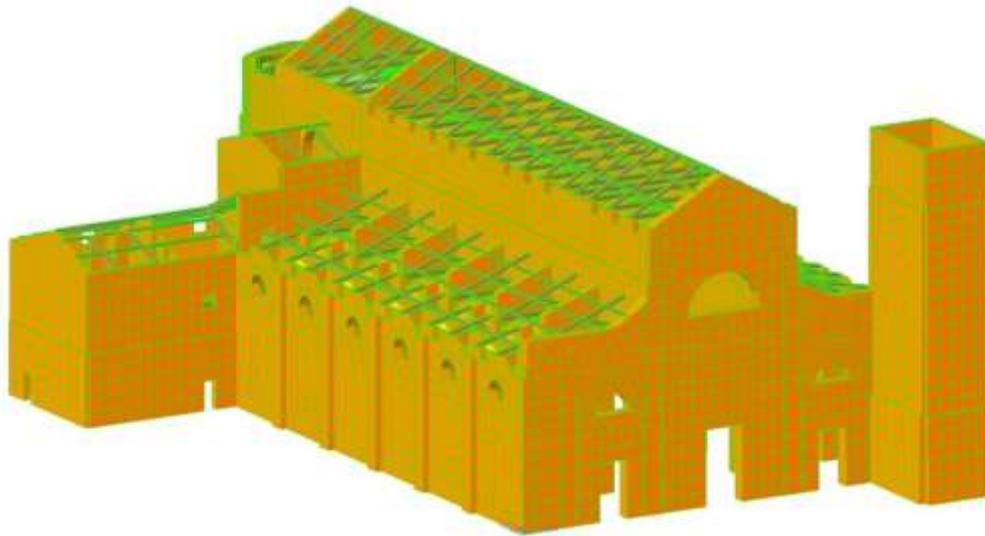


CONSIDERAZIONI SULLA VALUTAZIONE STRUTTURALE DELLA CHIESA DI S. QUIRINO

Ing. Corrado Prandi – Studio Prandi (Correggio – RE)

L'indagine strutturale ha previsto una fase globale e più analisi locali; per l'analisi globale è stata predisposta una modellazione ad elementi finiti, possibile per la sufficiente regolarità della struttura, isolata dalle costruzioni vicine e sufficientemente connessa nei suoi componenti; le analisi locali consistono nelle verifiche a ribaltamento della facciata, delle pareti laterali e della zona absidale; sono state effettuate infine varie verifiche puntuali su specifici componenti della costruzione.

La conoscenza del manufatto, per il quale lo scrivente ha effettuato valutazioni sufficientemente estese e con vari metodi, sia sommari che a superiore livello di accuratezza, a seguito degli eventi sismici che si sono manifestati negli ultimi 20 anni, è adeguata per potere procedere ora con una analisi più approfondita, che può avvalersi, come elemento di riscontro e validazione, di quanto eseguito negli anni precedenti.



Vista complessiva del modello

E' previsto un prevalente impiego di elementi plate a 4 nodi, con rigidità nel piano e fuori piano, per la modellazione delle pareti, dei pilastri, degli archi e delle volte; ne sono stati previsti i differenti spessori in coerenza al rilievo geometrico; sono stati inseriti 3 materiali murari con diverse caratteristiche meccaniche: il materiale prevalente con le caratteristiche più opportune per la muratura presente derivate dalla circolare n°617, un materiale a caratteristiche ridotte per le parti delle volte in semplice accostamento alle murature d'ambito, un materiale di caratteristiche meccaniche superiori per le volte già consolidate con capette armate in calce.

Sono stati utilizzati elementi beam oltre che per le travi lignee di copertura, anche per le costole delle volte, disposte in modo da raccogliere le azioni delle vele e di trasmetterle all' imposta delle unghie; il materiale attribuito ai beam delle costole è la stessa muratura prevista per i plate delle volte; anche le colonnine della cripta sono modellate con tali elementi. Le catene metalliche degli archi murari sono modellate con elementi truss in acciaio.

Per l'analisi dinamica lineare è stato utilizzato lo spettro elastico previsto per Correggio, in una struttura di classe III, ridotto con fattore di struttura $q=2$.

L'utilizzo di tale metodo di analisi ha inteso riconoscere il comportamento globale della struttura, in termini di sollecitazioni e spostamenti sulle murature, quando fosse sottoposta alle azioni previste dalla normativa: azione sismica/2, carichi permanenti completi ed i modesti carichi variabili parzializzati all'80%.

I risultati numerici dell'analisi globale non vengono tanto considerati come valori per i quali eseguire verifiche di compatibilità, quanto per individuare le zone maggiormente gravate, per le quali riconoscere la presenza di un coerente danneggiamento e quadro fessurativo; tale analisi ha ricercato valori di validazione ai modi di vibrare, con l'effettuazione di diffuse prove vibrazionali strumentali, che hanno restituito valori in ottima coerenza con quelli calcolati e restituiti dal modello ad elementi finiti.

L'analisi dei modi di vibrare evidenzia modi di vibrare ben definiti secondo gli assi principali della costruzione e l'assenza di modi rotazionali significativi.

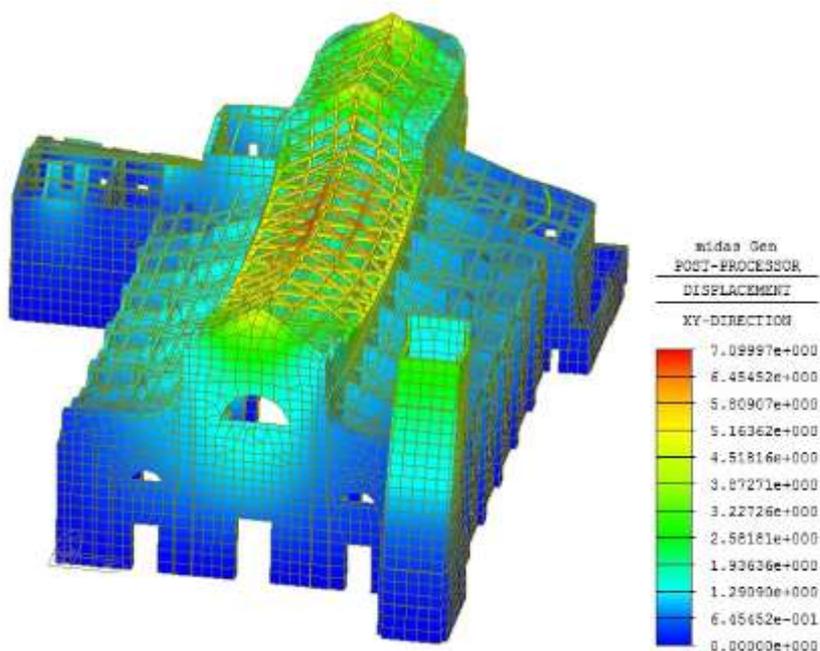
Somma delle reazioni vincolari alla base per la combinazione di carico sismica più gravosa:

Load	Fx (tonf)	Fy (tonf)	Fz (tonf)
gLCB7	1058.35	1217.65	7879.59

Rapporto tra il tagliante medio attivato nella struttura ed il peso sismico della stessa:

$(1058.35^2 + 1217.65^2)^{1/2} / 7879.59 = 0.2$. Tale valore di tagliante medio, associabile alla condizione di SLV per il fabbricato, potrà poi essere confrontato con la soglia di comportamento non lineare globale, determinata con l'analisi statica non lineare.

Le componenti del tagliante secondo X ed Y permettono di individuare la direzione dell'azione del sisma rispetto alla direzione N-S è: $\text{atan}(1217/1058) = 49^\circ$



Spostamenti in cm per la combinazione di carico sismica di maggiore rilievo

Gli spostamenti conseguenti all'azione del sisma sono maggiormente rilevanti nelle murature del sottotetto e per la copertura, dove il rapporto $\Delta/H \approx 5/1000$; tale riscontro suggerisce l'opportunità di un intervento di

contenimento degli spostamenti longitudinali e trasversali a tale livello, anche provvedendo all'irrigidimento dell'impalcato ligneo di copertura.

La condizione statica risulta essere la più gravosa per le tensioni verticali/assiali su pareti e colonne; le murature maggiormente gravate sono quelle delle colonne nelle navate; il livello delle sollecitazioni, in rapporto alle modeste caratteristiche della muratura esistente, risulta rilevante per le sole colonne.

La soglia tensionale prefissata risulta superata con estensione nelle pareti trasversali delimitanti le cappelle laterali, mentre nelle pareti residue si riconoscono solo situazioni localizzate in eccedenza del valore pari a $\pm 3 \text{ daN/cm}^2$.

Le volte in muratura risultano interessate da tensioni tangenziali significative in rapporto alle caratteristiche meccaniche della muratura costituente; si riscontra che le zone in eccedenza della soglia tensionale eccedente $\pm 2.5 \text{ daN/cm}^2$ trovano buona corrispondenza con il quadro fessurativo presente e conseguente all'azione del sisma nell'anno 2012.

Lo stato tensionale rilevato consiglia l'adozione di tecniche di intervento sulle volte che ne ripristinino la continuità, migliorando la capacità nel contrasto delle azioni taglianti, senza eccessi in accrescimento della rigidità della sezione, che svantaggiosamente comporterebbero il richiamo di azioni taglianti più elevate.

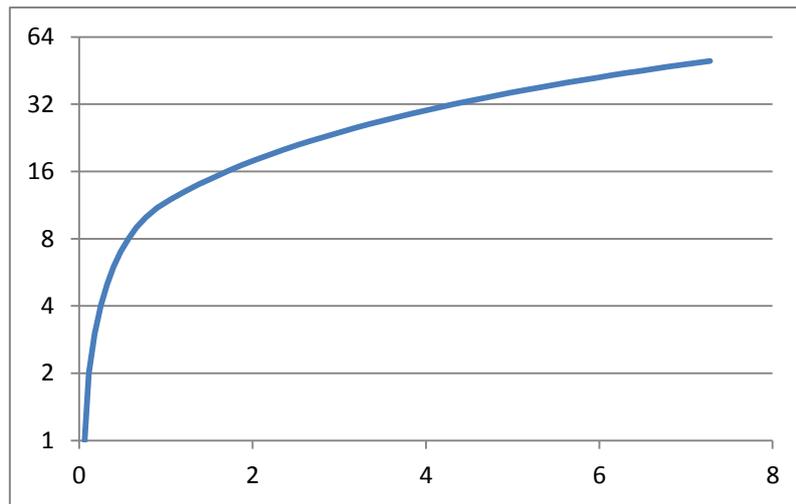
L'analisi statica non lineare viene eseguita per riconoscere sommariamente la soglia di comportamento globale non lineare della costruzione ed eseguire un confronto con la richiesta di capacità derivata dall'analisi dinamica lineare.

I punti di controllo degli spostamenti vengono scelti nelle posizioni più deformabili sulla base delle indicazioni desunte dall'analisi dinamica lineare. Le posizioni individuate sono le seguenti:

- sommità della colonna centrale nella navata,

La costruzione viene sottoposta ad una sommatoria di passi di carico uguali e consecutivi, fino al raggiungimento di una azione orizzontale complessiva, corrispondente al prodotto della massa sismica della costruzione moltiplicata per una accelerazione pari al doppio dell'accelerazione di gravità. I passi di carico sono previsti nel n° di 50 e coinvolgono ogni nodo del modello con la relativa massa sismica di competenza. Il procedimento di attribuzione dell'azione orizzontale cumulata, viene eseguito secondo una direzione formante angolo di 45° con l'asse nord-sud.

Si riporta a seguire la curva di capacità, nella quale sull'asse verticale vengono riportati in scala logaritmica i passi di carico da 1 a 50, sull'asse orizzontale i corrispondenti spostamenti in cm:



La curva indica il superamento globale del limite elastico già dal 3° passo di carico, corrispondente ad una accelerazione pari a 0,12g; un successivo decadimento della curva è riconoscibile al 12° passo di carico, corrispondente ad una accelerazione pari a 0,48g.

L'analisi statica non lineare conferma l'individuazione delle zone interessate da livelli tensionali più elevati, ma grazie agli effetti delle plasticizzazioni e conseguenti ridistribuzioni, le soglie assunte per i valori tensionali nella muratura, sono superate per valori di accelerazione media superiore a quella derivata dall'analisi dinamica lineare.

L'applicazione progressiva della spinta restituisce la presunta sequenza del danneggiamento, che interessa prima le volte, quindi i setti trasversali ed infine i pilastri delle navate; un danneggiamento pregiudizievole risulterebbe raggiunto per valori di accelerazioni che si sono verificati in sismi recenti.