

# Provincia di Chieti

## Settore 5

Edilizia Scolastica e Provinciale, Difesa del Suolo, Protezione Civile, Sicurezza sui Luoghi di Lavoro, Servizio Sismico Territoriale

**SERVIZIO EDILIZIA SCOLASTICA E PROVINCIALE**

# PROGETTO ESECUTIVO

**OGGETTO:** AMPLIAMENTO E RISTRUTTURAZIONE DELLA BIBLIOTECA PROVINCIALE  
"A.C. De Meis " di Chieti 1° LOTTO  
Lavori di adeguamento sismico edificio esistente e messa in sicurezza area

**ELABORATO:**

**EDIFICIO ESISTENTE  
-RELAZIONE TECNICA INTERVENTI PREVISTI**

**IL DIRIGENTE E  
RESPONSABILE UNICO DEL  
PROCEDIMENTO:**

Dott. Ing. Carlo CRISTINI

**PROGETTISTA E D.L.:**

Dott. Ing. Roberto MAMMARELLA

**ELABORATO:**

**A.5.0**

VISTI

CHIETI LI \_\_\_\_\_

## RELAZIONE SULLE STRUTTURE

### **Premessa**

Con la presente relazione saranno indicati e descritti gli interventi che si prevede effettuare sulle strutture del fabbricato in muratura esistente della BIBLIOTECA PROVINCIALE "A.C. DE MEIS". Gli interventi sono necessari affinché le strutture risultino adeguate ai sensi del D.M. 14/01/2008 e ss.mm.ii.. La scelta degli interventi e in particolare la loro localizzazione è stata accuratamente scelta a seguito di analisi strutturale che ha evidenziato le carenze presenti in termini di risposta al sisma.

Gli interventi previsti sono indicati nella planimetria allegata al progetto, oltre la rappresentazione grafica dei particolari costruttivi.

### **Murature**

La prima fase delle analisi strutturali è stata quella di valutare i materiali presenti e di definirne le caratteristiche meccaniche. In particolare, sono state prese come riferimento le indagini eseguite sull'edificio esistente dalla TECNOLAB con sede in Ortona, Rapporto di prova n° D-20-13-a del 27/06/2013.

I risultati delle prove hanno permesso di ricavare le proprietà elastiche della muratura ed in particolare il Modulo di Young. Da questo è stato possibile estrapolare le altre caratteristiche meccaniche.

In particolare, sono state effettuate n° 2 prove con martinetto che hanno fornito due caratteristiche differenti. Essendo le murature costituite da mattoni pieni di laterizio, è stata presa in considerazione la prova che più si avvicina ai valori teorici di queste murature ed in particolare ai dati indicati in *tabella C8A.2.1 della Circolare Applicativa 617/09 del D.M. 14 gennaio 2008* (valori molto simili in termini di Modulo Elastico). In aggiunta questi forniscono valori inferiori quindi permettono di operare a vantaggio di sicurezza. Le prove sulle malte hanno fornito l'indicazione per utilizzare una malta del tipo M5. Di seguito sono indicate le caratteristiche utilizzate per la modellazione sismica:

Di seguito sono riportate le caratteristiche meccaniche delle murature in mattoni pieni e malta di calce (sono stati presi i limiti superiori della tabella in quanto simili ai risultati forniti dalla prova). Come detto i dati meccanici precedenti sono scaturiti dalla classificazione delle murature esistenti ai sensi della *tabella C8A.2.1 della Circolare Applicativa 617/09 del D.M. 14 gennaio 2008*:

- Malta prevista: classe M5;
- Peso dell'unità di volume: 1.800,0 kg/mc;
- Resistenza Normale: 40,0 kg/cm<sup>2</sup> (*intervallo [24 - 40 kg/cm<sup>2</sup>]*);
- Resistenza Tangenziale: 0,92 kg/cm<sup>2</sup> (*intervallo [0,60 - 0,91 kg/cm<sup>2</sup>]*);
- Modulo di Elasticità Normale: 18000,0 kg/cm<sup>2</sup> (*intervallo [12000,0 - 18000,0 kg/cm<sup>2</sup>]*), scaturito dalla prova con martinetto piatto;
- Modulo di Elasticità Tangenziale: 6000,0 kg/cm<sup>2</sup> (*intervallo [4000,0 - 6000,0 kg/cm<sup>2</sup>]*).

Le nuove murature saranno realizzate con la stessa tipologia di materiale.

Per le murature rinforzate con intonaco armato, i valori sopra indicati sono stati corretti con i coefficienti indicati nella *tabella C8A.2.2* della stessa Circolare, utilizzando un fattore correttivo pari a 1,50 (calore caratteristico per l'utilizzo di intonaco armato sulla tipologia muraria esistente).

Le fondazioni esistenti sono realizzate in cls semplice.

## **Descrizione degli interventi previsti**

Gli interventi previsti affinché il fabbricato ospitante la biblioteca A.C. De Meis risulti adeguato ai sensi del D.M. 14/01/2008 sono i seguenti:

- Intervento in fondazione con realizzazione micropali.
- Creazione del giunto tecnico tra strutture in oggetto e torre adiacente;
- Rinforzo di alcune murature con sezioni non adeguate mediante intonaco armato.

Nella modellazione sismica sono stati considerati gli aspetti architettonici previsti come l'adeguata realizzazione delle nuove aperture previa realizzazione di architravi.

Di seguito sono descritti nel dettaglio i singoli interventi:

### ***Intervento in fondazione***

Il terreno di fondazione, da relazione geologica allegata al progetto, risulta di scarsa qualità. Infatti, per i primi 4,30 m dal piano campagna è presente un terreno di scarsissime caratteristiche meccaniche, indicato come probabile terreno di riporto. Questo non garantisce le condizioni ottimali per un trasferimento degli scarichi delle sovrastrutture al terreno stesso. Inoltre le caratteristiche delle fondazioni non sono ottimali (fondazione in cls semplice con  $h = 60,00$  cm). Per queste motivazioni è stato previsto l'intervento in fondazione.

È prevista la realizzazione di micropali verticali di profondità 6,00 m, affiancati alla fondazione esistente, con lo scopo di confinarla e trasmettere gli scarichi delle sovrastrutture al terreno con migliori caratteristiche meccaniche. I micropali saranno collegati in testa a mezzo di un dado in c.a. di dimensioni 30x40 cm realizzato su letto di cls magro. Lateralmente alla torre e sul fronte dove verranno realizzati i pali del nuovo intervento adiacente in c.a., sarà realizzata una sola fila di micropali interna. I micropali sono previsti ad interasse circa 2,00 m.

Gli effetti saranno molteplici:

1. Superamento dello stato di terreno con caratteristiche scadenti;
2. Contatto diretto delle fondazioni con terreni che amplificano in maniera inferiore le accelerazioni sismiche;
3. Creazione di un elemento monolitico in fondazione che limita effetti rotazionale e/o traslazionali, permettendo unicamente oscillazioni dei paramenti murari (verificati durante le verifiche strutturali) e ottima simulazione dei vincoli alla base dei setti murari;
4. Assenza di cedimenti e carico limite ampiamente verificato in quanto aumenterà la superficie di scarico dei carichi provenienti dalle strutture in elevazione;
5. Creazione di uno strato di fondazione oggi quasi assente.

Le operazioni di realizzazione dei perfori si possono così riassumere:

1. rimozione dell'intonaco, messa a nudo e pulizia della superficie muraria per un'altezza di circa 100 cm dal piano del terreno, sia internamente che esternamente;
2. rimozione della pavimentazione e del sottofondo;
3. individuazione dei punti in cui effettuare i micropali, disposti ad una distanza di 200,00 cm, realizzati in coppia sulla parete interna e su quella esterna del generico setto murario, per creare un confinamento della fondazione;
4. disposizione verticale della pendenza di perforazione;
5. realizzazione dei micropali, eseguiti a rotazione per non sollecitare la muratura esistente con strumenti meccanici battenti. Saranno realizzati fori del diametro di 100 mm verticali rispetto alla superficie. Si prevede una lunghezza del micropalo di 6,00 m. I micropali saranno realizzati a distanza 10,00 cm dalla fondazione esistente;
6. posizionamento dell'armatura tubolare in acciaio Fe510 con diametro  $\varnothing 60$  all'interno del foro precedentemente realizzato, a tutta lunghezza, in spezzoni manicottati di

- lunghezza media 3-5 m, muniti di valvole di non ritorno intervallate ogni 100 cm nella parte inferiore, per il 50% circa della lunghezza totale;
7. esecuzione dell'iniezione a bassa pressione con miscela cementizia additivata, per la creazione della guaina tra la parete e l'anima tubolare in acciaio;
  8. esecuzione delle iniezioni ad alta pressione in più riprese con la stessa miscela, nella parte valvolata per la creazione del bulbo di ancoraggio;
  9. scavo eseguito a mano lungo tutta la linea dei micropali per la realizzazione in testa del dado di collegamento. Lo scavo sarà realizzato per circa 30,00 cm e profondità 60,00 cm;
  10. realizzazione del letto di cls magro di livellamento per spessore 5,00 cm;
  11. realizzazione del dado in c.a. di testa a collegamento dei micropali con sezione 30,00x55,00 cm armato con 3+2+2+3  $\phi$  16 longitudinali e staffe  $\phi$ 8/20".

### ***Creazione del giunto tecnico***

Una carenza strutturale molto forte sul fabbricato esistente è il collegamento presente tra la biblioteca e la torre adiacente. La realizzazione del giunto tecnico permetterà la creazione di due strutture separate e indipendenti.

Il giunto è stato dimensionato, ampiamente a vantaggio di sicurezza, di spessore 10,00 cm, sulla base degli spostamenti reciproci delle due strutture per come risulta dalla verifica strutturale. Lo spostamento massimo per le strutture in oggetto è risultato pari a 1,19 cm (v. pagina 59 nell'elaborato Verifica Strutturale). Lo spostamento massimo della torre adiacente in corrispondenza del livello 3 della biblioteca risulta inferiore a 8 cm.

Per la realizzazione del giunto sarà realizzata una muratura indipendente, distaccata di cm 10,00 da quella della torre, con la stessa tipologia di materiale della muratura esistente della biblioteca (mattoni pieni di laterizio). La nuova muratura sarà messa in tensione dallo scarico del solaio (ordito nella direzione parallela alla muratura da realizzare).

Le operazioni di realizzazione si possono così riassumere:

1. disposizione dei martinetti per sorreggere e alzare il solaio esistente. Questi saranno disposti in maniera tale che, demolendo la struttura sottostante, il solaio non abbia cedimenti. ;
2. demolizione di un tratto di solaio di cm 10,00, con distacco dalla muratura della torre adiacente. È prevista la rimozione di una fila di pignatte e la demolizione della soletta sovrastante;
3. attivazione dei martinetti per alzare il solaio esistente dell'altezza necessaria per permettere le lavorazioni sottostanti;
4. realizzazione della nuova muratura in mattoni pieni di laterizio con spessore cm 55,00 e utilizzo di malta del tipo M10;
5. scarico dei martinetti con relativo appoggio del solaio sulla nuova muratura;
6. realizzazione del cordolo di coronamento con collegamento strutturale al solaio.

La muratura sarà realizzata su fondazione in c.a. di dimensioni 75x60 cm armata con 4+2+2+4  $\phi$ 16 longitudinali e staffe  $\phi$ 8/20".

La nuova muratura sarà opportunamente ammorsata su quella esistente mediante realizzazione di cordoli in c.a. a coda di rondine (interasse 1,1 m), e ricorsi realizzati con gli stessi mattoni di laterizio che si andranno ad ancorare sulle murature esistenti in prossimità del cantonale.

### ***Consolidamento di murature portanti***

Le murature con problemi di resistenza evidenziati dal calcolo strutturale saranno consolidate attraverso la realizzazione di un intonaco armato. Le operazioni da seguire durante questa lavorazione si possono così riassumere:

1. eventuale spicconatura di intonaco;
2. pulizia e messa a vivo dei conci con spazzola a fili di acciaio e lavaggio della superficie;
3. scarnitura profonda dei giunti evitando accuratamente la scalpellatura degli stessi, in modo da arrivare ad ottenere un supporto sano e compatto, privo di parti friabili, efflorescenze saline, polvere e muffe;
4. idrolavaggio della superficie al fine di rimuovere qualsiasi materiale e sostanza che possa pregiudicare l'adesione dei prodotti che verranno impiegati successivamente;
5. applicazione di una rete elettrosaldata in acciaio del tipo 615 (magli  $\phi 6$  interasse 15x15 cm) e da una malta cementizia per intonaci, ad elevate prestazioni meccaniche, per uno spessore complessivo di 3,0 cm. Il sistema dovrà essere posto in opera con la seguente procedura su entrambi i paramenti della muratura: applicazione del primo strato di malta per intonaci, ad elevate prestazioni meccaniche, eventualmente previa regolarizzazione del supporto con la stessa malta, posizionamento della rete di rinforzo e successiva applicazione del secondo strato di malta in modo da coprire totalmente ed in modo omogeneo la rete di rinforzo.
6. I due paramenti della rete saranno collegati da n° 1 perforazione  $\phi 16$  al mq (interasse tra le perforazioni 90,00-100,00 cm), realizzata in corrispondenza dei giunti, con inserimento di un ferro  $\phi 10$  iniettata con resina epossidica, con lo scopo di creare un intervento monolitico sul paramento murario.

La malta dovrà consentire di realizzare in cantiere, in abbinamento alla rete, degli intonaci traspiranti "strutturali", ad elevate prestazioni meccaniche, facilmente applicabili a cazzuola o a macchina con intonacatrice a miscelazione continua.

L'applicazione dell'intonaco "strutturale" dovrà essere effettuata, previa adeguata preparazione del supporto, su supporto pulito, sano e compatto, privo di parti friabili, polvere, sporco, muffe e sali solubili (procedura già effettuata per l'applicazione delle iniezioni di boiaccia). Nel caso in cui le murature dovessero risultare particolarmente difficili come, ad esempio, quelle in pietra o miste, è consigliabile applicare un primo strato di rinzaffo di ca. 5 mm, impiegando lo stesso prodotto a consistenza semifluida, oppure altro prodotto, al fine di uniformare l'assorbimento del supporto e migliorare l'adesione della malta.

Nel caso in cui lo spessore da riportare sia superiore a 25 mm, applicare l'intonaco in più mani, avendo l'accortezza di realizzare i diversi strati successivi, su quello precedente non frattazzato. Dopo l'applicazione attendere alcuni minuti prima di procedere alla livellatura con staggia di alluminio ad "H" o a coltello, con passaggi in senso orizzontale e verticale, sino ad ottenere una superficie piana. Rimuovere le guide verticali, qualora utilizzate, riempiendo i vuoti con lo stesso prodotto. Rfinire la superficie dell'intonaco con frattazzino di spugna leggermente inumidito.

In prossimità dei cantonali, oltre agli interventi sopra descritti, saranno realizzati dei perfori obliqui di collegamento dei due paramenti murari armati con ferri di collegamento  $\phi 8/30$  cm ed iniettati con malta antiritiro.

### ***Realizzazione di nuove aperture***

Le nuove aperture saranno realizzate previo taglio delle murature esistenti e realizzazione degli architravi in c.a..

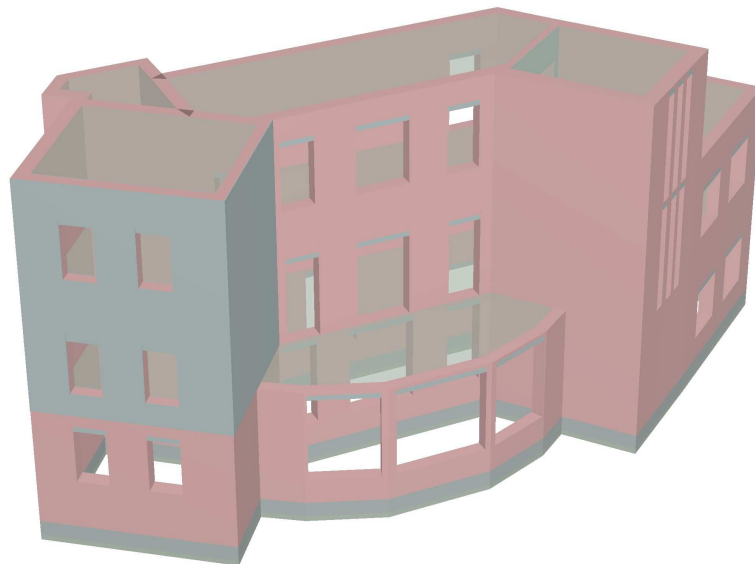
Gli architravi saranno realizzati in c.a. con spessore pari allo spessore delle murature, altezza 20 cm e penetreranno per circa 30 cm all'interno della muratura. L'architrave sarà armata con

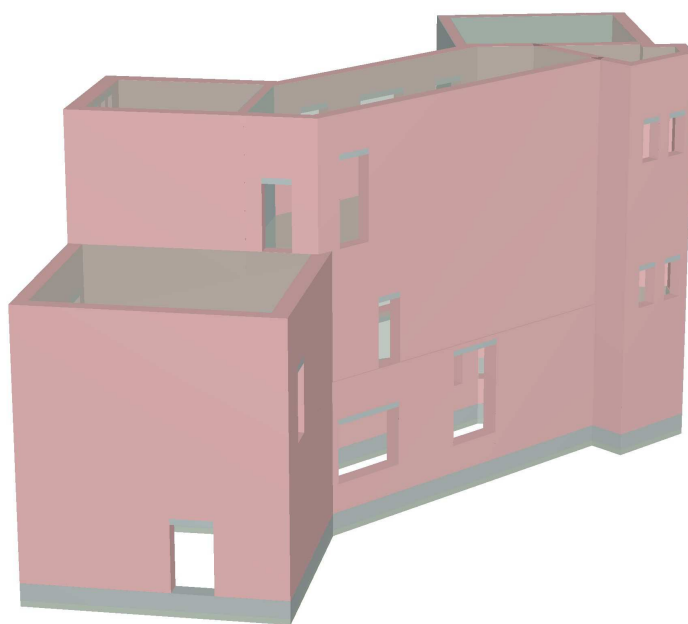
ferri longitudinali  $3+3\phi 16$  e staffe  $\phi 8/20$  cm. In prossimità di due aperture ravvicinate, affinché non si verifichino problemi nel paramento centrale di piccole dimensioni, sarà realizzata un'unica architrave (v. particolare costruttivo).

## **Modellazione strutturale**

### Modello e schematizzazione adottati

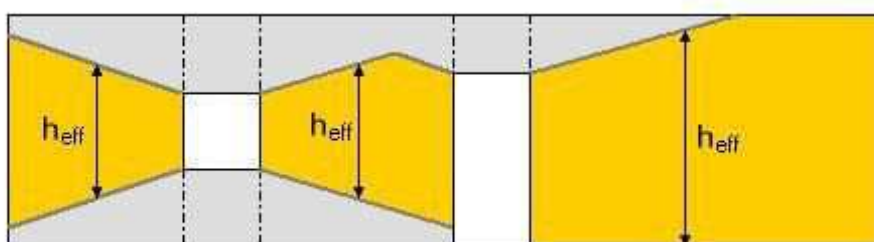
Il modello strutturale dell'edificio assume come ipotesi di base che i maschi murari abbiano un comportamento tipo shear-type, ovvero abbiano rotazioni al piede e in testa impediti e che il loro spostamento in pianta sia descrivibile come roto-traslazione rigida. La schematizzazione adottata è quella di modello scatolare a pareti ed impalcati rappresentata nelle immagini assonometriche di seguito riportate.





### Modellazione dei maschi murari

L'individuazione dei maschi passa attraverso il riconoscimento delle pareti, viste come assemblaggio di uno o più pannelli murari allineati in pianta. In questo contesto la presenza delle aperture, interrompendo la continuità della muratura, indeboliscono la resistenza della parete; ma per contro si osserva, in qualche misura, un aumento di rigidità nelle immediate vicinanze dei vuoti, dovuto alla presenza delle fasce di piano sopra o sotto l'apertura. Studi sull'argomento modellano tale effetto con una riduzione dell'altezza efficace  $h_{eff}$  dei maschi posti a lato dell'apertura, tenendo conto di un angolo di diffusione degli sforzi in prossimità dei vuoti. L'altezza netta così valutata interviene in sostituzione dell'altezza di piano nel calcolo della rigidità tagliante e flessionale del setto.



Nell'ambito della parete, inoltre, è frequente trovare setti adiacenti non intercalati da una apertura. È questo il caso dei setti a cavallo di un nodo di incrocio o di due setti in contatto, distinti per diversità di spessore o di materiale. Se si ipotizza che durante la deformazione non insorgano distacchi fra i due setti adiacenti (fatto plausibile per l'irrigidimento conferito dai solai), ovvero che l'insieme dei due setti mostri un comportamento solidale, è necessario amplificare in maniera opportuna le rigidità flessionali dei singoli setti per tener conto del comportamento d'insieme. Questo aspetto di modellazione viene affrontato e risolto con l'omogeneizzazione delle rigidità flessionali dei maschi riconosciuti in contatto.

I paramenti murari realizzati su roccia non saranno verificati in quanto la sezione reagente non sarà quella modellata, ma ampiamente inferiore.

### Considerazioni sulle fasce di piano

Nella modellazione dei setti murari si considerano gli effetti di rigidità delle fasce di piano, in accordo con i risultati di alcuni studi condotti sull'argomento che modellano tale effetto con una riduzione dell'altezza efficace  $h_{eff}$  dei maschi posti a lato delle aperture, tenendo conto di un angolo di diffusione degli sforzi in prossimità dei vuoti. Non vengono però effettuate verifiche di resistenza delle fasce di piano e le motivazioni per questa scelta sono diverse.

- Il comportamento di questa zona di muratura è molto complesso e dipende fortemente dalle modalità costruttive, come la consistenza dell'architrave, la presenza di un arco in mattoni o pietra per la raccolta della spinta verticale, l'eventuale disassamento tra le aperture, la presenza di catene ed altro. Ciò potrebbe rendere illusorio un trattamento semplicistico a telaio "equivalente", specie la modellazione non tiene conto della forte ortotropia di comportamento della muratura.
- In considerazione delle difficoltà di una corretta interpretazione del loro funzionamento statico, le regole dell'arte sono al riguardo tradizionalmente cautelative e forniscono prescrizioni relativamente restrittive sulla ampiezza delle aperture e sulle disposizioni costruttive. In realtà, il cedimento della fascia per aperture di fessure verticali è un evento relativamente raro (più frequente la caduta della muratura sottostante all'arco di spinta, comunque da mettere in relazione con insufficienze costruttive).
- In ogni caso, in presenza di dubbi sul funzionamento statico della fascia, devono sempre essere previsti interventi locali di rinforzo (con il rafforzamento degli architravi, un efficace ammorsamento bilaterale degli intonaci armati od altro) attraverso una progettazione "a regola d'arte" (considerati per l'intervento in oggetto).
- Un eventuale cedimento della fascia non altera la resistenza a taglio delle pareti e quindi ha poca o nulla influenza sulla verifica a taglio in corrispondenza stato limite ultimo. Può avere influenza solo sulla verifica a pressoflessione longitudinale (cioè nel piano della parete) che tuttavia è quella tipicamente meno restrittiva.

Problemi reali potrebbero nascere solo in presenza di un cedimento delle fasce così esteso da compromettere il comportamento scatolare della costruzione, che rappresenta la caratteristica più importante per la resistenza delle strutture in muratura, ma una adeguata attenzione alle buone regole dell'arte nell'esecuzione degli interventi di rinforzo dovrebbe essere garanzia sufficiente che questa circostanza non si verifichi. Nella modellazione, inoltre, si tiene conto dei maschi contigui non intercalati da aperture, che per effetto della continuità strutturale richiedono l'omogeneizzazione delle loro rigidità flessionali. Si considerano, inoltre, i contributi di rigidità di fondazioni sfalsate, valutando la quota parte del tagliante sismico direttamente assorbito da tali elementi.

### Considerazioni sugli impalcati

Il solaio è individuato in pianta dalla poligonale che passa per i nodi posti sul suo contorno. Per ogni solaio sono stati scelti la tipologia, l'angolo di orditura, le eccentricità di scarico ed i carichi applicati, oltre alla presenza e tipologia di cordolo.

### Considerazioni sulle fondazioni

Le fondazioni in muratura sono state schematizzate allo stesso modo sia nell'analisi ante che post intervento. Anche il terreno di fondazione è stato modellato allo stesso modo nelle condizioni ante e post intervento, facendo riferimento alle categorie di sottosuolo per la definizione dell'azione sismica ai sensi della *tabella 3.2.II del D.M. 14 gennaio 2008*, in



quanto non c'è un intervento tale da poter modificare i parametri di portanza o di categoria del sottosuolo.

#### Analisi svolta - L'analisi statica non lineare

Una volta individuati gli elementi resistenti e costruito il modello di calcolo, si è proceduto con l'esecuzione dell'analisi statica non lineare, altrimenti detta analisi pushover.

L'analisi è condotta assoggettando l'edificio all'azione contemporanea dei carichi verticali, derivanti da una opportuna combinazione dei carichi permanenti e variabili (*Sismica pushover*) e delle forze statiche equivalenti al sisma (con distribuzione lineare o costante sull'altezza) che generano nella muratura i taglianti di piano cumulati in altezza. Fissata una direzione sismica, l'analisi pushover procede per incrementi successivi delle forze sismiche, determinando per ogni passo di carico il taglio e la duttilità residua dei setti. Per i setti si assume un comportamento elasto-plastico a duttilità limitata, ed è possibile quindi stabilire per ognuno di essi se nel passo di carico si raggiunga il limite di duttilità, ovvero la soglia di collasso locale, nel qual caso il setto è dichiarato collassato e non darà più alcun contributo all'assorbimento del tagliante sismico nei passi di carico successivi. Col progredire dei collassi locali la struttura perde progressivamente capacità portante nei confronti delle azioni orizzontali. Quando il calo della forza resistente raggiunge un limite prefissato, si assume raggiunto il limite di collasso e l'analisi ha termine.

Si procede quindi con una successiva analisi pushover, facendo variare la direzione del sisma secondo una scansione predefinita e la distribuzione delle forze sismiche sull'altezza del fabbricato. Nel corso del processo, per ogni analisi eseguita si riconoscono inoltre le condizioni di raggiungimento degli stati limite di interesse definiti dalla normativa.

#### Le verifiche globali

Le verifiche globali corrispondono a meccanismi di collasso legati al comportamento d'insieme di tutto l'edificio murario sotto l'azione sismica. Per ottenere queste verifiche è necessario adottare una modellazione di calcolo che sia in grado di riprodurre gli aspetti peculiari del comportamento delle murature, sia a livello del singolo elemento, sia al livello del comportamento d'insieme.

Il modello così costruito deve quindi essere sottoposto ad analisi per valutare la sicurezza sotto azioni sismiche. Considerato il comportamento fortemente non lineare delle murature sotto sisma, è unanimemente riconosciuto che l'analisi più rappresentativa sia l'analisi statica non lineare, meglio nota come analisi pushover. In questa analisi, l'edificio è assoggettato ai carichi gravitazionali e ad un insieme di forze sismiche orizzontali, che vengono gradualmente incrementate fino a portare la struttura al collasso. Nel corso del processo si tiene conto del comportamento elasto-plastico degli elementi resistenti e si riconoscono le condizioni di raggiungimento degli stati limite di interesse. Al termine si ottiene una curva forza-spostamento rappresentativa della risposta strutturale, che sfruttando l'equivalenza con un oscillatore elasto-plastico elementare, consente di agganciare gli spettri elastici e di eseguire le verifiche per gli stati limite di interesse.

#### Le verifiche sismiche relative all'analisi pushover

Una volta che le curve dell'analisi pushover sono disponibili, è possibile eseguire le verifiche sismiche, che consistono nel valutare il grado di sicurezza della struttura muraria in relazione al raggiungimento di stati limite predefiniti in funzione della norma adottata. Nel caso di analisi secondo il D.M. 14/01/2008, si richiede il controllo della sicurezza per gli stati limite di operatività o di danno, a cui sono associati danni strutturali di modesta entità, dello stato limite di salvaguardia vita, corrispondente a danni importanti negli elementi strutturali, e dello

stato limite di collasso, con danni strutturali molto gravi e conseguente perdita di capacità portante. La verifica di sicurezza consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo della costruzione e la domanda di spostamento (D.M. 14/01/2008 punto 7.8.1.6), ottenuta quest'ultima costruendo il sistema bilineare equivalente ad un grado di libertà ed applicando lo spettro di risposta elastico per lo stato limite considerato (D.M. 14/01/2008, punto 7.3.4.1, Opcm 3274 punto 4.5.4); la verifica è quindi espressa in termini di  $P_{ga}$ , confrontando le accelerazioni al suolo che portano al raggiungimento dello stato limite (capacità di  $P_{ga}$ ) e quella richiesta dalla normativa (domanda di  $P_{ga}$ ).