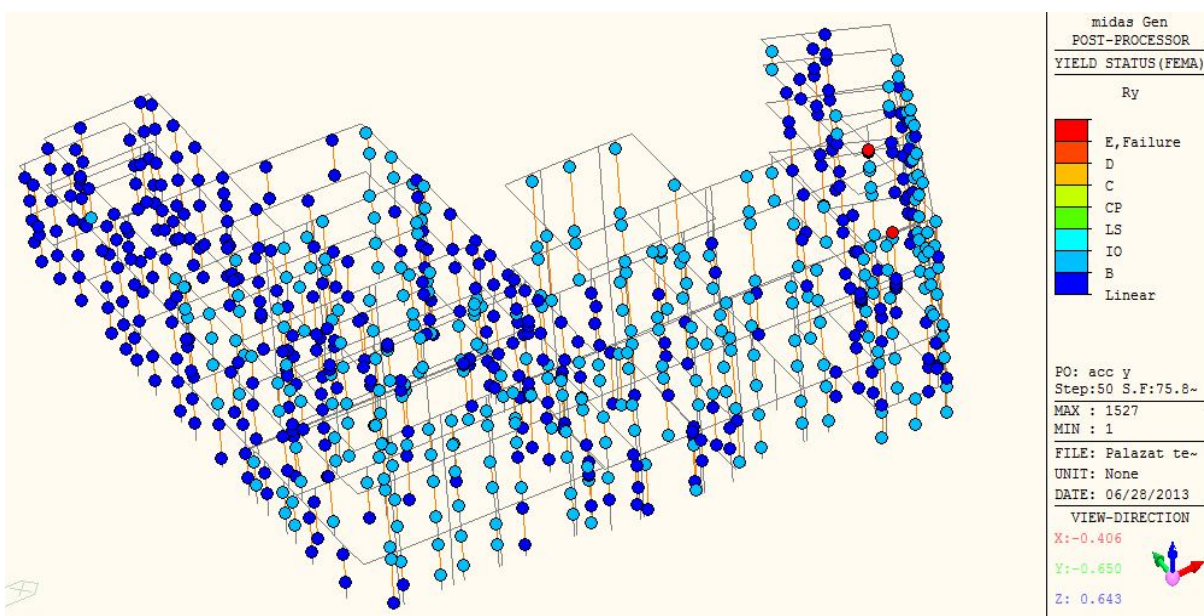
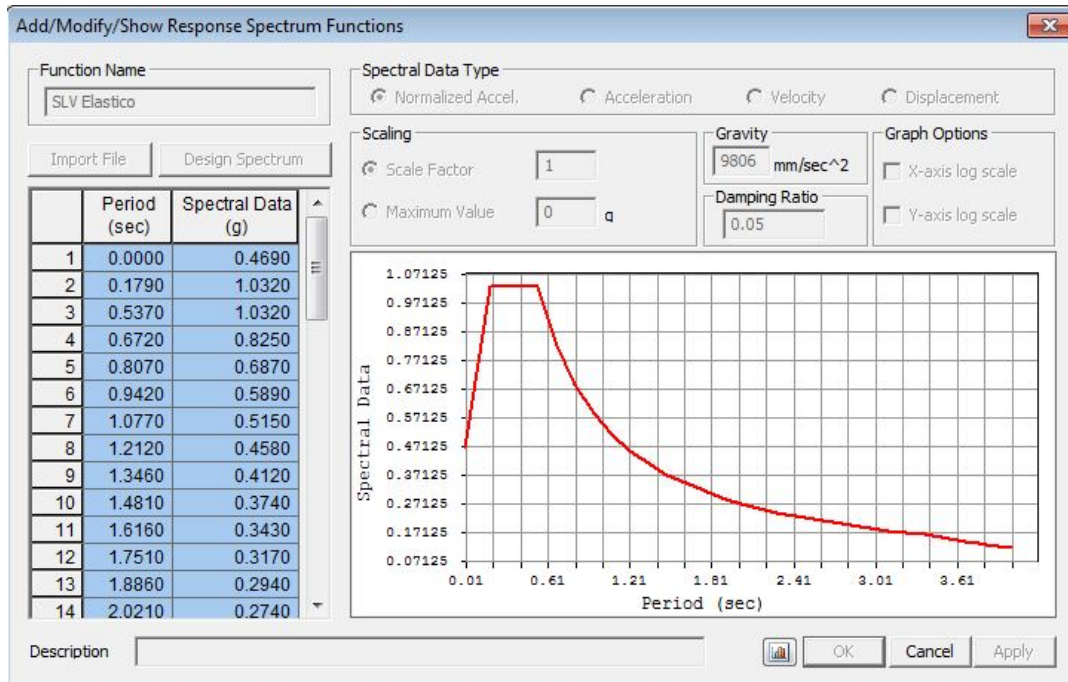


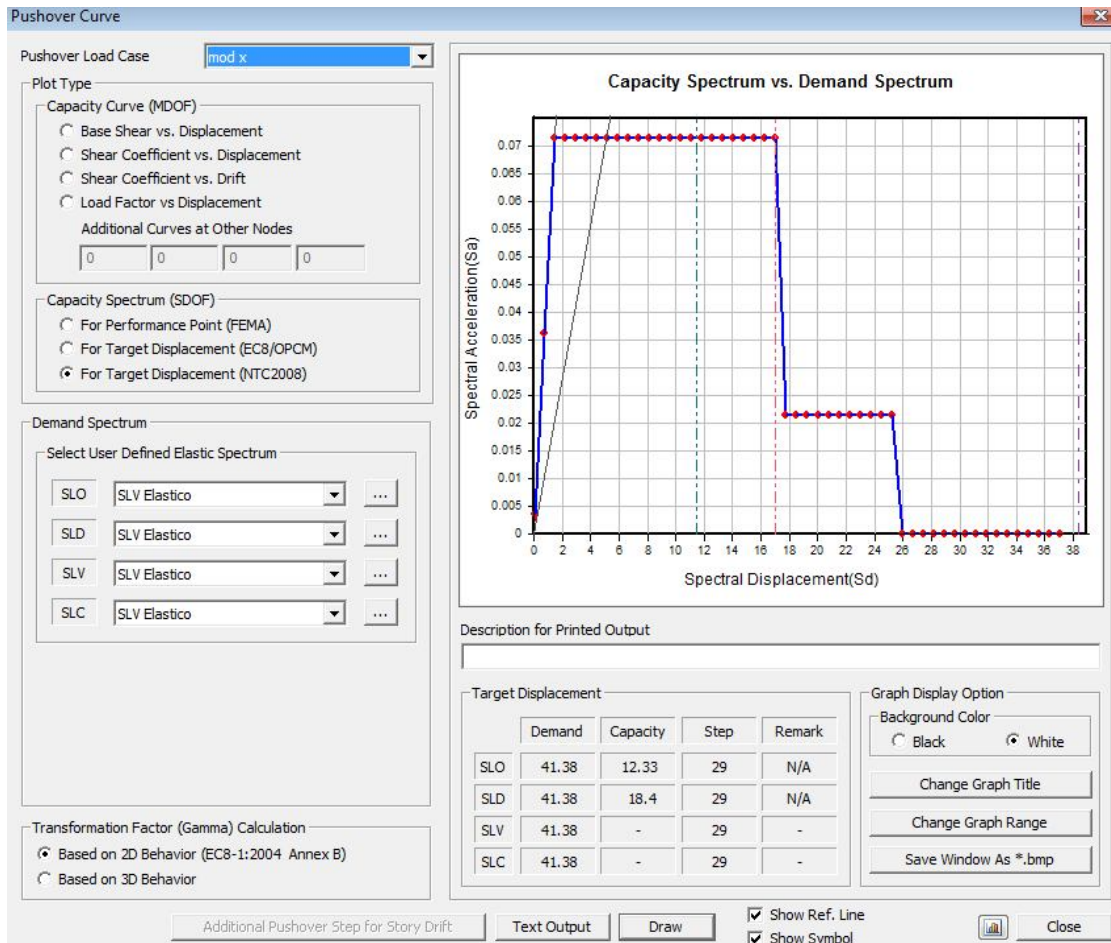
Fig.9.25 Cerniere plastiche analisi pushover in direzione Y verso rottura.

9.10.4 Verifiche

Inserendo ora nel programma di calcolo lo spettro di risposta elastico agli SLV si confronta la curva di capacità con la curva di domanda per vedere se la struttura è verificata.

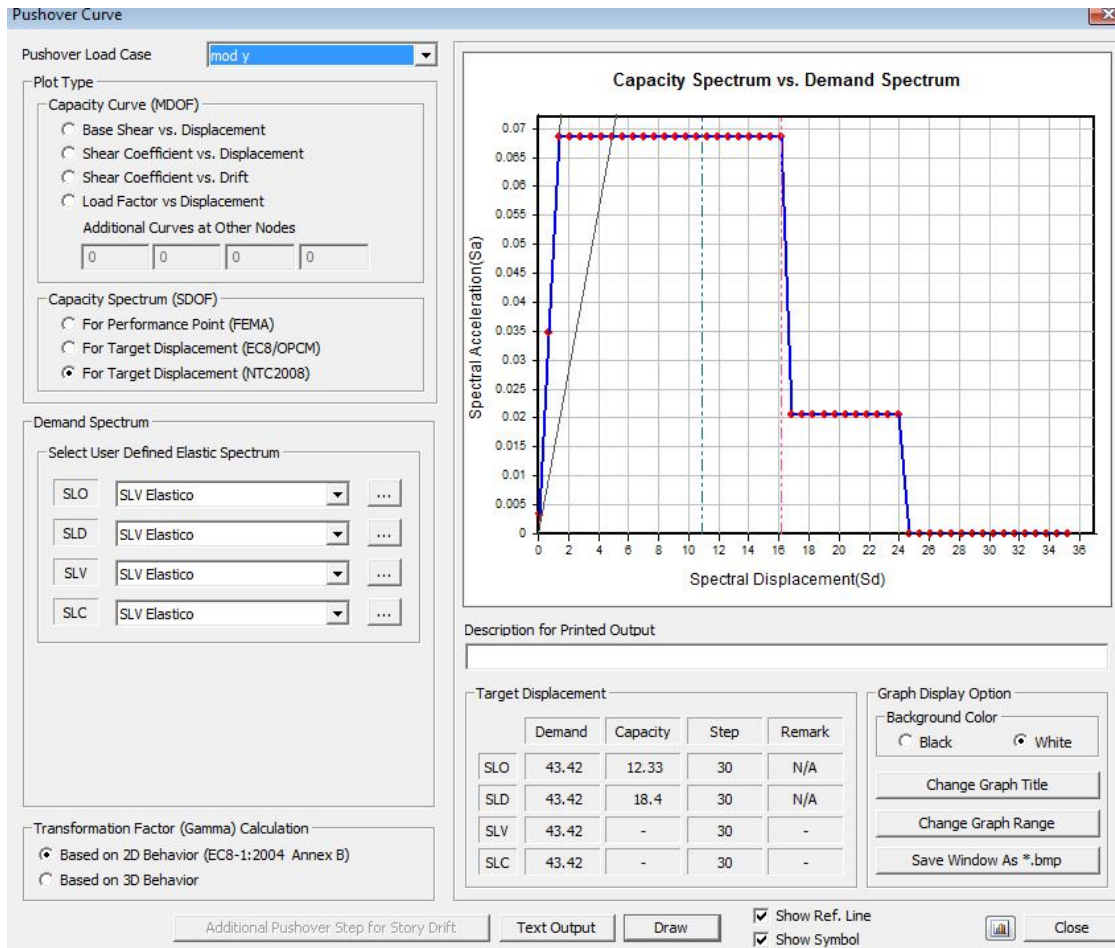


Direzione X



Come è evidente dall'immagine della schermata del programma e dalla formazione delle cerniere plastiche la verifica di capacità non è soddisfatta in quanto la curva della domanda richiede una curva di capacità, e quindi una struttura, più performante per trovare il punto di prestazione.

Direzione Y



Come è evidente dall'immagine della schermata del programma e dalla formazione delle cerniere plastiche la verifica di capacità non è soddisfatta in quanto la curva della domanda richiede una curva di capacità, e quindi una struttura, più performante per trovare il punto di prestazione.

9.11 Verifica meccanismi locali di collasso

I meccanismi locali di collasso non possono essere tenuti in conto in un'analisi (di qualunque tipo) effettuata su un modello globale dell'edificio, per quanto sia dettagliato e per quanto possa essere sofisticato il codice di calcolo utilizzato.

La stessa normativa al § C.8.7.1.1 prescrive che i meccanismi locali di collasso siano considerati e verificati separatamente rispetto all'analisi sismica globale, specificando inoltre che quando la costruzione non manifesta un chiaro comportamento d'insieme, ma piuttosto tende a reagire al sisma come un insieme di sottoinsiemi, la verifica su un modello globale non ha rispondenza rispetto al suo effettivo comportamento sismico.

Le modalità da seguire per la verifica trovano in appendice al § C.8 A.4 in cui si specifica che la verifica nei riguardi di questi meccanismi assume significato comunque se è garantita una certa monoliticità della parte muraria, tale da impedire collassi puntuali per disgregazione della muratura.

Le verifiche possono essere svolte tramite l'analisi limite dell'equilibrio, secondo l'approccio cinematico, che si basa sulla scelta del meccanismo di collasso e la valutazione dell'azione orizzontale che attiva lo stesso.

Tale azione è espressa attraverso un moltiplicatore α , rapporto tra le forze orizzontali applicate e i corrispondenti pesi delle masse presenti, rappresentato in funzione dello spostamento d_k di un punto di riferimento del sistema.

Per ogni possibile meccanismo locale ritenuto significativo per l'edificio, il metodo si articola nei seguenti passi:

- trasformazione di una parte della costruzione in un sistema labile, attraverso l'individuazione di corpi rigidi, definiti da piani di frattura ipotizzabili per la scarsa resistenza a trazione della muratura, in grado di ruotare o scorrere;
- valutazione del moltiplicatore orizzontale dei carichi α_0 che comporta l'attivazione del meccanismo (stato limite di danno);
- valutazione dell'evoluzione del moltiplicatore orizzontale dei carichi al crescere dello spostamento d_k di un punto di controllo della catena cinematica, fino all'annullamento della forza sismica orizzontale;
- trasformazione della curva così ottenuta in curva di capacità, ovvero in accelerazione a^* e spostamento d^* spettrali, con valutazione dello spostamento ultimo per collasso del meccanismo (stato limite ultimo), definito in seguito;

- verifiche di sicurezza, attraverso il controllo della compatibilità degli spostamenti e/o delle resistenze richieste alla struttura.

Le ipotesi che si fanno in genere per l'analisi cinematica lineare sono:

- resistenza nulla a trazione della muratura;
- assenza di scorrimento tra i blocchi;
- resistenza a compressione infinita della muratura.

Analisi cinematica lineare

Il moltiplicatore α_0 si ottiene applicando il Principio dei Lavori Virtuali, in termini di spostamenti, uguagliando il lavoro totale eseguito dalle forze esterne e interne:

$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_j \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi}$$

dove:

- n : numero di tutte le forze peso applicate ai blocchi;
- m : numero di forze peso non gravanti sui blocchi le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali;
- o : numero delle forze esterne, non associate alle masse;
- P_i : generica forza peso applicata;
- P_j : generica forza peso, non direttamente applicata sui blocchi;
- $\delta_{x,i}$: spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione del peso P_i ;
- $\delta_{x,j}$: spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione del peso P_j ;
- $\delta_{y,i}$: spostamento virtuale verticale del punto di applicazione del peso P_i ;
- F_h : generica forza esterna;
- δ_h : spostamento virtuale del punto di applicazione della forza F_h ;
- L_{fi} : lavoro di eventuali forze interne.

Analisi cinematica non lineare

Al fine di conoscere la capacità di spostamento della struttura fino al collasso attraverso il meccanismo desiderato, il moltiplicatore orizzontale α dei carichi può essere valutato anche su configurazioni variate, rappresentative dell'evoluzione del meccanismo e descritte dello spostamento d_k di un punto di controllo del sistema. L'analisi deve essere condotta fino al raggiungimento della configurazione cui corrisponde l'annullamento del moltiplicatore α , in corrispondenza dello spostamento $d_{k,0}$.

Nota l'andamento del moltiplicatore orizzontale α dei carichi in funzione dello spostamento d_k del punto di controllo, deve essere definita la curva di capacità dell'oscillatore equivalente, come relazione tra l'accelerazione a^* e lo spostamento d^* .

La massa partecipante al cinematismo M^* può essere valutata considerando gli spostamenti virtuali dei punti di applicazione dei diversi pesi, associati al cinematismo, come una forma modale di vibrazione:

$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i})^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}$$

L'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo vale quindi:

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* FC} = \frac{\alpha_0 g}{e^* FC}$$

In cui $e^* = \frac{g M^*}{\sum_{i=1}^{n+m} P_i}$ è la frazione di massa partecipante e FC il fattore di confidenza da assumere pari ad 1 se non si tiene conto della resistenza a compressione della muratura nella valutazione del moltiplicatore α .

Lo spostamento spettrale d^* dell'oscillatore equivalente infine è definito come:

$$d^* = d_k \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}{\delta_{x,k} \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}}$$

Verifiche di sicurezza allo Stato limite di danno

Analisi cinematica lineare

Tale verifica, non obbligatoria per gli edifici esistenti, al fine di essere soddisfatta dovrà risultare:

- si fa una differenza tra porzioni appoggiate al suolo per cui si verifica che:

$$a_0^* \geq a_g (P_{VR}) S$$

- se invece il meccanismo interessa una porzione della costruzione posta a una certa quota, se ne tiene in conto tramite la seguente espressione:

$$a_0^* \geq S_e(T_1) \psi(Z) \gamma$$

dove:

- $S_e(T_1)$: è lo spettro elastico;
- $T_1 = 0.05H^{3/4}$: primo periodo di vibrazione dell'intera struttura;

- $\psi(Z) = Z / H$ è il primo modo di vibrazione dell'edificio;
- Z : altezza del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati;
- $\gamma = 3N / (2N + 1)$ è il corrispondente coefficiente di partecipazione modale, con N numero di piani dell'edificio.

Verifiche di sicurezza allo Stato limite di salvaguardia della vita

Analisi cinematica lineare

La verifica di sicurezza nei confronti dello Stato limite di salvaguardia della vita è soddisfatta qualora l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo sia superiore all'accelerazione di picco della domanda sismica.

Si fa una differenza tra porzioni appoggiate al suolo per cui si verifica che:

$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR})S}{q}$$

con a_g accelerazione di picco al suolo calcolata per il sisma di riferimento e funzione della P_{VR} scelta; S, funzione del terreno; q fattore di struttura assunto uguale a 2,0.

Se invece il meccanismo interessa una porzione della costruzione posta a una certa quota, se ne tiene in conto tramite la seguente espressione:

$$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1)\psi(Z)\gamma}{q}$$

dove:

- $S_e(T_1)$: è lo spettro elastico;
- $T_1 = 0.05H^{3/4}$: primo periodo di vibrazione dell'intera struttura;
- $\psi(Z) = Z / H$ è il primo modo di vibrazione dell'edificio;
- Z : altezza del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati;
- $\gamma = 3N / (2N + 1)$ è il corrispondente coefficiente di partecipazione modale, con N numero di piani dell'edificio.

Verifiche di sicurezza allo Stato limite di salvaguardia della vita

Analisi cinematica non lineare

La verifica allo SLD è la medesima sia in analisi lineare che in analisi non lineare. Nel seguito si farà riferimento solo alla verifica SLV (peraltro l'unica obbligatoria).

Dunque si ha per lo spostamento ultimo d^*_u :

$$d_u^* = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.40 d_0^* \\ d \text{ definito dal progettista} \end{array} \right.$$

Lo spostamento ultimo d_u^* è un parametro importantissimo: è il massimo spostamento che può sostenere il cinematismo prima del collasso. Si noti che si parla di collasso, non di attivazione del meccanismo come nel caso dell'analisi lineare.

Esso esprime la capacità della struttura (in termini di spostamento), ossia le risorse con cui la struttura è in grado di opporsi a eventuali sollecitazioni sismiche.

Nel caso dell'analisi lineare la capacità è una resistenza; nel caso, ora trattato, dell'analisi non lineare la capacità è uno spostamento.

Lo spostamento ultimo d_u^* può essere definito dal 40% dello spostamento d_0^* oppure da eventuali condizioni che possano imporre un limite di spostamento massimo ancora inferiore al 40% di d_0^* . Fra queste si ricorda, ad esempio, lo spostamento corrispondente allo sfilamento delle travi dei solai o alla perdita di equilibrio di archi o volte.

Tale capacità andrà confrontata con una grandezza di riferimento, dipendente anche dal sito geografico dove ricade la costruzione, la cosiddetta domanda. Essa esprime l'impegno che ci si deve attendere in quel sito e su quella struttura in caso arrivi il sisma di progetto.

Per il calcolo del periodo secante T_s è riportata una formula cui corrisponde la seguente procedura:

- spostamento d_s^* per valutare il periodo secante T_s :

$$d_s^* = 0.4 d_u^*$$

- accelerazione a_s^* corrispondente allo spostamento d_s^* sulla curva di capacità:

se la curva di capacità è lineare si ha

$$a_s^* = a_0^* (1 - d_s^* / d_0^*)$$

- periodo secante T_s :

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}}$$

dove bisogna esprimere l'accelerazione in m/s^2 .

Nella circolare n.617 del 2009 è fornita la formula di verifica nel caso in cui il cinematismo riguardi un elemento isolato o una porzione della costruzione comunque sostanzialmente appoggiata a terra.

La verifica di sicurezza nei confronti dello SLV si considera soddisfatta se:

$$d_u^* \geq S_{De}(T_s)$$

in questo caso la domanda in spostamento D_d è data da $S_{De}(T_s)$, cioè dallo spettro di risposta elastico in spostamento valutato in corrispondenza del periodo secante T_s .

tale spettro è dato dallo spettro elastico in accelerazione moltiplicato per

$$\left(\frac{T_s}{2\pi}\right)^2$$

secondo la formula generale riportata in normativa:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \times \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

Nel caso in cui il meccanismo locale interessa una porzione della costruzione posta a una certa quota, in aggiunta alla verifica illustrata per il caso di meccanismo al suolo, deve essere considerato lo spettro di risposta in spostamento del moto alla quota della porzione di edificio interessata dal cinematismo. La circolare n.617 del 2009 suggerisce una approssimazione accettabile con la seguente formula, dipendente dal periodo secante T_s definito poc'anzi:

$$d_u^* \geq S_{De}(T_1) \psi(Z) \gamma \frac{\left(\frac{T_s}{T_1}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{T_s}{T_1}\right)^2 + 0.02 \frac{T_s}{T_1}}}$$

dove:

- $S_e(T_1)$: è lo spettro elastico;
- $T_1 = 0.05H^{3/4}$: primo periodo di vibrazione dell'intera struttura;
- $\psi(Z) = Z / H$ è il primo modo di vibrazione dell'edificio;
- Z : altezza del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati;
- $\gamma = 3N / (2N + 1)$ è il corrispondente coefficiente di partecipazione modale, con N numero di piani dell'edificio.

Per le verifiche riguardanti i meccanismi di collasso locali che interessano l'edificio oggetto della tesi si è utilizzato un foglio di calcolo Excel dove sono stati inseriti 6 fogli, uno per ogni meccanismo locale che è possibile analizzare e che coprono in maniera più o meno esaustiva, i fenomeni di collasso puntuale che possiamo ipotizzare e che poi effettivamente si riscontrano nella maggior parte degli edifici in muratura.

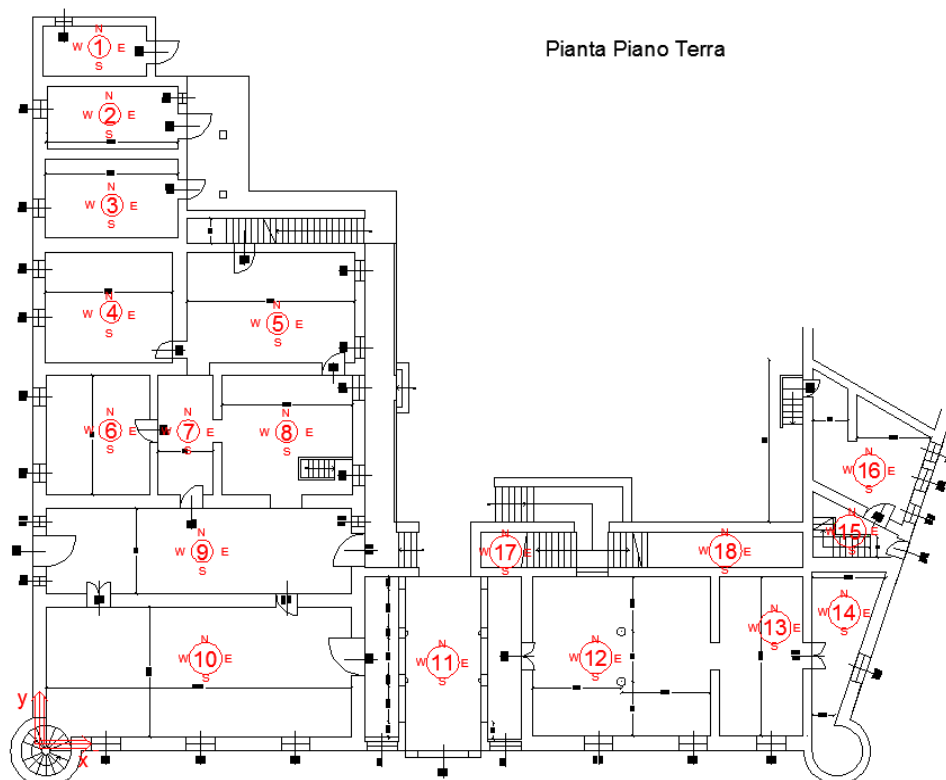
I meccanismi previsti sono:

- **ribaltamento semplice** di parete monolitica: interessa pareti con scarso ammorsamento alle pareti di controvento e mal vincolate ai solai;
- **ribaltamento composto di cuneo diagonale**: interessa pareti con buon ammorsamento alle pareti di controvento e mal vincolate ai solai;
- **ribaltamento composto di cuneo a doppia diagonale**: interessa pareti con buon ammorsamento alle pareti di controvento e mal vincolate ai solai rigidi;
- **ribaltamento della parte alta del cantonale**: interessa porzioni alte di pareti sprovviste di solaio di copertura e soggette a spinte orizzontali diagonali;
- **flessione verticale** di parete monolitica (ad 1, 2, 3 piani): interessa pareti ben vincolate ad orizzontamenti rigidi che si fratturano in mezzera;
- **flessione orizzontale** di parete monolitica efficacemente confinata: stesso meccanismo di prima, soltanto che la parete è confinata da edifici contigui.

Sono state effettuate 3 verifiche distinte ipotizzando:

- ❖ senza considerare i cordoli;
- ❖ presenza dei cordoli e rottura per scorrimento all'interfaccia parete – cordolo;
- ❖ presenza dei cordoli e rottura taglio della muratura.

Riferimento pareti.



9.11.1 Analisi cinematica lineare

Si riporta per brevità la verifica in dettaglio dei meccanismi locali per la prima ipotesi della prima parete per ogni meccanismo e poi si allega la tabella riassuntiva per le restanti.

❖ senza considerare i cordoli cinematica lineare

Ribaltamento semplice di parete							
parete area 1 esterna					luce solaio	6770	
wi=	0.000018	l =	2875	s =	480	h=	2260
W1=	56138.4						
wi=	0.000021	l =	2875	s =	480	h=	3220
W2=	93315.6						
wi=	0	l =	0	s =	0	h=	0
W3=	0						
Ps1 =	49535.244	<i>peso del solaio agente sulla parete</i>					
Ps2 =	0	<i>peso del solaio agente sulla parete</i>					
d1 =	360	<i>braccio orizz del carico trasmesso dal solaio sulla parete</i>					
d2 =	360	<i>braccio orizz del carico trasmesso dal solaio sulla parete</i>					
T1 =	0	<i>azione dei tiranti</i>					
h1 =	0	<i>braccio vert dell'azione trasmessa dal tirante alla parete</i>					
yg1 =	1130	<i>braccio verticale del peso proprio</i>					
yg2 =	3870	<i>braccio verticale del peso proprio</i>					
yg3 =	5480	<i>braccio verticale del peso proprio</i>					
h1 =	2260	<i>braccio vert dell'azione trasmessa dal solaio alla parete</i>					
h2 =	5480	<i>braccio vert dell'azione trasmessa dal solaio alla parete</i>					
Ph =	2627.6063	<i>spinta statica trasmessa dalla copertura in testa</i>					
h =	5480	<i>altezza dell'elemento</i>					

moltiplicatore di collasso

$$a = 0.073254594$$

	Pi [kg]	dxi [m]	Pi dxi [kg m]	Pi dxi 2 [kg m2]
W1=	5724.9031	0.20620438	1180.500096	243.4242899
W2=	9516.1738	0.70620438	6720.363594	4745.950202
W3=	0	1	0	0
Ps1 =	5051.5239	0.412408759	2083.29272	859.1681654
Ps2 =	0	1	0	0
Ph =	267.95903	1	267.9590302	267.9590302
	20560.56		10252.11544	6116.501688

M* g =	17183.98463	kg			
e* =	0.835774159		SLD terra	SLV terra	
a0* g =	0.06492503	g	0.254848	0.23426	g
a0* =	0.636654844	m/s2	SLD quota	SLV quota	
			0	0	g

<i>Ribaltamento semplice di parete</i>	
<i>parete area 1 esterna</i>	NO
<i>parete area 2 esterna</i>	NO
<i>parete area 3 esterna</i>	NO
<i>parete area 4 esterna</i>	NO
<i>parete area 6 esterna</i>	NO
<i>parete area 9 esterna</i>	NO
<i>parete area 10 esterna</i>	NO
<i>parete area 10 fronte</i>	NO
<i>parete area 10 fronte</i>	NO
<i>parete area 10 fronte</i>	NO
<i>parete area 10 fronte</i>	NO
<i>parete area 11 fronte</i>	NO
<i>parete area 11 fronte</i>	NO
<i>parete area 11 fronte</i>	NO
<i>parete area 12 fronte</i>	NO
<i>parete area 12 fronte</i>	NO
<i>parete area 13 fronte</i>	NO
<i>parete area 14 fronte</i>	NO
<i>parete area 15 fronte</i>	NO
<i>parete area 16 fronte</i>	NO
<i>parete area 16 dietro</i>	NO
<i>parete area 16 interna</i>	NO
<i>parete area 15 interna</i>	NO
<i>parete area 13 interna</i>	NO
<i>parete area 12 interna</i>	NO
<i>parete area 12 interna</i>	NO
<i>parete area 11 interna</i>	NO
<i>parete area 11 interna</i>	NO
<i>parete area 11 interna</i>	NO
<i>parete area 9 interna</i>	NO
<i>parete area 8 interna</i>	NO
<i>parete area 5 interna</i>	NO
<i>parete area 5 dietro</i>	NO
<i>parete area 3 interna</i>	NO
<i>parete area 2 interna</i>	NO
<i>parete area 1 interna</i>	NO
<i>parete area 1 dietro</i>	NO

Ribaltamento composto di cuneo diagonale parte alta

parete 1 esterna

wi=	0.000021	l =	2875	s =	480	h=	3220
W1=	93315.6						
Wo =	16877.95						<i>peso proprio della porzione del cuneo di distacco</i>
xg0 =	740						<i>braccio orizzontale del peso proprio della porzione di cuneo</i>
Ps =	4512.6						<i>peso del solaio agente sulla parete</i>
d =	360						<i>braccio orizzontale del generico carico verticale trasmesso in testa</i>
Pso =	1552.5						<i>peso del solaio agente sulla porzione di cuneo</i>
do =	1000						<i>braccio orizzontale del carico trasmesso dal solaio al cuneo di distacco</i>
T1 =	0						<i>azione dei tiranti</i>
h1 =	0						<i>braccio vert dell'azione trasmessa dal tirante alla parete</i>
Ph =	1552.5						<i>spinta statica trasmessa dalla copertura in testa</i>
h =	3220						<i>altezza dell'elemento</i>
yg =	1610						<i>braccio vert del peso proprio</i>
yg0 =	2146.667						<i>braccio vert del peso proprio della porzione di cuneo</i>
h1 =	3220						<i>braccio vert dell'azione trasmessa dal solaio alla parete</i>

moltiplicatore di collasso

a = 0.18477

	<i>Pi [kg]</i>	<i>dxi [m]</i>	<i>Pi dxi [kg m]</i>	<i>Pi dxi 2 [kg m2]</i>
W1=	9516.174	0.5	4758.087	2379.043
Wo =	1721.186	0.666667	1147.457	764.9717
Ps =	460.1876	1	460.1876	460.1876
Pso =	158.3214	1	158.3214	158.3214
Ph =	158.3214	1	158.3214	158.3214
	12014.19		6682.375	3920.846

<i>M* g =</i>	11388.9	kg			
<i>e* =</i>	0.947954		<i>SLD terra</i>	<i>SLV terra</i>	
<i>a0* g =</i>	0.144381	g	0.254848	0.23426	g
<i>a0* =</i>	1.415801	m/s2	<i>SLD quota</i>	<i>SLV quota</i>	
			0.159409	0.148135	g

Ribaltamento composto di cuneo diagonale parte alta

<i>parete 1 esterna</i>	NO
<i>parete 2+3 esterna</i>	NO
<i>parete 4 esterna</i>	NO
<i>parete 6 esterna</i>	NO
<i>parete 9 esterna</i>	NO
<i>parete 10 esterna</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	NO
<i>parete 14 fronte</i>	NO
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	NO
<i>parete 16 interna</i>	NO
<i>parete 15 interna</i>	NO
<i>parete 13 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 9 interna</i>	NO
<i>parete 8 interna</i>	NO
<i>parete 5 interna</i>	NO
<i>parete 5 dietro</i>	NO
<i>parete 2+3 interna</i>	NO
<i>parete 2+3 dietro</i>	NO
<i>parete 1 interna</i>	NO
<i>parete 1 dietro</i>	NO

Ribaltamento composto di cuneo a doppia diagonale

<i>parete 1 esterna</i>					luce solaio 6770	
wi=	0.000018	l =	2875	s =	480	
h=				h=	2260	
W1=	56138.4					
wi=	0.000021	l =	2875	s =	480	
h=				h=	3220	
W2=	93315.6					
Wo1 =	10153.728		<i>peso proprio della porzione del cuneo di distacco</i>			
xg01 =	740		<i>braccio orizzontale del peso proprio della porzione di cuneo</i>			
Wo2 =	16877.952		<i>peso proprio della porzione del cuneo di distacco</i>			
xg02 =	740		<i>braccio orizzontale del peso proprio della porzione di cuneo</i>			
Ps1 =	49535.244		<i>peso del solaio agente sulla parete</i>			
d1 =	360		<i>braccio orizzontale del generico carico verticale trasmesso in testa</i>			
Ps2 =	4512.6		<i>peso del solaio agente sulla parete</i>			
d2 =	360		<i>braccio orizzontale del generico carico verticale trasmesso in testa</i>			
Pso1 =	0		<i>peso del solaio agente sulla porzione di cuneo</i>			
do1 =	1000		<i>braccio orizzontale del carico trasmesso dal solaio al cuneo di distacco</i>			
T1 =	0		<i>azione dei tiranti</i>			
h1 =	0		<i>braccio vert dell'azione trasmessa dal tirante alla parete</i>			
yg1 =	1130		<i>braccio vert del peso proprio</i>			
yg2 =	3870		<i>braccio vert del peso proprio</i>			
yg01 =	1506.6667		<i>braccio vert del peso proprio della porzione di cuneo</i>			
yg02 =	3333.3333		<i>braccio vert del peso proprio della porzione di cuneo</i>			
h1 =	2260		<i>braccio vert dell'azione trasmessa dal solaio alla parete</i>			
h2 =	5480		<i>braccio vert dell'azione trasmessa dal solaio alla parete</i>			

moltiplicatore di collasso

a = 0.119041

	<i>Pi [kg]</i>	<i>dxi [m]</i>	<i>Pi dxi [kg m]</i>	<i>Pi dxi 2 [kg m2]</i>
W1=	5724.9031	0.206204	1180.5	243.4243
W2=	9516.1738	0.706204	6720.364	4745.95
Wo1 =	1035.4607	0.274939	284.6887	78.27208
Wo2 =	1721.1862	0.608273	1046.95	636.8311
Ps1 =	5051.5239	0.412409	2083.293	859.1682
Ps2 =	460.18764	1	460.1876	460.1876
Pso1 =	0	0.274939	0	0
	23509.435		11775.98	7023.833

<i>M* g =</i>	19743.32	kg		
<i>e* =</i>	0.839804		<i>SLD terra</i>	<i>SLV terra</i>
<i>a0* g =</i>	0.104999	g	0.254848	0.23426
<i>a0* =</i>	1.029619	m/s2	<i>SLD quota</i>	<i>SLV quota</i>
			0.159409	0.148135
				g

Ribaltamento composto di cuneo a doppia diagonale

<i>parete 1 esterna</i>	NO
<i>parete 2+3 esterna</i>	NO
<i>parete 4 esterna</i>	NO
<i>parete 6 esterna</i>	NO
<i>parete 9 esterna</i>	NO
<i>parete 10 esterna</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	NO
<i>parete 14 fronte</i>	NO
<i>parete 15 fronte</i>	NO
<i>parete 16 fronte</i>	NO
<i>parete 16 dietro</i>	NO
<i>parete 16 interna</i>	NO
<i>parete 15 interna</i>	NO
<i>parete 13 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 9 interna</i>	NO
<i>parete 8 interna</i>	NO
<i>parete 5 interna</i>	NO
<i>parete 5 dietro</i>	NO
<i>parete 2+3 interna</i>	NO
<i>parete 2+3 dietro</i>	NO
<i>parete 1 interna</i>	NO
<i>parete 1 dietro</i>	NO

Ribaltamento del cantonale

parete 1 esterno dietro

wi= 0.000021 *l =* 1000 *s =* 480 *h=* 3220
W= 32457.6

wi= 0.000021 *l =* 1000 *s =* 450 *h=* 3220
Fv= 30429

xg = 725 *braccio orizzontale del cantonale 1*
dv = 740 *braccio orizzontale del cantonale 2*
P = 540 *spinta statica trasmessa dalla copertura in testa*
dp = 240 *braccio orizzontale del generico carico verticale trasmesso in testa*
yg = 2146.667 *braccio vert del cantonale 1*
hv = 2146.667 *braccio vert del cantonale 2*
h = 3220 *braccio vert dell'azione trasmessa dalla copertura alla parete*

moltiplicatore di collasso

a = 0.337724

	<i>Pi [kg]</i>	<i>dxi [m]</i>	<i>Pi dxi [kg m]</i>	<i>Pi dxi 2 [kg m2]</i>
<i>W=</i>	3309.973	0.666667	2206.649	1471.099
<i>Fv=</i>	3103.1	0.666667	2068.733	1379.156
<i>P =</i>	55.06833	0.074534	4.104471	0.305923
	6468.142		4279.487	2850.561

<i>M* g =</i>	6424.703	kg			
<i>e* =</i>	0.993284		<i>SLD terra</i>	<i>SLV terra</i>	
<i>a0* g =</i>	0.251857	g	0.254848	0.23426	<i>g</i>
<i>a0* =</i>	2.469713	m/s2	<i>SLD quota</i>	<i>SLV quota</i>	
			0.159409	0.148135	<i>g</i>

<i>Ribaltamento del cantonale</i>	
<i>parete 1 esterno dietro</i>	NO
<i>parete 1 dietro interna</i>	NO
<i>parete 2 esterno</i>	ok
<i>parete 2 interno</i>	ok
<i>parete 5 interno</i>	ok
<i>parete 10 torre</i>	ok
<i>parete 11 torre</i>	NO
<i>parete 11 torre</i>	NO
<i>parete 11 torre</i>	NO
<i>parete 11 torre</i>	NO
<i>parete 14 torre</i>	NO
<i>parete 16 esterna</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok

Flessione verticale di parete monolitica a più piani

<i>parete 1 esterna</i>				luce solaio 6770
wi =	0.000018	l =	2875	s1 = 480
h1 =	2260	W1 =	56138.4	h2 = 3220
w2 =	0.000021	l =	2875	s2 = 480
h2 =	3220	W2 =	93315.6	
xg1 =	240	<i>braccio orizzontale del peso proprio</i>		
xg2 =	240	<i>braccio orizzontale del peso proprio</i>		
Ps1 =	49535.24	<i>peso del solaio agente sulla parete</i>		
a1 =	360	<i>braccio oriz del del carico trasmesso dal solaio sulla parete</i>		
Ps2 =	0	<i>peso del solaio agente sulla parete</i>		
a2 =	0	<i>braccio oriz del del carico trasmesso dal solaio sulla parete</i>		
Ps3 =	0	<i>peso del solaio agente sulla parete</i>		
N =	4512.6	<i>generico carico verticale agente in testa</i>		
d =	240	<i>braccio oriz del generico carico verticale agente in testa</i>		
yg1 =	1130	<i>braccio verticale del peso proprio</i>		
yg2 =	1610	<i>braccio verticale del peso proprio</i>		
hp1 =	2260	<i>braccio verticale dell'azione trasmessa dal solaio alla parete</i>		
hp2 =	3220	<i>braccio verticale dell'azione trasmessa dal solaio alla parete</i>		

moltiplicatore di collasso

a = 0.337362

	<i>Pi [kg]</i>	<i>dxi [m]</i>	<i>Pi dxi [kg m]</i>	<i>Pi dxi 2 [kg m2]</i>
W1 =	5724.903	0.5	2862.452	1431.226
W2 =	9516.174	0.712389	6779.221	4829.445
Ps1 =	5051.524	1	5051.524	5051.524
Ps2 =	0	0	0	0
Ps3 =	0	0	0	0
N =	460.1876	0	0	0
	20752.79		14693.2	11312.19

M* g =	19084.72	kg		
e* =	0.919622		<i>SLD terra</i>	<i>SLV terra</i>
a0* g =	0.27174	g	0.254848	0.23426
a0* =	2.664681	m/s2	<i>SLD quota</i>	<i>SLV quota</i>
			0.101483	0.094306
				g

<i>Flessione verticale di parete monolitica a più piani</i>	
<i>parete 1 esterna</i>	ok
<i>parete 2 esterna</i>	NO
<i>parete 3 esterna</i>	NO
<i>parete 4 esterna</i>	NO
<i>parete 6 esterna</i>	NO
<i>parete 9 esterna</i>	NO
<i>parete 10 esterna</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	NO
<i>parete 14 fronte</i>	NO
<i>parete 15 fronte</i>	NO
<i>parete 16 fronte</i>	NO
<i>parete 16 dietro</i>	NO
<i>parete 16 interna</i>	NO
<i>parete 15 interna</i>	NO
<i>parete 13 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 9 interna</i>	NO
<i>parete 8 interna</i>	NO
<i>parete 5 interna</i>	NO
<i>parete 5 dietro</i>	NO
<i>parete 2+3 interna</i>	NO
<i>parete 2+3 dietro</i>	NO
<i>parete 1 interna</i>	ok
<i>parete 1 dietro</i>	ok

Flessione orizzontale di parete

<i>parete 1 esterna</i>				<i>luce solaio</i>	3385
<i>wi=</i>	0.000021	<i>L1 =</i>	1437.5	<i>s1 =</i>	480
				<i>h1 =</i>	3220
<i>W1 =</i>	46657.8				
<i>wi=</i>	0.000021	<i>L2 =</i>	1437.5	<i>s2 =</i>	480
				<i>h2 =</i>	3220
<i>W2 =</i>	46657.8				
<i>xg1 =</i>	718.75			<i>braccio orizzontale del peso proprio</i>	
<i>xg2 =</i>	718.75			<i>braccio orizzontale del peso proprio</i>	
<i>H =</i>	48068.16			<i>valore massimo azione sopportabile dal controvento</i>	
<i>Ph1 =</i>	2627.606			<i>spinta statica trasmessa dalla copertura in testa</i>	
<i>Ph2 =</i>	2627.606			<i>spinta statica trasmessa dalla copertura in testa</i>	
<i>d1 =</i>	718.75			<i>braccio oriz del generico carico verticale agente in testa</i>	
<i>d2 =</i>	718.75			<i>braccio oriz del generico carico verticale agente in testa</i>	
<i>Pv1 =</i>	22918.57			<i>carico verticale trasmesso in testa</i>	
<i>Pv2 =</i>	22918.57			<i>carico verticale trasmesso in testa</i>	

moltiplicatore di collasso

a = 0.423615

	<i>Pi [kg]</i>	<i>dxi [m]</i>	<i>Pi dxi [kg m]</i>	<i>Pi dxi 2 [kg m2]</i>
<i>W1 =</i>	4758.087	0.5	2379.043	1189.522
<i>W2 =</i>	4758.087	0.5	2379.043	1189.522
<i>Ph1 =</i>	267.959	0.25	66.98976	16.74744
<i>Ph2 =</i>	267.959	0.25	66.98976	16.74744
<i>Pv1 =</i>	2337.198	0.25	584.2996	146.0749
<i>Pv2 =</i>	2337.198	0.25	584.2996	146.0749
	14726.49		6060.666	2704.688

<i>M* g =</i>	13580.74	kg			
<i>e* =</i>	0.922198		<i>SLD terra</i>	<i>SLV terra</i>	
<i>a0* g =</i>	0.340262	g	0.254848	0.23426	<i>g</i>
<i>a0* =</i>	3.336605	m/s2	<i>SLD quota</i>	<i>SLV quota</i>	
			0.159409	0.148135	<i>g</i>

<i>Flessione orizzontale di parete</i>	
<i>parete 1 esterna</i>	ok
<i>parete 2+3 esterna</i>	NO
<i>parete 4 esterna</i>	NO
<i>parete 6 esterna</i>	ok
<i>parete 9 esterna</i>	ok
<i>parete 10 esterna</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	NO
<i>parete 14 fronte</i>	NO
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	NO
<i>parete 16 interna</i>	NO
<i>parete 15 interna</i>	ok
<i>parete 13 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 9 interna</i>	NO
<i>parete 8 interna</i>	NO
<i>parete 5 interna</i>	NO
<i>parete 5 dietro</i>	NO
<i>parete 2+3 interna</i>	NO
<i>parete 2+3 dietro</i>	NO
<i>parete 1 interna</i>	ok
<i>parete 1 dietro</i>	NO

Ribaltamento semplice di parete alta

<i>parete area 1 esterna</i>				<i>luce solaio</i>	6770
<i>wi=</i>	0.000021	<i>l =</i>	2875	<i>s =</i>	480
<i>h=</i>	3220	<i>h=</i>	3220		
<i>W2=</i>	93315.6				
<i>Ps2 =</i>	4512.6		<i>peso del solaio agente sulla parete</i>		
<i>d2 =</i>	360		<i>braccio oriz del carico trasmesso dal solaio sulla parete</i>		
<i>T1 =</i>	0		<i>azione dei tiranti</i>		
<i>h1 =</i>	0		<i>braccio vert dell'azione trasmessa dal tirante alla parete</i>		
<i>yg2 =</i>	1610		<i>braccio verticale del peso proprio</i>		
<i>h2 =</i>	3220		<i>braccio vert dell'azione trasmessa dal solaio alla parete</i>		
<i>Ph =</i>	2627.6063		<i>spinta statica trasmessa dalla copertura in testa</i>		
<i>h =</i>	3220		<i>altezza dell'elemento</i>		

moltiplicatore di collasso

a = 0.089501956

	<i>Pi [kg]</i>	<i>dxi [m]</i>	<i>Pi dxi [kg m]</i>	<i>Pi dxi 2 [kg m2]</i>
<i>W2=</i>	9516.1738	0.5	4758.086886	2379.043443
<i>Ps2 =</i>	460.18764	1	460.1876402	460.1876402
<i>Ph =</i>	267.95903	1	267.9590302	267.9590302
	10244.32		5486.233556	3107.190113

<i>M* g =</i>	9686.809476	kg			
<i>e* =</i>	0.945578531		<i>SLD terra</i>	<i>SLV terra</i>	
<i>a0* g =</i>	0.070113421	g	0.254848	0.23426	<i>g</i>
<i>a0* =</i>	0.687532202	m/s2	<i>SLD quota</i>	<i>SLV quota</i>	
			0.304	0.2825	<i>g</i>

<i>Ribaltamento semplice di parete alta</i>	
<i>parete 1 esterna</i>	NO
<i>parete 2 esterna</i>	NO
<i>parete 3 esterna</i>	NO
<i>parete 4 esterna</i>	NO
<i>parete 6 esterna</i>	NO
<i>parete 9 esterna</i>	NO
<i>parete 10 esterna</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	NO
<i>parete 14 fronte</i>	NO
<i>parete 15 fronte</i>	NO
<i>parete 16 fronte</i>	NO
<i>parete 16 dietro</i>	NO
<i>parete 16 interna</i>	NO
<i>parete 15 interna</i>	NO
<i>parete 13 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 9 interna</i>	NO
<i>parete 8 interna</i>	NO
<i>parete 5 interna</i>	NO
<i>parete 5 dietro</i>	NO
<i>parete 2+3 interna</i>	NO
<i>parete 2+3 dietro</i>	NO
<i>parete 1 interna</i>	NO
<i>parete 1 dietro</i>	NO

- ❖ presenza dei cordoli e rottura per scorrimento all'interfaccia parete – cordolo - analisi cinematica lineare

<i>Ribaltamento semplice di parete</i>	
<i>parete area 1 esterna</i>	ok
<i>parete area 2 esterna</i>	ok
<i>parete area 3 esterna</i>	ok
<i>parete area 4 esterna</i>	ok
<i>parete area 6 esterna</i>	ok
<i>parete area 9 esterna</i>	ok
<i>parete area 10 esterna</i>	ok
<i>parete area 10 fronte</i>	ok
<i>parete area 10 fronte</i>	ok
<i>parete area 10 fronte</i>	ok
<i>parete area 10 fronte</i>	ok
<i>parete area 11 fronte</i>	ok
<i>parete area 11 fronte</i>	ok
<i>parete area 11 fronte</i>	ok
<i>parete area 12 fronte</i>	ok
<i>parete area 12 fronte</i>	ok
<i>parete area 13 fronte</i>	ok
<i>parete area 14 fronte</i>	ok
<i>parete area 15 fronte</i>	ok
<i>parete area 16 fronte</i>	ok
<i>parete area 16 dietro</i>	ok
<i>parete area 16 interna</i>	ok
<i>parete area 15 interna</i>	ok
<i>parete area 13 interna</i>	ok
<i>parete area 12 interna</i>	ok
<i>parete area 12 interna</i>	ok
<i>parete area 11 interna</i>	ok
<i>parete area 11 interna</i>	ok
<i>parete area 11 interna</i>	ok
<i>parete area 9 interna</i>	ok
<i>parete area 8 interna</i>	ok
<i>parete area 5 interna</i>	ok
<i>parete area 5 dietro</i>	ok
<i>parete area 3 interna</i>	ok
<i>parete area 2 interna</i>	ok
<i>parete area 1 interna</i>	ok
<i>parete area 1 dietro</i>	ok

Ribaltamento composto di cuneo diagonale parte alta

<i>parete 1 esterna</i>	NO
<i>parete 2+3 esterna</i>	ok
<i>parete 4 esterna</i>	ok
<i>parete 6 esterna</i>	ok
<i>parete 9 esterna</i>	ok
<i>parete 10 esterna</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	NO
<i>parete 14 fronte</i>	NO
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok
<i>parete 15 interna</i>	ok
<i>parete 13 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 9 interna</i>	ok
<i>parete 8 interna</i>	ok
<i>parete 5 interna</i>	ok
<i>parete 5 dietro</i>	ok
<i>parete 2+3 interna</i>	ok
<i>parete 2+3 dietro</i>	ok
<i>parete 1 interna</i>	ok
<i>parete 1 dietro</i>	NO

Ribaltamento composto di cuneo a doppia diagonale

<i>parete 1 esterna</i>	ok
<i>parete 2+3 esterna</i>	ok
<i>parete 4 esterna</i>	ok
<i>parete 6 esterna</i>	ok
<i>parete 9 esterna</i>	NO
<i>parete 10 esterna</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	ok
<i>parete 13 fronte</i>	ok
<i>parete 14 fronte</i>	ok
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	NO
<i>parete 15 interna</i>	ok
<i>parete 13 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 9 interna</i>	NO
<i>parete 8 interna</i>	ok
<i>parete 5 interna</i>	ok
<i>parete 5 dietro</i>	ok
<i>parete 2+3 interna</i>	ok
<i>parete 2+3 dietro</i>	ok
<i>parete 1 interna</i>	ok
<i>parete 1 dietro</i>	ok

<i>Ribaltamento del cantonale</i>	
<i>parete 1 esterno dietro</i>	ok
<i>parete 1 dietro interna</i>	ok
<i>parete 2 esterno</i>	ok
<i>parete 2 interno</i>	ok
<i>parete 5 interno</i>	ok
<i>parete 10 torre</i>	ok
<i>parete 11 torre</i>	NO
<i>parete 11 torre</i>	NO
<i>parete 11 torre</i>	NO
<i>parete 11 torre</i>	NO
<i>parete 14 torre</i>	NO
<i>parete 16 esterna</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok

<i>Flessione verticale di parete monolitica a più piani</i>	
<i>parete 1 esterna</i>	ok
<i>parete 2 esterna</i>	ok
<i>parete 3 esterna</i>	NO
<i>parete 4 esterna</i>	NO
<i>parete 6 esterna</i>	ok
<i>parete 9 esterna</i>	NO
<i>parete 10 esterna</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	NO
<i>parete 14 fronte</i>	NO
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	NO
<i>parete 16 dietro</i>	NO
<i>parete 16 interna</i>	NO
<i>parete 15 interna</i>	NO
<i>parete 13 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO

<i>parete 9 interna</i>	NO
<i>parete 8 interna</i>	NO
<i>parete 5 interna</i>	NO
<i>parete 5 dietro</i>	NO
<i>parete 2+3 interna</i>	NO
<i>parete 2+3 dietro</i>	NO
<i>parete 1 interna</i>	ok
<i>parete 1 dietro</i>	ok

<i>Flessione orizzontale di parete</i>	
<i>parete 1 esterna</i>	ok
<i>parete 2+3 esterna</i>	ok
<i>parete 4 esterna</i>	ok
<i>parete 6 esterna</i>	ok
<i>parete 9 esterna</i>	ok
<i>parete 10 esterna</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	ok
<i>parete 14 fronte</i>	ok
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok
<i>parete 15 interna</i>	ok
<i>parete 13 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 9 interna</i>	NO
<i>parete 8 interna</i>	NO
<i>parete 5 interna</i>	NO
<i>parete 5 dietro</i>	NO
<i>parete 2+3 interna</i>	NO
<i>parete 2+3 dietro</i>	NO
<i>parete 1 interna</i>	ok
<i>parete 1 dietro</i>	NO

<i>Ribaltamento semplice di parete alta</i>	
<i>parete 1 esterna</i>	NO
<i>parete 2 esterna</i>	ok
<i>parete 3 esterna</i>	NO
<i>parete 4 esterna</i>	NO
<i>parete 6 esterna</i>	NO
<i>parete 9 esterna</i>	NO
<i>parete 10 esterna</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	NO
<i>parete 14 fronte</i>	NO
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok
<i>parete 15 interna</i>	ok
<i>parete 13 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 12 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 11 interna</i>	NO
<i>parete 9 interna</i>	NO
<i>parete 8 interna</i>	NO
<i>parete 5 interna</i>	NO
<i>parete 5 dietro</i>	NO
<i>parete 2+3 interna</i>	NO
<i>parete 2+3 dietro</i>	NO
<i>parete 1 interna</i>	NO
<i>parete 1 dietro</i>	NO

❖ presenza dei cordoli e rottura taglio della muratura – analisi cinematica lineare

<i>Ribaltamento semplice di parete</i>	
<i>parete area 1 esterna</i>	ok
<i>parete area 2 esterna</i>	ok
<i>parete area 3 esterna</i>	ok
<i>parete area 4 esterna</i>	ok
<i>parete area 6 esterna</i>	ok
<i>parete area 9 esterna</i>	ok
<i>parete area 10 esterna</i>	ok
<i>parete area 10 fronte</i>	ok
<i>parete area 10 fronte</i>	ok
<i>parete area 10 fronte</i>	ok
<i>parete area 10 fronte</i>	ok
<i>parete area 11 fronte</i>	ok
<i>parete area 11 fronte</i>	ok
<i>parete area 11 fronte</i>	ok
<i>parete area 12 fronte</i>	ok
<i>parete area 12 fronte</i>	ok
<i>parete area 13 fronte</i>	ok
<i>parete area 14 fronte</i>	ok
<i>parete area 15 fronte</i>	ok
<i>parete area 16 fronte</i>	ok
<i>parete area 16 dietro</i>	ok
<i>parete area 16 interna</i>	ok
<i>parete area 15 interna</i>	ok
<i>parete area 13 interna</i>	ok
<i>parete area 12 interna</i>	ok
<i>parete area 12 interna</i>	ok
<i>parete area 11 interna</i>	ok
<i>parete area 11 interna</i>	ok
<i>parete area 11 interna</i>	ok
<i>parete area 9 interna</i>	ok
<i>parete area 8 interna</i>	ok
<i>parete area 5 interna</i>	ok
<i>parete area 5 dietro</i>	ok
<i>parete area 3 interna</i>	ok
<i>parete area 2 interna</i>	ok
<i>parete area 1 interna</i>	ok
<i>parete area 1 dietro</i>	ok

Ribaltamento composto di cuneo diagonale parte alta

<i>parete 1 esterna</i>	ok
<i>parete 2+3 esterna</i>	ok
<i>parete 4 esterna</i>	ok
<i>parete 6 esterna</i>	ok
<i>parete 9 esterna</i>	ok
<i>parete 10 esterna</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	ok
<i>parete 13 fronte</i>	ok
<i>parete 14 fronte</i>	ok
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok
<i>parete 15 interna</i>	ok
<i>parete 13 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 9 interna</i>	ok
<i>parete 8 interna</i>	ok
<i>parete 5 interna</i>	ok
<i>parete 5 dietro</i>	ok
<i>parete 2+3 interna</i>	ok
<i>parete 2+3 dietro</i>	ok
<i>parete 1 interna</i>	ok
<i>parete 1 dietro</i>	ok

Ribaltamento composto di cuneo a doppia diagonale

<i>parete 1 esterna</i>	NO
<i>parete 2+3 esterna</i>	ok
<i>parete 4 esterna</i>	ok
<i>parete 6 esterna</i>	ok
<i>parete 9 esterna</i>	ok
<i>parete 10 esterna</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 10 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	NO
<i>parete 14 fronte</i>	ok
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok
<i>parete 15 interna</i>	ok
<i>parete 13 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 9 interna</i>	ok
<i>parete 8 interna</i>	NO
<i>parete 5 interna</i>	ok
<i>parete 5 dietro</i>	NO
<i>parete 2+3 interna</i>	NO
<i>parete 2+3 dietro</i>	NO
<i>parete 1 interna</i>	NO
<i>parete 1 dietro</i>	ok

<i>Ribaltamento del cantonale</i>	
<i>parete 1 esterno dietro</i>	ok
<i>parete 1 dietro interna</i>	ok
<i>parete 2 esterno</i>	ok
<i>parete 2 interno</i>	ok
<i>parete 5 interno</i>	ok
<i>parete 10 torre</i>	ok
<i>parete 11 torre</i>	ok
<i>parete 11 torre</i>	ok
<i>parete 11 torre</i>	ok
<i>parete 11 torre</i>	ok
<i>parete 14 torre</i>	ok
<i>parete 16 esterna</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok

<i>Flessione verticale di parete monolitica a più piani</i>	
<i>parete 1 esterna</i>	ok
<i>parete 2 esterna</i>	ok
<i>parete 3 esterna</i>	ok
<i>parete 4 esterna</i>	ok
<i>parete 6 esterna</i>	ok
<i>parete 9 esterna</i>	ok
<i>parete 10 esterna</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	ok
<i>parete 13 fronte</i>	ok
<i>parete 14 fronte</i>	ok
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok
<i>parete 15 interna</i>	ok
<i>parete 13 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok

<i>parete 9 interna</i>	ok
<i>parete 8 interna</i>	ok
<i>parete 5 interna</i>	ok
<i>parete 5 dietro</i>	ok
<i>parete 2+3 interna</i>	ok
<i>parete 2+3 dietro</i>	ok
<i>parete 1 interna</i>	ok
<i>parete 1 dietro</i>	ok

<i>Flessione orizzontale di parete</i>	
<i>parete 1 esterna</i>	ok
<i>parete 2+3 esterna</i>	ok
<i>parete 4 esterna</i>	ok
<i>parete 6 esterna</i>	ok
<i>parete 9 esterna</i>	ok
<i>parete 10 esterna</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	NO
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	NO
<i>parete 13 fronte</i>	ok
<i>parete 14 fronte</i>	ok
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok
<i>parete 15 interna</i>	ok
<i>parete 13 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 9 interna</i>	NO
<i>parete 8 interna</i>	NO
<i>parete 5 interna</i>	NO
<i>parete 5 dietro</i>	NO
<i>parete 2+3 interna</i>	NO
<i>parete 2+3 dietro</i>	NO
<i>parete 1 interna</i>	ok
<i>parete 1 dietro</i>	NO

<i>Ribaltamento semplice di parete alta</i>	
<i>parete 1 esterna</i>	ok
<i>parete 2 esterna</i>	ok
<i>parete 3 esterna</i>	ok
<i>parete 4 esterna</i>	ok
<i>parete 6 esterna</i>	ok
<i>parete 9 esterna</i>	ok
<i>parete 10 esterna</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 10 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 11 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	ok
<i>parete 12 fronte</i>	ok
<i>parete 13 fronte</i>	ok
<i>parete 14 fronte</i>	ok
<i>parete 15 fronte</i>	ok
<i>parete 16 fronte</i>	ok
<i>parete 16 dietro</i>	ok
<i>parete 16 interna</i>	ok
<i>parete 15 interna</i>	ok
<i>parete 13 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 12 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 11 interna</i>	ok
<i>parete 9 interna</i>	ok
<i>parete 8 interna</i>	ok
<i>parete 5 interna</i>	ok
<i>parete 5 dietro</i>	ok
<i>parete 2+3 interna</i>	ok
<i>parete 2+3 dietro</i>	ok
<i>parete 1 interna</i>	ok
<i>parete 1 dietro</i>	ok

9.11.2 Intervento

L'analisi dei risultati emersi dal calcolo, svolto considerando gli adeguati coefficienti riduttivi della capacità in relazione al livello di conoscenza, indica una condizione complessiva carente relativamente al rischio sismico per la struttura analizzata.

Al fine di inibire il meccanismo evidenziato si ipotizza l'inserimento di una coppia di tiranti a livello degli impalcati dell'ultimo piano.

Gli sforzi di trazione sui tiranti si calcolano quindi con l'equilibrio alla rotazione attorno alla cerniera. Imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione tramite l'uguaglianza dei momenti ribaltanti e stabilizzanti, è possibile trovare il coefficiente di attivazione α_0 espresso in funzione dello sforzo nei tiranti.

Si utilizza il valore di α_0 tale da soddisfare la verifica SLU lineare (semplificata) proposta dalla normativa sismica (eq. C8A.4.9 e C8A.4.10 della Circolare n. 617 2/2/2009), si ottiene il valore dello sforzo nei tiranti richiesto per l'azione sismica di progetto, e si può passare al loro dimensionamento.

Imponendo:

$$\alpha_0^* = \max \left(\frac{a_g (P_{VR}) S}{q}; \frac{S_e(T_1) \frac{Z}{H} \frac{3N}{2N+1}}{q} \right)$$

si ha

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_0^* e^* F_C}{g}$$

È necessario eseguire tre verifiche :

- meccanismo di rottura relativo allo snervamento dei tiranti (T');
- meccanismo di rottura relativo al punzonamento della muratura nelle zone di ancoraggio (T'');
- meccanismo di rottura relativo alla resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio, dovuta ad eccesso di pressione di contatto (T''').

Per l'analisi è ragionevole scegliere il minimo valore ottenuto.

$$T' = A f_y$$

$$T'' = f_v [2 (b + t) + 2 (a + t)] t$$

$$T''' = S_r a b$$

dove: f_y è la tensione di snervamento dei tiranti

A_s è l'area della sezione trasversale dei tiranti

a è l'altezza delle piastre di ancoraggio dei tiranti

b è la larghezza delle piastre di ancoraggio dei tiranti

t è lo spessore della parete su cui sono ancorati i tiranti

S_r è la resistenza a compressione di calcolo della muratura, pari a $S_r = f_m / \gamma_c / \gamma_s$

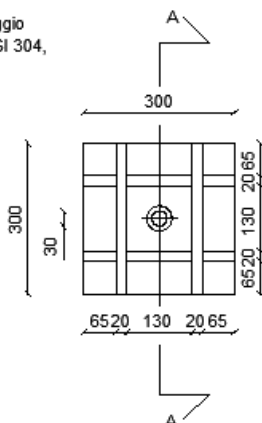
f_v è la resistenza a taglio di calcolo della muratura, valutata come $f_v = \tau_0 / \gamma_c / \gamma_s$

È da precisare che nel caso in cui per il calcolo del tirante si sia fatto riferimento a una porzione di parete unitaria sarà necessario moltiplicare il valore del tiro per l'area di afferenza della singola catena.

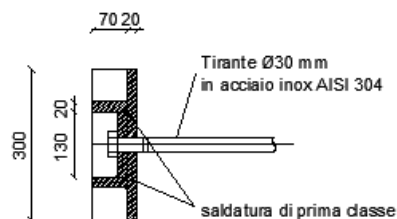
Le teste dei tiranti possono essere provviste di occhielli entro cui vengono collocate staffe d'ancoraggio bloccate da zeppe metalliche. Diversamente l'estremità dei tiranti vengono filettate e a esse si imbullonano le staffe d'ancoraggio con dado e controdado. Con tale sistema con dei manicotti di tensione posti a metà catena si ottiene un preensionamento del tirante. Il manicotto tenditore serve a ristabilire il giusto grado di tensione se si verifica nel tempo un calo della tensione stessa. Il manicotto inoltre è utile quando non essendo possibile realizzare un tirante in un unico pezzo, si vanno a collegare due tondi per mezzo del manicotto così da ottenersi una catena molto più lunga di quanto non si potrebbe con unico tondino metallico.

Particolare tipo: piastra rettangolare ad incasso di ancoraggio barre Ø30mm

Piastra di ancoraggio
in acciaio inox AISI 304,
sp. 20 mm

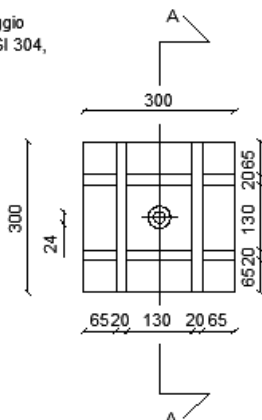


SEZIONE A-A



Particolare tipo: piastra rettangolare ad incasso di ancoraggio barre Ø24mm

Piastra di ancoraggio
in acciaio inox AISI 304,
sp. 20 mm



SEZIONE A-A



Considerando tiranti in acciaio AISI 304 (tensione di snervamento $f_y = 240$ MPa, coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio $\gamma_s = 1$ in caso sismico) a livello della copertura si ottiene:

<i>Ribaltamento semplice di parete alta</i>						
<i>parete area 1 esterna</i>						
<i>intervento con tirante</i>						
	$a_0 =$	0.2825		g		
	$a_0 =$	0.36062				
	$T =$	10993.36		N		
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
<i>snervamento del tirante</i>						
	$T' =$	108573.4		N		
<i>punzonamento della muratura</i>						
	$T'' =$	46575.36		N		
	$f_v =$	0.0311		Mpa		
<i>schacciamento della muratura</i>						
	$T''' =$	129996		N		
	$f_d =$	1.4444		Mpa		
<i>Minimo valore ottenuto</i>						
	$T =$	46575.36		N		
<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>						
	$T =$	93150.72		N	>	10993.36 N

<i>Ribaltamento semplice di parete alta</i>						
<i>parete area 2 esterna</i>						
<i>intervento con tirante</i>						
	$a_0 =$	0.2825		g		
	$a_0 =$	0.354315				
	$T =$	8654.187		N		
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
<i>snervamento del tirante</i>						
	$T' =$	108573.4		N		
<i>punzonamento della muratura</i>						
	$T'' =$	117365.3		N		
	$f_v =$	0.0667		Mpa		
<i>schacciamento della muratura</i>						
	$T''' =$	99999		N		
	$f_d =$	1.1111		Mpa		
<i>Minimo valore ottenuto</i>						
	$T =$	99999		N		
<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>						
	$T =$	199998		N	>	8654.187 N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 3 esterna

intervento con tirante

$$a0 = 0.2825 \quad g$$

$$a0 = 0.354315$$

$$T = 11133.9 \quad N$$

verifiche tirante $fi = 24 \quad \text{AISI 304 INOX} \quad fy = 240 \quad \text{Mpa}$

snervamento del tirante

$$T' = 108573.4 \quad N$$

punzonamento della muratura

$$T'' = 117365.3 \quad N$$

$$fv = 0.0667 \quad \text{Mpa}$$

schacciamento della muratura

$$T''' = 99999 \quad N$$

$$fd = 1.1111 \quad \text{Mpa}$$

Minimo valore ottenuto

$$T = 99999 \quad N$$

si scelgono 2 tiranti per piano

$$T = 199998 \quad N > 11133.9 \quad N$$

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 4 esterna

intervento con tirante

$$a0 = 0.2825 \quad g$$

$$a0 = 0.34869$$

$$T = 13952.36 \quad N$$

verifiche tirante $fi = 24 \quad \text{AISI 304 INOX} \quad fy = 240 \quad \text{Mpa}$

snervamento del tirante

$$T' = 108573.4 \quad N$$

punzonamento della muratura

$$T'' = 117365.3 \quad N$$

$$fv = 0.0667 \quad \text{Mpa}$$

schacciamento della muratura

$$T''' = 99999 \quad N$$

$$fd = 1.1111 \quad \text{Mpa}$$

Minimo valore ottenuto

$$T = 99999 \quad N$$

si scelgono 2 tiranti per piano

$$T = 199998 \quad N > 13952.36 \quad N$$

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 6 esterna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.350062				
	$T =$	15139.86	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	156318.1	N			
	$f_v =$	0.0667	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	99999	N			
	$f_d =$	1.1111	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	99999	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	199998	N	>	15139.86	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 10 esterna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.34886				
	$T =$	13626.54	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	156318.1	N			
	$f_v =$	0.0667	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	99999	N			
	$f_d =$	1.1111	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	99999	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	199998	N	>	13626.54	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 11 fronte

intervento con tirante

$$a0 = 0.2825 \quad \text{g}$$

$$a0 = 0.371545$$

$$T = 136306.1 \quad \text{N}$$

verifiche tirante $f_i = 30 \quad \text{AISI 304 INOX} \quad f_y = 240 \quad \text{Mpa}$

snervamento del tirante

$$T' = 169646 \quad \text{N}$$

punzonamento della muratura

$$T'' = 76817 \quad \text{N}$$

$$f_v = 0.0311 \quad \text{Mpa}$$

schacciamento della muratura

$$T''' = 129996 \quad \text{N}$$

$$f_d = 1.4444 \quad \text{Mpa}$$

Minimo valore ottenuto

$$T = 76817 \quad \text{N}$$

si scelgono 2 tiranti per piano

$$T = 153634 \quad \text{N} \quad > \quad 136306.1 \quad \text{N}$$

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 12 fronte

intervento con tirante

$$a0 = 0.2825 \quad \text{g}$$

$$a0 = 0.37084$$

$$T = 137165.8 \quad \text{N}$$

verifiche tirante $f_i = 30 \quad \text{AISI 304 INOX} \quad f_y = 240 \quad \text{Mpa}$

snervamento del tirante

$$T' = 169646 \quad \text{N}$$

punzonamento della muratura

$$T'' = 76817 \quad \text{N}$$

$$f_v = 0.0311 \quad \text{Mpa}$$

schacciamento della muratura

$$T''' = 129996 \quad \text{N}$$

$$f_d = 1.4444 \quad \text{Mpa}$$

Minimo valore ottenuto

$$T = 76817 \quad \text{N}$$

si scelgono 2 tiranti per piano

$$T = 153634 \quad \text{N} \quad > \quad 137165.8 \quad \text{N}$$

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 13 fronte

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.37084				
	$T =$	67941.95	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	76817	N			
	$f_v =$	0.0311	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	129996	N			
	$f_d =$	1.4444	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	76817	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	153634	N	$>$	67941.95	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 14 fronte

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.369599				
	$T =$	87074.11	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	164749	N			
	$f_v =$	0.0667	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	99999	N			
	$f_d =$	1.1111	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	99999	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	199998	N	$>$	87074.11	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 15 fronte

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.347499				
	$T =$	-454.632	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	164749	N			
	$f_v =$	0.0667	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	99999	N			
	$f_d =$	1.1111	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	99999	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	199998	N	$>$	-454.632	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 16 fronte

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.346651				
	$T =$	-1192.38	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	164749	N			
	$f_v =$	0.0667	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	99999	N			
	$f_d =$	1.1111	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	99999	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	199998	N	$>$	-1192.38	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 16 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.344617				
	$T =$	3939.172	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	74704	N			
	$f_v =$	0.0667	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	99999	N			
	$f_d =$	1.1111	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	74704	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	149408	N	$>$	3939.172	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 15 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.34572				
	$T =$	2597.002	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	74704	N			
	$f_v =$	0.0667	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	99999	N			
	$f_d =$	1.1111	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	74704	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	149408	N	$>$	2597.002	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 13 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.366086				
	$T =$	41403.47	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	132306.1	N			
	$f_v =$	0.0667	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	99999	N			
	$f_d =$	1.1111	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	99999	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	199998	N	$>$	41403.47	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 12 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.366086				
	$T =$	83588.14	N			
verifiche tirante	$f_i =$	30	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	169646	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	132306.1	N			
	$f_v =$	0.0667	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	99999	N			
	$f_d =$	1.1111	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	99999	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	199998	N	$>$	83588.14	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 11 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.367029				
	$T =$	82723.58	N			
verifiche tirante	$f_i =$	30	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	snervamento del tirante					
	$T' =$	169646	N			
	punzonamento della muratura					
	$T'' =$	132306.1	N			
	$f_v =$	0.0667	Mpa			
	schiacciamento della muratura					
	$T''' =$	99999	N			
	$f_d =$	1.1111	Mpa			
	Minimo valore ottenuto					
	$T =$	99999	N			
	si scelgono 2 tiranti per piano					
	$T =$	199998	N	$>$	82723.58	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 9 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.355289				
	$T =$	16836.7	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	snervamento del tirante					
	$T' =$	108573.4	N			
	punzonamento della muratura					
	$T'' =$	58157	N			
	$f_v =$	0.0311	Mpa			
	schiacciamento della muratura					
	$T''' =$	129996	N			
	$f_d =$	1.4444	Mpa			
	Minimo valore ottenuto					
	$T =$	58157	N			
	si scelgono 2 tiranti per piano					
	$T =$	116314	N	$>$	16836.7	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 8 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.354645				
	$T =$	22251.14	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	51389.64	N			
	$f_v =$	0.0311	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	129996	N			
	$f_d =$	1.4444	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	51389.64	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	102779.3	N	$>$	22251.14	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 5 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.354645				
	$T =$	20371.99	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	51389.64	N			
	$f_v =$	0.0311	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	129996	N			
	$f_d =$	1.4444	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	51389.64	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	102779.3	N	$>$	20371.99	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 5 dietro

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.357538				
	$T =$	24707.36	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	snervamento del tirante					
	$T' =$	108573.4	N			
	punzonamento della muratura					
	$T'' =$	37296	N			
	$f_v =$	0.0333	Mpa			
	schiacciamento della muratura					
	$T''' =$	119997	N			
	$f_d =$	1.3333	Mpa			
	Minimo valore ottenuto					
	$T =$	37296	N			
	si scelgono 2 tiranti per piano					
	$T =$	74592	N	$>$	24707.36	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 3 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.357018				
	$T =$	13260.45	N			
verifiche tirante	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	snervamento del tirante					
	$T' =$	108573.4	N			
	punzonamento della muratura					
	$T'' =$	41811.48	N			
	$f_v =$	0.0333	Mpa			
	schiacciamento della muratura					
	$T''' =$	119997	N			
	$f_d =$	1.3333	Mpa			
	Minimo valore ottenuto					
	$T =$	41811.48	N			
	si scelgono 2 tiranti per piano					
	$T =$	83622.96	N	$>$	13260.45	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 2 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.357018				
	$T =$	10307.12	N			
<i>verifiche tirante</i>	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	41811.48	N			
	$f_v =$	0.0333	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	119997	N			
	$f_d =$	1.3333	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	41811.48	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	83622.96	N	$>$	10307.12	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 1 interna

intervento con tirante

	$a_0 =$	0.2825	g			
	$a_0 =$	0.355903				
	$T =$	10751.96	N			
<i>verifiche tirante</i>	$f_i =$	24	AISI 304 INOX	$f_y =$	240	Mpa
	<i>snervamento del tirante</i>					
	$T' =$	108573.4	N			
	<i>punzonamento della muratura</i>					
	$T'' =$	46575.36	N			
	$f_v =$	0.0311	Mpa			
	<i>schacciamento della muratura</i>					
	$T''' =$	129996	N			
	$f_d =$	1.4444	Mpa			
	<i>Minimo valore ottenuto</i>					
	$T =$	46575.36	N			
	<i>si scelgono 2 tiranti per piano</i>					
	$T =$	93150.72	N	$>$	10751.96	N

Ribaltamento semplice di parete alta

parete area 1 dietro

intervento con tirante

$$a0 = 0.2825 \quad \text{g}$$

$$a0 = 0.361125$$

$$T = 25355.29 \quad \text{N}$$

verifiche tirante $f_i = 24$ **AISI 304 INOX** $f_y = 240$ Mpa

snervamento del tirante

$$T' = 108573.4 \quad \text{N}$$

punzonamento della muratura

$$T'' = 41985 \quad \text{N}$$

$$f_v = 0.0311 \quad \text{Mpa}$$

schacciamento della muratura

$$T''' = 129996 \quad \text{N}$$

$$f_d = 1.4444 \quad \text{Mpa}$$

Minimo valore ottenuto

$$T = 41985 \quad \text{N}$$

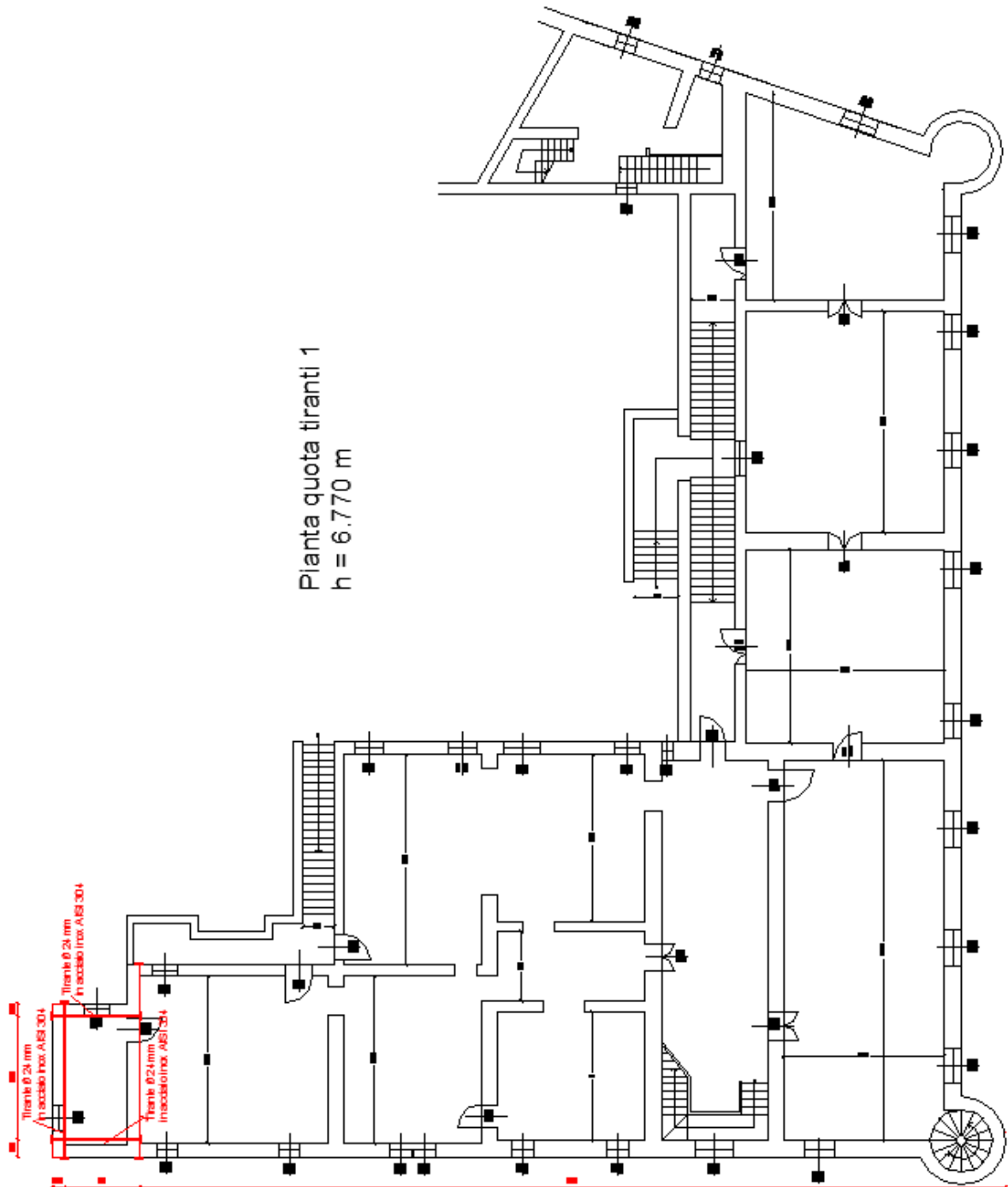
si scelgono 2 tiranti per piano

$$T = 83970 \quad \text{N} \quad > \quad 25355.29 \quad \text{N}$$

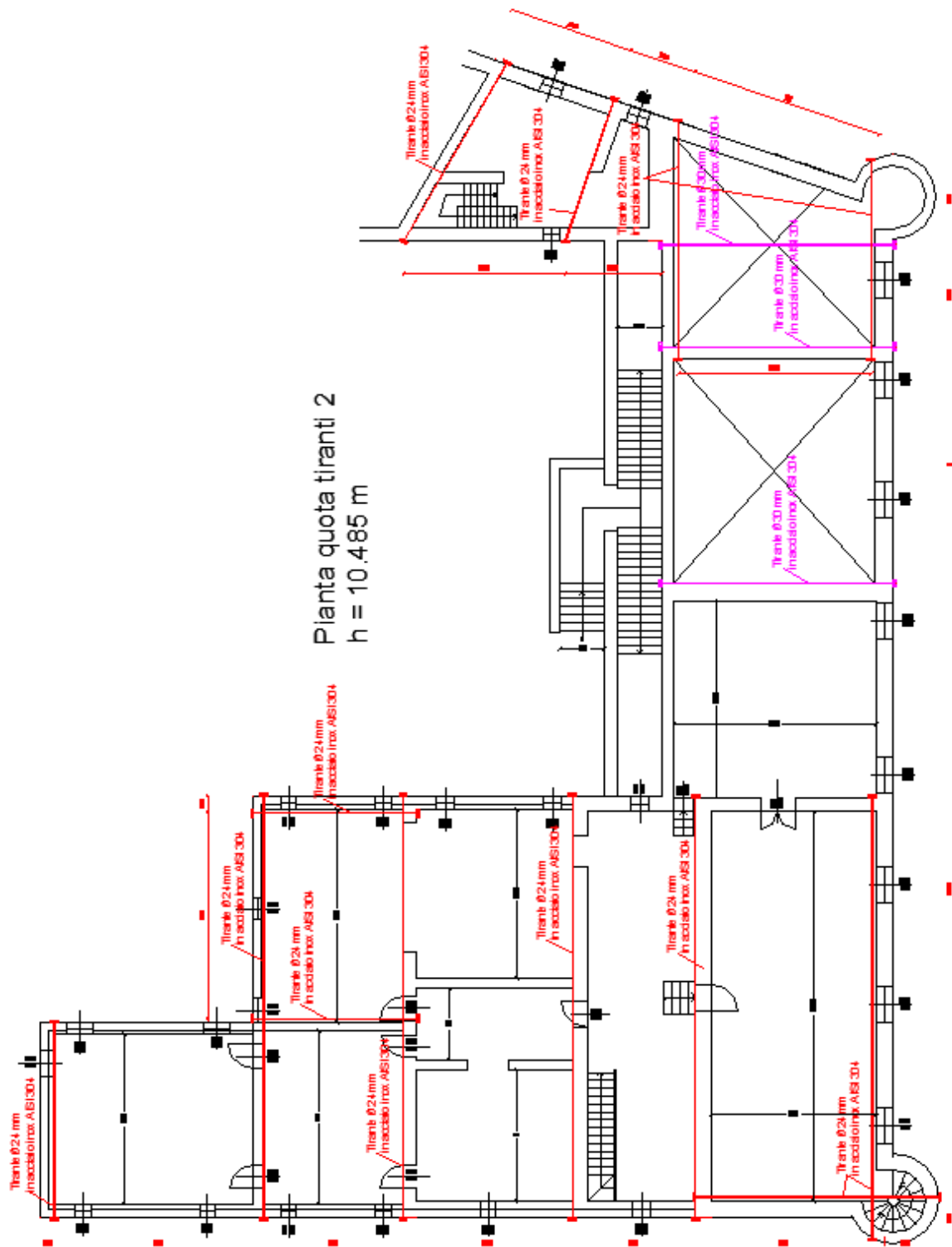
Con l'intervento tutte le precedenti verifiche riportate nel capitolo precedente dei vari cinematismi risultano soddisfatte.

La messa in opera dei tiranti deve rispettare alcuni accorgimenti:

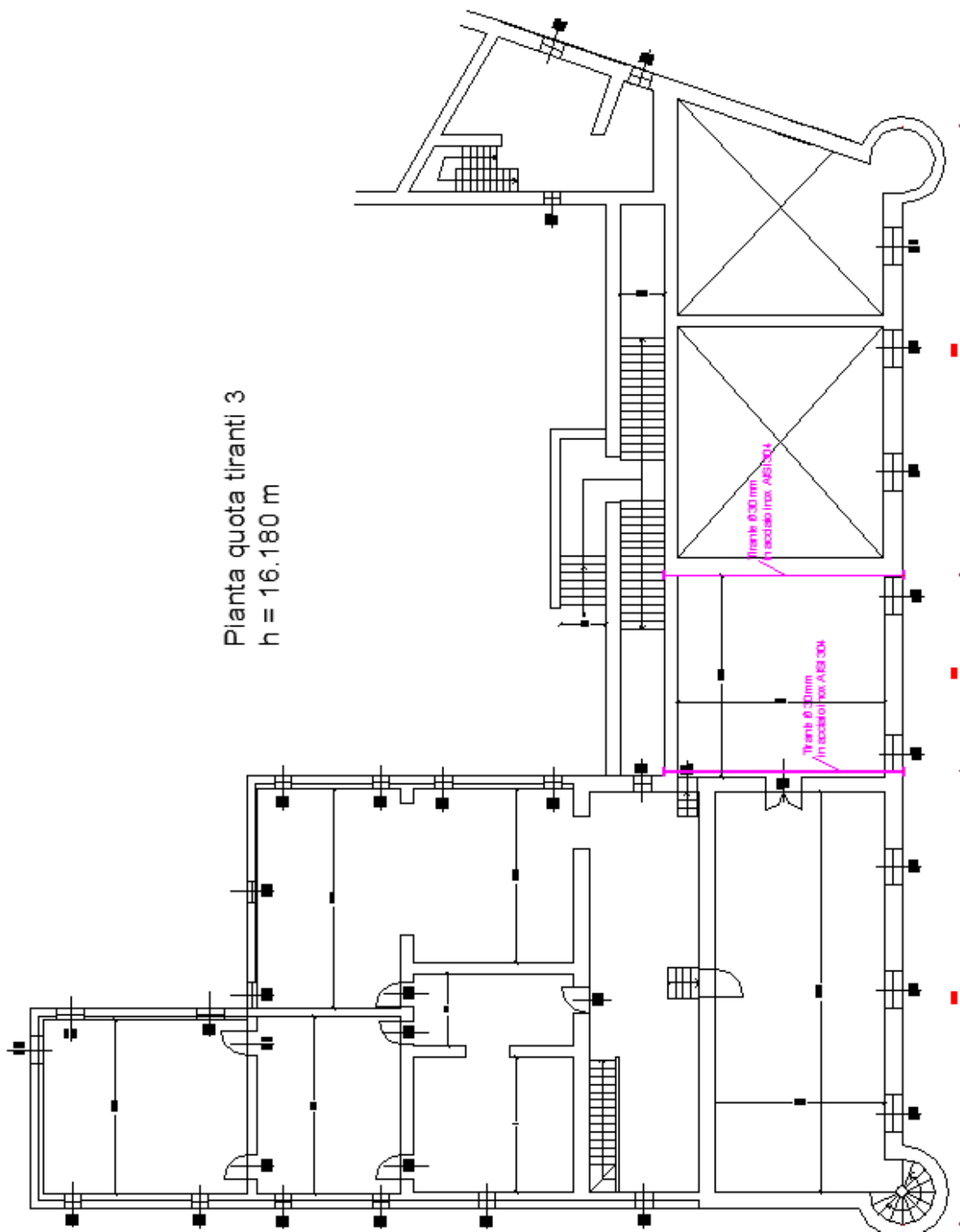
- la superficie muraria che deve portare i capichiavi dei tiranti deve essere opportunamente rinforzata con infiltrazioni cementizie e/o con la creazione di una spessa e larga piastra armata di opportune dimensioni, incassata e ammorsata all'interno del muro, la piastra armata serve a meglio distribuire e ripartire la compressione esercitata dai tiranti sul muro su cui insiste;
- esecuzione della traccia e scasso del muro che deve ospitare il tirante, si deve tenere presente che i tiranti che corrono sui muri più lunghi devono essere applicati leggermente al disopra dei tiranti che passano sui muri trasversali più corti;
- sistemazione degli ancoraggi a piastra metallica;
- allettamento e riempimento con malta cementizia dell'area sottostante la piastra d'ancoraggio al fine di fissare la piastra stessa, nel caso che la malta dovesse venire a contatto con i tiranti si provvederà ad assicurare una giusta protezione della catena con un tubo di plastica che verrà poi tolto dopo 3 – 4 ore dopo il getto;
- preparazione dei fori entro cui passerà il tirante, i fori devono essere eseguiti con trapano a rotazione per evitare dannosi sollecitazioni percussive prodotte dai trapani battenti;
- messa in sede dei tiranti dopo essere stati tagliati a giusta misura, pari alla lunghezza del muro su cui dovrà correre più lo spessore dei muri che dovrà attraversare più 30 cm complessivi per l'ancoraggio, e provvisti di filettatura alle estremità;
- messa in tensione del tirante dopo che la malta ha fatto presa, in media dopo 3 o 4 giorni;
- riempimento, con iniezioni di malta cementizia, dei fori e delle aperture attraverso cui passano i tiranti;
- applicazione di vernici protettive di tipo epossidico a tutte le parti metalliche rimaste a vista.



Planta quota tiranti 1
h = 6.770 m



Pianta quota tiranti 2
h = 10,485 m



Pianta quota tiranti 3
h = 16.180 m

9.11.3 Analisi cinematica non lineare

Si verifica il comportamento delle pareti allo stato di fatto.

parete area 1 esterna	dk0 = 302.9592409 mm d0* = 362.489361 mm du* = 144.9957444 mm as* = 0.381992907 m/s2 Ts = 3.871059505 s Se (Ts)= 867.5019441 mm/s2 Sde (Ts) = 329.2838375 mm terra T1 = 0.179083438 s Sde = 61.05059832 mm quota	parete area 2 esterna	dk0 = 340.5608 mm d0* = 432.6212 mm du* = 173.0485 mm as* = 0.237264 m/s2 Ts = 5.365968 s Se (Ts)= 867.5019 mm/s2 Sde (Ts) = 632.7131 mm terra T1 = 0.264018 s Sde = 123.9732 mm quota
parete area 3 esterna	dk0 = 324.4673 mm d0* = 405.8065197 mm du* = 162.3226079 mm as* = 0.201474198 m/s2 Ts = 5.639747446 s Se (Ts)= 867.5019441 mm/s2 Sde (Ts) = 698.9241267 mm terra T1 = 0.267241859 s Sde = 134.6266295 mm quota	parete area 4 esterna	dk0 = 271.2952 mm d0* = 352.4126 mm du* = 140.9651 mm as* = 0.153324 m/s2 Ts = 6.024634 s Se (Ts)= 867.5019 mm/s2 Sde (Ts) = 797.5761 mm terra T1 = 0.282751 s Sde = 151.3874 mm quota
parete area 6 esterna	dk0 = 314.5154514 mm d0* = 407.9795619 mm du* = 163.1918248 mm as* = 0.086740775 m/s2 Ts = 8.618216846 s Se (Ts)= 867.5019441 mm/s2 Sde (Ts) = 1632.095452 mm terra T1 = 0.287578227 s Sde = 220.8092491 mm quota	parete area 9 esterna	dk0 = 400.813 mm d0* = 482.2041 mm du* = 192.8816 mm as* = 0.294845 m/s2 Ts = 5.081928 s Se (Ts)= 867.5019 mm/s2 Sde (Ts) = 567.5024 mm terra T1 = 0.287578 s Sde = 134.2287 mm quota

parete area 10 esterna	dk0 = 316.3698 mm d0* = 408.9347 mm du* = 163.5739 mm as* = 0.324112 m/s2 Ts = 4.463643 s Se (Ts)= 867.5019 mm/s2 Sde (Ts) = 437.8141 mm terra T1 = 0.300975 s Sde = 121.2962 mm quota	parete area 10 fronte	dk0 = 369.845 mm d0* = 463.4419 mm du* = 185.3768 mm as* = 0.261694 m/s2 Ts = 5.288233 s Se (Ts)= 867.5019 mm/s2 Sde (Ts) = 614.5141 mm terra T1 = 0.300975 s Sde = 146.0025 mm quota
-------------------------------	---	------------------------------	--

<i>parete area 11 fronte</i>				<i>parete area 12 fronte</i>			
dk0 =	322.7951	mm		dk0 =	395.3235	mm	
d0* =	414.838	mm		d0* =	481.1702	mm	
du* =	165.9352	mm		du* =	192.4681	mm	
as* =	0.187956	m/s2		as* =	0.235878	m/s2	
Ts =	5.903661	s		Ts =	5.675647	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	765.8673	mm	terra	Sde (Ts) =	707.8504	mm	terra
T1 =	0.416019	s		T1 =	0.298498	s	
Sde =	223.0195	mm	quota	Sde =	151.7574	mm	quota
<i>parete area 13 fronte</i>				<i>parete area 14 fronte</i>			
dk0 =	307.6821	mm		dk0 =	340.2785	mm	
d0* =	382.6937	mm		d0* =	439.0471	mm	
du* =	153.0775	mm		du* =	175.6188	mm	
as* =	0.194613	m/s2		as* =	0.258156	m/s2	
Ts =	5.572488	s		Ts =	5.182319	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	682.3528	mm	terra	Sde (Ts) =	590.1454	mm	terra
T1 =	0.342909	s		T1 =	0.342909	s	
Sde =	176.0831	mm	quota	Sde =	151.4518	mm	quota

<i>parete area 15 fronte</i>				<i>parete area 16 fronte</i>			
dk0 =	329.915	mm		dk0 =	363.7948	mm	
d0* =	431.936	mm		d0* =	450.3807	mm	
du* =	172.7744	mm		du* =	180.1523	mm	
as* =	0.142413	m/s2		as* =	0.207359	m/s2	
Ts =	6.920622	s		Ts =	5.856503	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	1052.449	mm	terra	Sde (Ts) =	753.6808	mm	terra
T1 =	0.300975	s		T1 =	0.300975	s	
Sde =	186.5126	mm	quota	Sde =	174.3441	mm	quota
<i>parete area 16 dietro</i>				<i>parete area 16 interna</i>			
dk0 =	221.599	mm		dk0 =	239.4806	mm	
d0* =	291.1444	mm		d0* =	293.4441	mm	
du* =	116.4578	mm		du* =	117.3776	mm	
as* =	0.247027	m/s2		as* =	0.049956	m/s2	
Ts =	4.314119	s		Ts =	9.631125	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	408.9733	mm	terra	Sde (Ts) =	2038.284	mm	terra
T1 =	0.300975	s		T1 =	0.300975	s	
Sde =	110.362	mm	quota	Sde =	287.4051	mm	quota

<i>parete area 15 interna</i>				<i>parete area 13 interna</i>			
dk0 =	211.2543	mm		dk0 =	273.7687	mm	
d0* =	281.2946	mm		d0* =	346.4819	mm	
du* =	112.5178	mm		du* =	138.5927	mm	
as* =	0.066647	m/s2		as* =	0.119331	m/s2	
Ts =	8.163919	s		Ts =	6.771314	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	1464.563	mm	terra	Sde (Ts) =	1007.527	mm	terra
T1 =	0.300975	s		T1 =	0.342909	s	
Sde =	212.2464	mm	quota	Sde =	208.2313	mm	quota

<i>parete area 12 interna</i>				<i>parete area 11 interna</i>			
dk0 =	344.5107	mm		dk0 =	283.108	mm	
d0* =	419.9147	mm		d0* =	363.9018	mm	
du* =	167.9659	mm		du* =	145.5607	mm	
as* =	0.138271	m/s2		as* =	0.141528	m/s2	
Ts =	6.925073	s		Ts =	6.372078	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	1053.803	mm	terra	Sde (Ts) =	892.2219	mm	terra
T1 =	0.298498	s		T1 =	0.416019	s	
Sde =	184.3343	mm	quota	Sde =	239.8178	mm	quota
<i>parete area 9 interna</i>				<i>parete area 8 interna</i>			
dk0 =	411.677	mm		dk0 =	299.407	mm	
d0* =	491.2037	mm		d0* =	369.3176	mm	
du* =	196.4815	mm		du* =	147.727	mm	
as* =	0.30727	m/s2		as* =	0.155602	m/s2	
Ts =	5.024362	s		Ts =	6.122133	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	554.7184	mm	terra	Sde (Ts) =	823.5998	mm	terra
T1 =	0.287578	s		T1 =	0.287578	s	
Sde =	134.6826	mm	quota	Sde =	163.532	mm	quota
<i>parete area 5 interna</i>				<i>parete area 5 dietro</i>			
dk0 =	250.1306	mm		dk0 =	226.6826	mm	
d0* =	307.8687	mm		d0* =	274.4586	mm	
du* =	123.1475	mm		du* =	109.7834	mm	
as* =	0.144556	m/s2		as* =	0.11522	m/s2	
Ts =	5.799295	s		Ts =	6.133147	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	739.0283	mm	terra	Sde (Ts) =	826.566	mm	terra
T1 =	0.282751	s		T1 =	0.282751	s	
Sde =	158.1848	mm	quota	Sde =	162.9183	mm	quota

<i>parete area 3 interna</i>				<i>parete area 2 interna</i>			
dk0 =	256.6931	mm		dk0 =	256.7316	mm	
d0* =	314.4289	mm		d0* =	315.6755	mm	
du* =	125.7715	mm		du* =	126.2702	mm	
as* =	0.110835	m/s ²		as* =	0.115687	m/s ²	
Ts =	6.693182	s		Ts =	6.564297	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s ²		Se (Ts)=	867.5019	mm/s ²	
Sde (Ts) =	984.4099	mm	terra	Sde (Ts) =	946.863	mm	terra
T1 =	0.267242	s		T1 =	0.264018	s	
Sde =	163.7166	mm	quota	Sde =	157.5938	mm	quota
<i>parete area 1 interna</i>				<i>parete area 1 dietro</i>			
dk0 =	325.2232	mm		dk0 =	254.6421	mm	
d0* =	378.1504	mm		d0* =	310.2007	mm	
du* =	151.2602	mm		du* =	124.0803	mm	
as* =	0.4799	m/s ²		as* =	0.420499	m/s ²	
Ts =	3.527497	s		Ts =	3.413098	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s ²		Se (Ts)=	867.5019	mm/s ²	
Sde (Ts) =	273.4286	mm	terra	Sde (Ts) =	255.9813	mm	terra
T1 =	0.179083	s		T1 =	0.179083	s	
Sde =	53.17664	mm	quota	Sde =	56.32382	mm	quota

Come si osserva dalle tabelle riassuntive l'analisi tutte le pareti non superano la verifica.

Si verifica ora il comportamento delle pareti corretto dall'inserimento dei tiranti in copertura mediante l'analisi cinematica non lineare.

parete area 1 esterna	dk0 = 2244.959524 mm			parete area 2 esterna	dk0 = 3758.464 mm		
	d0* = 2686.083914 mm				d0* = 4774.452 mm		
	du* = 1074.433565 mm				du* = 1909.781 mm		
	as* = 6.772684847 m/s2				as* = 7.605224 m/s2		
	Ts = 2.502587197 s				Ts = 3.148587 s		
	Se (Ts)= 867.5019441 mm/s2				Se (Ts)= 867.5019 mm/s2		
	Sde (Ts) = 137.6224094 mm	terra			Sde (Ts) = 217.8422 mm	terra	
	T1 = 0.179083438 s				T1 = 0.264018 s		
	Sde = 40.53075543 mm	quota			Sde = 75.46077 mm	quota	
parete area 3 esterna	dk0 = 3632.785108 mm			parete area 4 esterna	dk0 = 4236.469 mm		
	d0* = 4543.471349 mm				d0* = 5503.176 mm		
	du* = 1817.388539 mm				du* = 2201.271 mm		
	as* = 6.179305538 m/s2				as* = 8.044675 m/s2		
	Ts = 3.407484791 s				Ts = 3.286717 s		
	Se (Ts)= 867.5019441 mm/s2				Se (Ts)= 867.5019 mm/s2		
	Sde (Ts) = 255.1400124 mm	terra			Sde (Ts) = 237.3752 mm	terra	
	T1 = 0.267241859 s				T1 = 0.282751 s		
	Sde = 84.0464008 mm	quota			Sde = 86.07755 mm	quota	
parete area 6 esterna	dk0 = 4131.540408 mm			parete area 9 esterna	dk0 = 1674.187 mm		
	d0* = 5359.304409 mm				d0* = 2014.156 mm		
	du* = 2143.721764 mm				du* = 805.6625 mm		
	as* = 6.669639186 m/s2				as* = 1.633963 m/s2		
	Ts = 3.56215577 s				Ts = 4.411998 s		
	Se (Ts)= 867.5019441 mm/s2				Se (Ts)= 867.5019 mm/s2		
	Sde (Ts) = 278.8280963 mm	terra			Sde (Ts) = 427.7414 mm	terra	
	T1 = 0.287578227 s				T1 = 0.287578 s		
	Sde = 95.91174518 mm	quota			Sde = 117.5921 mm	quota	

parete area 10 esterna	dk0 = 4290.914 mm			parete area 10 fronte	dk0 = 2301.157 mm		
	d0* = 5546.367 mm				d0* = 2883.512 mm		
	du* = 2218.547 mm				du* = 1153.405 mm		
	as* = 6.608633 m/s2				as* = 2.314133 m/s2		
	Ts = 3.640477 s				Ts = 4.435847 s		
	Se (Ts)= 867.5019 mm/s2				Se (Ts)= 867.5019 mm/s2		
	Sde (Ts) = 291.2242 mm	terra			Sde (Ts) = 432.3783 mm	terra	
	T1 = 0.300975 s				T1 = 0.300975 s		
	Sde = 100.5507 mm	quota			Sde = 123.8885 mm	quota	

<i>parete area 11 fronte</i>				<i>parete area 12 fronte</i>			
dk0 =	4459.098	mm		dk0 =	2723.625	mm	
d0* =	5730.581	mm		d0* =	3315.075	mm	
du* =	2292.233	mm		du* =	1326.03	mm	
as* =	3.355041	m/s2		as* =	2.868449	m/s2	
Ts =	5.193502	s		Ts =	4.272017	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	592.6951	mm	terra	Sde (Ts) =	401.0298	mm	terra
T1 =	0.416019	s		T1 =	0.298498	s	
Sde =	198.2213	mm	quota	Sde =	116.323	mm	quota
<i>parete area 13 fronte</i>				<i>parete area 14 fronte</i>			
dk0 =	4295.582	mm		dk0 =	3877.416	mm	
d0* =	5342.827	mm		d0* =	5002.867	mm	
du* =	2137.131	mm		du* =	2001.147	mm	
as* =	4.278637	m/s2		as* =	4.302127	m/s2	
Ts =	4.440611	s		Ts =	4.285265	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	433.3074	mm	terra	Sde (Ts) =	403.521	mm	terra
T1 =	0.342909	s		T1 =	0.342909	s	
Sde =	142.6727	mm	quota	Sde =	127.0976	mm	quota

<i>parete area 15 fronte</i>				<i>parete area 16 fronte</i>			
dk0 =	5285.537	mm		dk0 =	4463.6	mm	
d0* =	6920.005	mm		d0* =	5525.97	mm	
du* =	2768.002	mm		du* =	2210.388	mm	
as* =	15.24722	m/s2		as* =	5.463113	m/s2	
Ts =	2.677119	s		Ts =	3.996631	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	157.4875	mm	terra	Sde (Ts) =	350.9933	mm	terra
T1 =	0.300975	s		T1 =	0.300975	s	
Sde =	77.67885	mm	quota	Sde =	122.0164	mm	quota
<i>parete area 16 dietro</i>				<i>parete area 16 interna</i>			
dk0 =	3085.319	mm		dk0 =	4206.217	mm	
d0* =	4053.598	mm		d0* =	5154.029	mm	
du* =	1621.439	mm		du* =	2061.611	mm	
as* =	4.158048	m/s2		as* =	4.692065	m/s2	
Ts =	3.923606	s		Ts =	4.164868	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	338.2841	mm	terra	Sde (Ts) =	381.1652	mm	terra
T1 =	0.300975	s		T1 =	0.300975	s	
Sde =	101.1175	mm	quota	Sde =	129.714	mm	quota

<i>parete area 15 interna</i>				<i>parete area 13 interna</i>			
dk0 =	4838.839	mm		dk0 =	5275.082	mm	
d0* =	6443.132	mm		d0* =	6676.147	mm	
du* =	2577.253	mm		du* =	2670.459	mm	
as* =	11.01255	m/s2		as* =	6.93901	m/s2	
Ts =	3.039585	s		Ts =	3.89784	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	203.0203	mm	terra	Sde (Ts) =	333.8557	mm	terra
T1 =	0.300975	s		T1 =	0.342909	s	
Sde =	84.40537	mm	quota	Sde =	124.7111	mm	quota

<i>parete area 12 interna</i>				<i>parete area 11 interna</i>			
dk0 =	4552.439	mm		dk0 =	5433.646	mm	
d0* =	5548.844	mm		d0* =	6984.309	mm	
du* =	2219.538	mm		du* =	2793.724	mm	
as* =	7.530467	m/s2		as* =	4.518256	m/s2	
Ts =	3.411145	s		Ts =	4.940674	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	255.6884	mm	terra	Sde (Ts) =	536.393	mm	terra
T1 =	0.298498	s		T1 =	0.416019	s	
Sde =	95.16242	mm	quota	Sde =	189.7378	mm	quota
<i>parete area 9 interna</i>				<i>parete area 8 interna</i>			
dk0 =	2509.449	mm		dk0 =	2882.231	mm	
d0* =	2994.218	mm		d0* =	3555.223	mm	
du* =	1197.687	mm		du* =	1422.089	mm	
as* =	2.610347	m/s2		as* =	3.202011	m/s2	
Ts =	4.256008	s		Ts =	4.187279	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	398.0298	mm	terra	Sde (Ts) =	385.2783	mm	terra
T1 =	0.287578	s		T1 =	0.287578	s	
Sde =	115.3351	mm	quota	Sde =	114.4243	mm	quota
<i>parete area 5 interna</i>				<i>parete area 5 dietro</i>			
dk0 =	3750.194	mm		dk0 =	2768.795	mm	
d0* =	4615.86	mm		d0* =	3352.35	mm	
du* =	1846.344	mm		du* =	1340.94	mm	
as* =	4.742009	m/s2		as* =	3.045217	m/s2	
Ts =	3.920622	s		Ts =	4.169418	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	337.7697	mm	terra	Sde (Ts) =	381.9985	mm	terra
T1 =	0.282751	s		T1 =	0.282751	s	
Sde =	109.601	mm	quota	Sde =	113.3035	mm	quota

<i>parete area 3 interna</i>				<i>parete area 2 interna</i>			
dk0 =	2779.632	mm		dk0 =	2972.335	mm	
d0* =	3404.831	mm		d0* =	3654.764	mm	
du* =	1361.932	mm		du* =	1461.906	mm	
as* =	3.517593	m/s2		as* =	4.068515	m/s2	
Ts =	3.909622	s		Ts =	3.766358	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	335.877	mm	terra	Sde (Ts) =	311.7122	mm	terra
T1 =	0.267242	s		T1 =	0.264018	s	
Sde =	98.51327	mm	quota	Sde =	93.29215	mm	quota
<i>parete area 1 interna</i>				<i>parete area 1 dietro</i>			
dk0 =	1924.685	mm		dk0 =	2011.133	mm	
d0* =	2237.911	mm		d0* =	2449.929	mm	
du* =	895.1644	mm		du* =	979.9716	mm	
as* =	5.142185	m/s2		as* =	4.883025	m/s2	
Ts =	2.621546	s		Ts =	2.814765	s	
Se (Ts)=	867.5019	mm/s2		Se (Ts)=	867.5019	mm/s2	
Sde (Ts) =	151.0169	mm	terra	Sde (Ts) =	174.0985	mm	terra
T1 =	0.179083	s		T1 =	0.179083	s	
Sde =	40.25472	mm	quota	Sde =	46.99662	mm	quota

Tutte le verifiche risultano ampiamente superate.

9.12 Indice di sicurezza sismica e indice di rischio

Per i beni di interesse culturale esposti ad azioni sismiche, fermo restando che è in ogni caso possibile limitarsi a interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza (comma 4 dell'art. 29 del D.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio"; punto 8.4 delle NTC), appare comunque opportuno definire un livello di sicurezza sismica di riferimento, differenziato in funzione delle caratteristiche proprie dei manufatti e del loro uso, e quindi delle conseguenze più o meno gravi di un loro danneggiamento per effetto di un evento sismico.

Per quanto riguarda la definizione di vita nominale (punto 2.4.1 delle NTC), questo concetto si applica bene al miglioramento sismico dei beni culturali, la cui conservazione è stata garantita in passato attraverso il ricorso a una periodica revisione (monitoraggio) e manutenzione. Infatti, in questo modo la durabilità dei materiali storici può essere protratta nel tempo senza che si debba necessariamente procedere alla sostituzione di componenti, realizzando solo le necessarie integrazioni e riparazioni (prima che si verifichino compromissioni significative dovute all'insorgere di un irreversibile degrado per abbandono).

In presenza di manufatti emergenti per la storia del territorio la necessità di realizzare interventi di conservazione efficaci e durevoli è in genere maggiore, sia per scongiurare il rischio di reiterare operazioni non sempre totalmente reversibili sia per limitare la perdita di materiale originale o l'immissione di tecnologie e prodotti nuovi, la cui compatibilità e durabilità vanno sempre accertati.

La vita nominale di un bene culturale dovrebbe essere molto lunga, volendone garantire la conservazione nel tempo anche nei riguardi di azioni sismiche caratterizzate da un elevato periodo di ritorno; tuttavia, ciò porterebbe a una verifica sismica gravosa e nel caso in cui gli interventi richiesti dovessero risultare troppo invasivi nei riguardi dell'opera, coerentemente con la possibilità di limitarsi a interventi di miglioramento, il progetto potrà fare riferimento a una vita nominale più breve. Questa vita nominale ridotta (anche inferiore a 50 anni) consentirà comunque di certificare la sicurezza di un intervento meno invasivo, in quanto questo tutelerà la costruzione in termini probabilistici per un numero minore di anni.

Ulteriori e più pesanti interventi potranno in tal modo essere posticipati nel tempo; al termine della vita nominale una nuova verifica dovrà essere eseguita, e conseguentemente nuovi interventi potranno risultare necessari, ma sarà a quel punto possibile avvalersi dei progressi conoscitivi e tecnologici, in termini di conoscenza della pericolosità sismica, capacità di valutare la vulnerabilità della costruzione e disponibilità di tecniche di intervento meno invasive.

Per ciascun bene culturale tutelato, in relazione al periodo di riferimento V_R e allo stato limite considerato, cui è associata una probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento, può essere valutato il periodo di ritorno di riferimento dell'azione sismica T_R :

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Per la verifica nei confronti dello SLV si potrà fare riferimento ad azioni sismiche caratterizzate da probabilità di eccedenza del 10% su un periodo di riferimento $V_R = V_N \cdot C_U$, ovvero con un periodo di ritorno di riferimento $T_{R,SLV}$ calcolato con la precedente espressione.

Per ciascun stato limite, i valori di riferimento dell'azione sismica possono essere confrontati con quelli per i quali viene effettivamente raggiunto quello stato limite, al fine di quantificare il livello di sicurezza attuale o quello raggiungibile con un determinato intervento di miglioramento sismico.

In particolare è possibile definire un indice di sicurezza sismica, dato dal rapporto tra il periodo di ritorno T_{SL} dell'azione sismica che porta al generico stato limite (SL = SLV, SLD, SLA) e il corrispondente periodo di ritorno di riferimento $T_{R,SL}$ calcolato con la precedente espressione.

Particolarmente significativo è l'indice di sicurezza sismica riferito allo SLV:

$$I_{S,SLV} = \frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}}$$

Un valore di $I_{S,SLV}$ maggiore o uguale a uno significa che il manufatto è in condizioni di sicurezza rispetto ai valori assunti come riferimento per la vita nominale e per quel particolare uso; valori inferiori a uno mettono in evidenza situazione che meritano attenzione.

Coerentemente con il fatto che per un bene culturale non è prescritto il raggiungimento di un prefissato livello di sicurezza (le NTC assumono che per le opere ordinarie l'adeguamento sismico sia conseguito assumendo $V_N \geq 50$ anni), garantire l'intervento per una vita nominale minore significa accettare di dover provvedere a una nuova verifica entro tale termine, oltre a prevedere un idoneo programma di monitoraggio e, nei casi di edifici con funzione strategica o sociale, eventuali provvedimenti per garantire la sicurezza (limitazioni dell'accessibilità, sistemi di protezione per gli occupanti, ecc.). secondo tale principio, valori della vita nominale maggiori di 20 anni possono comunque considerarsi ammissibili per un manufatto tutelato.

Per la progettazione di opere provvisorie si può invece assumere un valore di vita nominale pari a 10 anni (punto 2.4.1 delle NTC).

Analogamente all'indice di sicurezza, è possibile definire un fattore di accelerazione, definito dal rapporto tra l'accelerazione al suolo che porta al raggiungimento dello SLV e quella corrispondente al periodo di ritorno di riferimento, entrambe riferite alla categoria di sottosuolo A:

$$f_{a,SLV} = \frac{a_{SLV}}{a_{g,SLV}}$$

Tale fattore considera solo uno dei parametri che definiscono l'azione sismica spettrale, ma ha il pregio di fornire un'indicazione quantitativa del deficit in termini di "resistenza" (tenendo eventualmente conto anche della duttilità).

Definizione dell'indice di rischio come rapporto tra capacità / domanda

$$R_{CD} = \left(\frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}} \right)^{0.41}$$

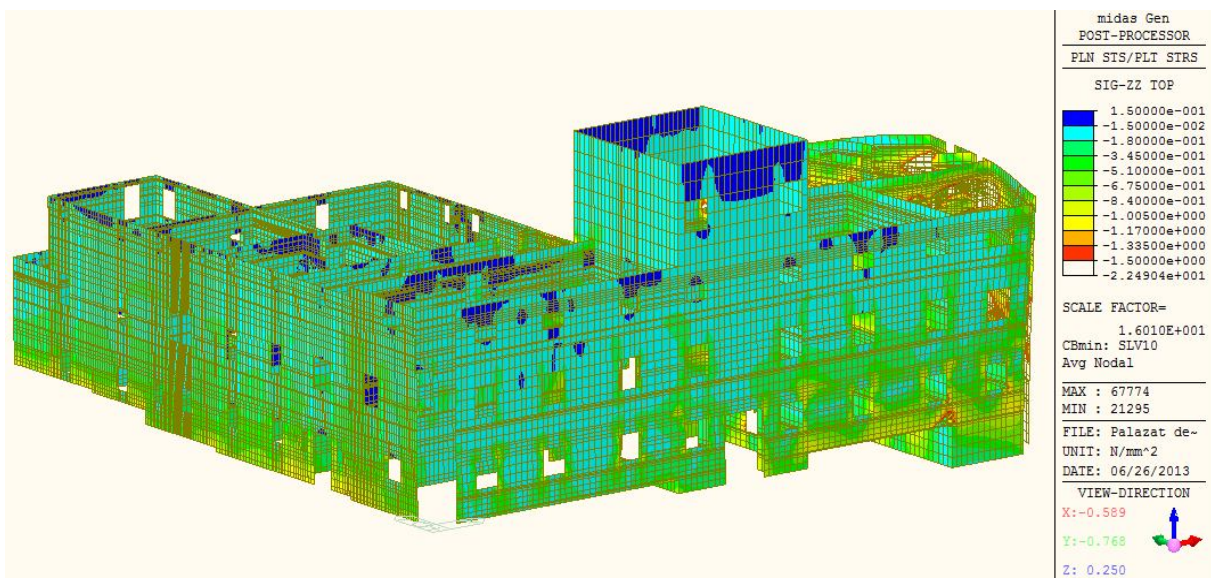
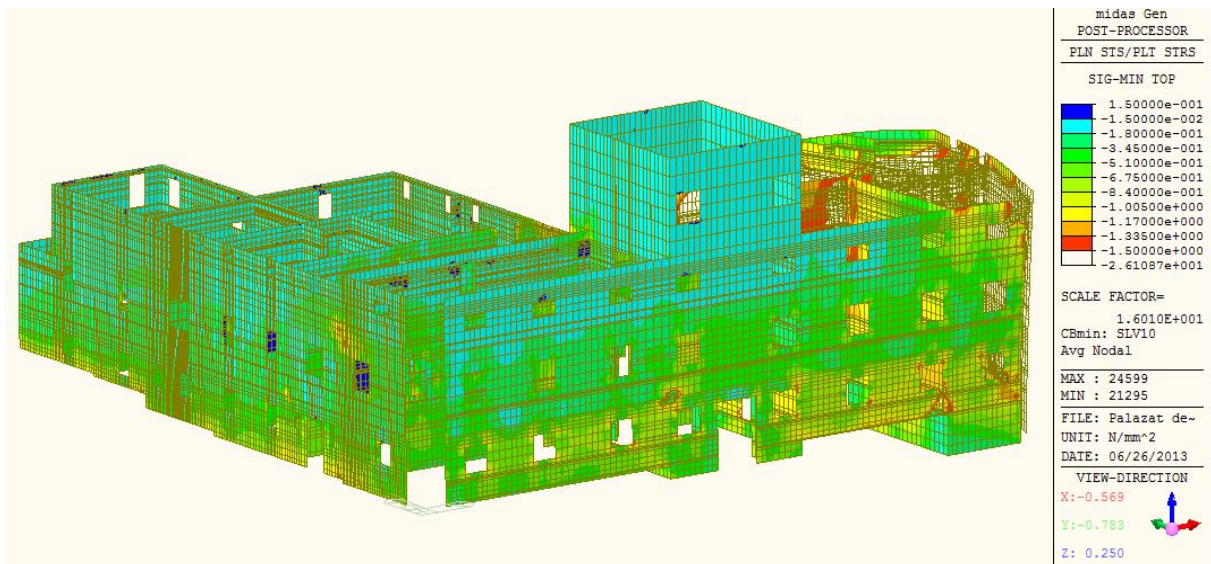
Per la costruzione in esame si è osservato, mediante l'utilizzo del codice di calcolo, che il modello strutturale dello stato di fatto possiede una capacità resistente allo SLV corrispondente a un tempo di ritorno di 332 anni che corrisponde a una vita nominale di 10 anni e a un indice di sicurezza sismica riferito agli SLV, con un periodo di ritorno di riferimento legato a una vita nominale di 100 anni, di:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = - \frac{200}{\ln(1 - 0.1)} = 1898.24 \text{ anni}$$

$$I_{S,SLV} = \frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}} = \frac{332}{1898.24} = 0.1748 < 1$$

$$f_{a,SLV} = \frac{a_{SLV}}{a_{g,SLV}} = \frac{0.1588}{0.23426} = 0.6778$$

$$R_{CD} = \left(\frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}} \right)^{0.41} = \left(\frac{332}{1898.24} \right)^{0.41} = 0.489$$



Come si può notare dagli indici sopra riportati e dalle analisi precedentemente effettuate, l'edificio in esame necessita di interventi di miglioramento al fine di tutelare la sua valenza storica e le sue funzioni.

10. CONCLUSIONI

Nel presente elaborato di tesi si sono analizzate le analisi strutturali e le valutazioni della vulnerabilità sismica di edifici storici e in particolare del Palazzo Polcenigo sito nel comune di Cavasso Nuovo (PN) ricadente in zona sismica di Classe I.

Dopo aver introdotto le teorie riguardanti il rischio sismico, il comportamento sismico di strutture in muratura, le caratteristiche meccaniche, i meccanismi di collasso, le fasi di conoscenza, le tecniche di consolidamento e analizzato gli aspetti normativi per la verifica e l'adeguamento degli edifici storici, si sono considerati i criteri progettuali di adeguamento strutturale del caso di studio.

In seguito alle verifiche effettuate e ai risultati ottenuti, mediante la modellazione strutturale sia a elementi plate che a elementi beam a telaio equivalente utilizzando il metodo SAM del Magenes, dalle analisi statica lineare, dinamica lineare e statica non lineare (pushover) per il comportamento globale e dalle analisi cinematica lineare e non lineare per il comportamento locale si evidenziano alcune criticità dell'edificio sottoposto ad azioni sismiche.

In particolare si è osservato che l'intervento proposto di adeguamento, poco invasivo in relazione alla valenza storica del palazzo su cui insiste il vincolo architettonico, consistente nell'introduzione di opere di incatenamento a livello di copertura (tirantature), migliora il comportamento strutturale dell'edificio notevolmente essendo in grado di garantire i livelli di sicurezza necessari per un vita nominale (V_N) di 100 anni ed evitando l'innescare dei meccanismi di collasso delle murature che comprometterebbero l'intera staticità dell'edificio.

Si ricorda infatti che la vita nominale di un bene culturale dovrebbe essere molto lunga, volendone garantire la conservazione nel tempo anche nei riguardi di azioni sismiche caratterizzate da un elevato periodo di ritorno; tuttavia, ciò porterebbe a una verifica sismica gravosa e nel caso in cui gli interventi richiesti dovessero risultare troppo invasivi nei riguardi dell'opera, coerentemente con la possibilità di limitarsi a interventi di miglioramento, il progetto potrà fare riferimento a una vita nominale più breve.

In conclusione si ritiene che la procedura di analisi applicata abbia fornito un contributo concreto alla conoscenza del comportamento strutturale sottoposto ad azione sismica di un edificio storico del 1500, adibito a sede comunale, museo e centro di servizi socio-culturali, applicabile ad altre realtà similari presenti nel territorio.

BIBLIOGRAFIA

Normativa e sua applicazione

- Eurocode 8 *Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures* ENV 1998-1-1,2,3 CEN Brussels 1994;
- DM LL PP del 2 luglio 1981 *Normativa per le riparazioni e il rafforzamento degli edifici dal sisma nelle Regioni Basilicata, Campania e Puglia*;
- DM 20 novembre 1987 *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*;
- DM 16 gennaio 1996 *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*;
- Ministero dei Lavori Pubblici – Presidenza del Consiglio Superiore – Servizio Tecnico Centrale, circolare n.65/AA.GG. *Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al DM 16 gennaio 1996*;
- Regione Autonoma Friuli – Venezia Giulia – Segreteria Generale Straordinaria: LR 20 giugno 1977, n.30. *Recupero statico e funzionale degli edifici. Documento tecnico n.2. DT2: Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura*. Gruppo Disciplinare Centrale, maggio 1980;
- OPCM n.3274 del 2003, *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*;
- *Norme Tecniche per le Costruzioni*, DM 14 gennaio 2008;
- *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"* di cui al DM 14 gennaio 2008. *Circolare del 2 febbraio 2009, n.617* del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14 gennaio 2008*;

Testi consultati:

- N. Augenti, *Il calcolo sismico degli edifici in muratura*, 9° Edizione, Hoepli, Milano 1993;
- D.Benedetti, M. Tomazèvic, *Sulla verifica sismica di costruzioni in muratura*, Ingegneria Sismica, vol. I, n.0, 1994.

- G.Cangi, M.Caraboni, A.De Maria, *Analisi strutturale per il recupero antisismico. Calcolo dei cinematismi per edifici in muratura secondo le NTC*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2010;
- Consiglio Nazionale delle Ricerche, *Riparazione e consolidamento degli edifici in muratura*, Progetto Finalizzato Geodinamica, Masson Italia Editori 1991;
- A.Gelmi, C. Modena, *Caratterizzazione meccanica e consolidamento statico delle murature dei centri abitati di antica origine della provincia di Trento: obiettivi e impostazione della ricerca*, Rapporto preliminare, Trento 1993.
- A. Giuffrè, *Lecture sulla meccanica delle murature storiche*, Kappa, Roma 1991;
- A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Multigrafica, Roma 1988;
- G.Magenes, G.M.Calvi, *In-plane seismic response of brick masonry walls*, *Earthq. Engin. and Struct. Dyn.*, Vol. 26, 1997, pp. 1091-1112;
- G.Magenes, G.M.Calvi, *Prospettive per la calibrazione di metodi semplificati per l'analisi sismica di pareti murarie*, Atti del Convegno Nazionale "La Meccanica delle Murature tra Teoria e Progetto", Messina, 18-20 settembre 1996, Pitagora Ed.Bologna, 1996;
- G.Magenes, A.Della Fontana, *Simplified Non-linear Seismic Analysis of Masonry Buildings*, Proc. of the British Masonry Society, Vol. 8, October 1998, pp.190-195;
- G.Magenes, *A Method for Pushover Analysis in Seismic assessment of Masonry Buildings*, Atti della 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000;
- M.L.Scillone, M. Di Segni, *Tecniche antisismiche per il recupero strutturale di fabbricati in muratura tradizionale*, Kappa, Roma 2000;
- M.R.Valluzzi, *Consolidamento e recupero delle murature*, Faenza editrice, Faenza 2003;
- M.R.Valluzzi, *Consolidamento di murature in pietra. Iniezioni di calce idraulica naturale*, Faenza editrice, Faenza 2004;

Documenti consultati:

- AA.VV., *Cavasso Nuovo. Cjavàs. Storia - comunità – territorio*, Area Grafica, Meduno 2008.
- S.Lagomarsino, S.Resemini, Atti del XI Convegno dell'Associazione Italiana di Ingegneria Sismica, Genova, 25-29 Gennaio 2004, SG Editoriali, Padova 2004;
- F.Braga, W.Salvatore, Atti del XII Convegno dell'Associazione Italiana di Ingegneria Sismica, Pisa, 10-14 giugno 2007, Edizioni Plus, Pisa 2007;
- F.Braga, M. Savoia, Atti del XIII Convegno dell'Associazione Italiana di Ingegneria Sismica, Bologna, 28 giugno – 2 luglio 2009, Edizioni IM Ready, Repubblica di San Marino 2009;

- Dipartimento Protezione Civile, Reluis, *Linee guida per riparazione e rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni*, Doppiavoce Edizioni;

Sitografia

- www.fema.gov Federal Emergency Management Agency;
- www.gndt.ingv.it/Pubblicazioni/Monografie.htm;
- www.dica.unict.it/users/agheresi/index.htm;
- www.eucentre.it;
- www.reluis.it;
- www.esse1-gis.mi.ingv.it