

CODE 364

BUILDINGS WITH HIGH ARCHITECTURAL VALUE-TWO EXAMPLES OF RESTORATION AND SEISMIC REINFORCEMENT

EDIFICI AD ELEVATO VALORE ARCHITETTONICO - DUE ESEMPI DI RESTAURO E RINFORZO SISMICO

Lemme, Alberto¹; Iovinella, Ivano²;

1: Ingegnere Libero Professionista
e-mail: albertolemme@gmail.com

2: ENEA - Laboratorio SSPT – MET - DISPREV
e-mail: ivano.iovinella@enea.it

SOMMARIO

Vengono qui illustrati due interventi di riparazione e miglioramento sismico su edifici di elevato interesse storico ed architettonico. Il primo, l'Oratorio di S. Antonio da Padova, risale al secolo XVI, in esso sono presenti opere lignee come la cassa d'organo, la cantoria ed il soffitto con al centro un quadro su tela di Sant'Antonio e Madonna, nell'abside un paliotto in ceramica oltre a diffuse decorazioni in stucco. Il secondo, il "Casino delle Delizie Branconio", risale al XVII secolo e contiene affreschi ad opera di Monaldi, discepolo di Raffaello. Per gli interventi di restauro e miglioramento sismico sono state utilizzate sia tecniche tradizionali, come inserimento di catene e cucì e scuci, che innovative, come intonaci fibrorinforzati e connessioni con barre metalliche elicoidali. Gli interventi, necessari in seguito al terremoto del 2009, sono stati studiati e realizzati in modo da far interagire il restauro degli apparati storico artistici, decorativi ed architettonici ed il miglioramento sismico delle strutture.

PAROLA CHIAVE: Miglioramento sismico, riparazione edifici in muratura, Beni Storici.

1. INTRODUZIONE

Intervenire su beni di pregio storico ed architettonico rappresenta sempre una grande sfida perché è necessario usare il giusto equilibrio nello scegliere interventi efficaci che non rovinino il pregio del manufatto sul quale si interviene. Oltre a ciò, usualmente ogni manufatto mostra delle peculiarità specifiche e dunque, nonostante sia possibile utilizzare tecniche di intervento comuni, è necessario adattare ciascuna di esse ad ogni singolo caso.

Con queste problematiche si è affrontato lo studio e l'applicazione del rinforzo sismico e del restauro di due edifici di pregio, l'Oratorio di Sant'Antonio da Padova ed il Casino delle Delizie, entrambi nel centro storico del L'Aquila ed entrambi gravemente danneggiati dal sisma del 2009.

Il primo, risalente al XVI secolo, è caratterizzato da stucchi e decorazioni di grande pregio intimamente collegate alla struttura, il secondo risalente al XVII secolo, contiene affreschi di particolare importanza attribuiti a Monaldi discepolo di Raffaello. Dal punto di vista della vulnerabilità sismica le strutture sono caratterizzate da un'importante differenza, nel caso dell'oratorio di Sant'Antonio, la maggiore criticità è derivata dalla geometria stessa, ossia dalla presenza di un corpo di fabbrica ad ambiente unico senza orizzontamenti intermedi tra corpi di fabbrica realizzati con solai rigidi intermedi, mentre nel caso del casino delle delizie, le criticità sono imputabili principalmente agli interventi successivi alla fase di realizzazione che ne hanno peggiorato il comportamento strutturale.

2. ORATORIO DI S. ANTONIO

L'Oratorio di S. Antonio è ubicato all'interno di un aggregato edilizio situato a breve distanza da piazza Duomo ed è interamente vincolato dal Ministero dei Beni Culturali (MIBAC). L'aggregato comprende sei unità strutturali (US) in muratura, costruite in epoche diverse ma fortemente interdipendenti dal punto di vista strutturale. L'Oratorio è ubicato in posizione centrale rispetto all'aggregato (figura 1) ed è composto da un unico ambiente di altezza pari a 13 metri senza orizzontamenti intermedi, mentre gli altri ambienti, solitamente accessori dell'oratorio, quali il presbiterio, la sacrestia ed il campanile sono strutturalmente appartenenti ad una unità strutturale adiacente. La prima edificazione dell'oratorio risale al 1646 ma il termine dei lavori è avvenuto solo poco prima del terremoto del 1703 e, a quella data, si riferiscono interventi importanti di restauro e ricostruzione della parte alta seicentesca.



Figura 1: Individuazione delle unità strutturali

Il prospetto principale mostra un decoro barocco con cornicioni e paraste all'interno ed all'esterno. La facciata principale (figura 2) è divisa orizzontalmente da un cornicione a profilo spezzato, inquadrato da quattro lesene che segnano i limiti del prospetto. Sulla facciata, al primo ordine inferiore, sono visibili finestre seicentesche e due portali di accesso alla chiesa, disposti simmetricamente rispetto alla statua del santo, opera di Ercole Ferrata. Nella parte superiore della facciata compaiono altre bucaure, sicuramente di periodo settecentesco, meno ricercate nel dialogo scultoreo ma più inserite "a cornice" rispetto ad una facciata seicentesca. Anche i cornicioni denotano una diversità di peso e di profondità e sono databili ad epoche poco differenti.



Figura 2: Prospetto dell'aggregato sulla facciata principale

2.1 Danno e vulnerabilità dell'Oratorio

Il danno provocato dal sisma del 2009 alle strutture e agli apparati decorativi è da mettere in relazione soprattutto a vulnerabilità intrinseche della struttura, come la presenza di un corpo di fabbrica ad ambiente unico, alto circa 13 metri, senza orizzontamenti intermedi ma circondato da corpi di fabbrica con solai intermedi rigidi, una debole connessione tra i paramenti murari oltre a scarsa qualità muraria. Tra i danni principali si rileva, in corrispondenza di una delle facciate, una inflessione del paramento esterno della muratura ed un crollo parziale verificatosi sulla parete che sostiene l'organo e posta a confine con una US adiacente (figura 3a). Questi ultimi sono da imputare in parte al peso dell'organo, ma principalmente all'interazione dei solai nella parte retrostante che, a seguito di azioni cicliche orizzontali, hanno favorito la separazione dei paramenti fino al crollo. Danni importanti, dovuti principalmente all'assenza di presidi trasversali come le catene, si sono verificati anche nell'abside e nell'arco trionfale oltre che nella vela campanaria (figura 4a). In tale contesto gli apparati decorativi,

anche se fortemente lesionati, hanno evidenziato una buona resistenza allo scuotimento sismico. Lungo la facciata secondaria (su via S. Antonio) parte della muratura nell'intorno ad un'edicola votiva si è disgregata con una inflessione del paramento esterno (figura 4b).

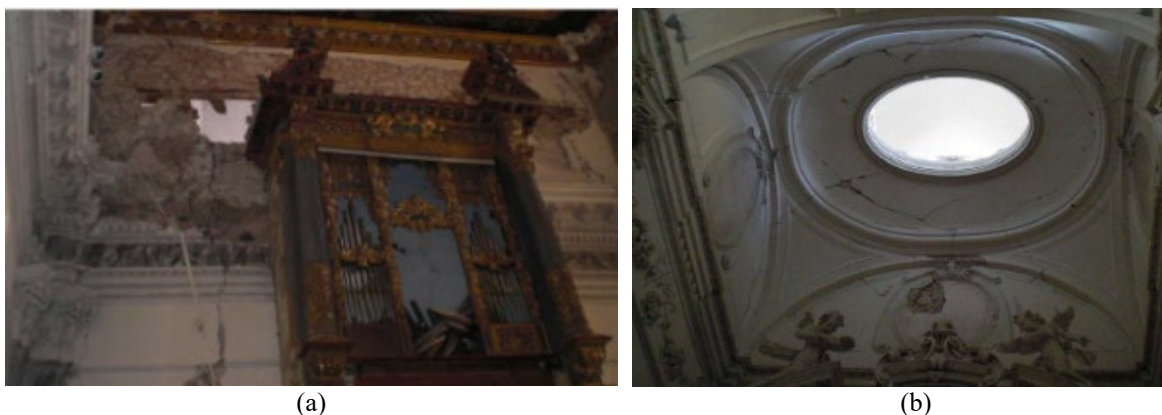


Figura 3: a), disgregazione della parete dietro l'Organo b) cupola abside



Figura 4 : a) rotazione della vela campanaria, b) inflessione della muratura

3. IL CASINO DELLE DELIZIE BRANCONIO

Il Casino delle Delizie Branconio è ubicato all'interno del tessuto edilizio del centro storico di L'Aquila a breve distanza da piazza San Silvestro. L'edificio di pianta rettangolare è composto da un'unica unità strutturale isolata e collegata ad un muro coevo, non rilevante ai fini del comportamento sismico della struttura, che perimetra una corte privata (figura 5). Negli anni trenta del secolo scorso il Casino è stato oggetto di un intervento di ristrutturazione che ne ha modificato sostanzialmente l'architettura originaria e il sistema strutturale. Per quanto riguarda l'aspetto architettonico si è conservato soltanto il prospetto principale mentre gli altri sono stati profondamente modificati.

Grazie ad una campagna di scavi archeologici eseguiti dopo l'allestimento del cantiere si è potuta confermare la presenza di partiture murarie corrispondenti a diverse fasi costruttive.



(a)



(b)

Figura 5: a) vista di insieme dell'Oratorio, b) prospetto principale dal giardino



(a)



(b)

Figura 6: a) volta in muratura del piano primo, b) cordolo in cemento armato di recente realizzazione

La rimozione dei pavimenti ha inoltre permesso di esaminare la stratigrafia sottostante e di osservare una serie di strutture murarie che sono parte di una diversa articolazione dell'edificio precedente ai lavori novecenteschi. Le murature sono costituite da due paramenti accostati con elementi di forma e tipologia differente a partire dal piano seminterrato e dalle fondazioni dove sono presenti pietre sbazzate con a tratti, ricorsi in mattoni a tessitura orizzontale. Al piano primo le pietre sono più piccole, non sono presenti i ricorsi in mattoni e la tessitura non presenta la stessa orizzontalità del piano terra. Qui, limitatamente all'ambiente di maggiori dimensioni (salone affrescato), è presente una volta in pietra (figura 6a) mentre le altre cellule murarie sono coperte da solai in ferro e tavelloni. Lo smontaggio dei pavimenti e dei massetti ha messo in evidenza catene, sia lignee che metalliche, danneggiate o con Capo chiave insufficiente. La copertura è realizzata con capriate lignee e arcarecci, semplicemente poggiati sulle quinte murarie trasversali, e tavolato.

3.1 Danno, Vulnerabilità e sistema strutturale

La rimozione degli intonaci ha messo in evidenza le strutture verticali profondamente modificate nella loro configurazione originaria a seguito dell'intervento realizzato negli anni trenta del secolo scorso, con inserimento di elementi impropri in cemento armato come il cordolo di copertura (figura 6b) e le piattabande e la sostituzione dei solai lignei con solai in ferro e tavelloni.

Il danno dovuto al terremoto del 2009 è imputabile principalmente a tali interventi che hanno sostanzialmente peggiorato il comportamento della struttura. Questi ultimi hanno introdotto vulnerabilità aggiuntive al sistema strutturale senza peraltro prevedere alcun presidio antisismico, quali catene o tiranti.

L'evento sismico del 2009 ha provocato danni gravissimi a tutta la struttura ed in particolare al ciclo degli affreschi, che hanno subito dissesti e caduta di porzioni di dipinto (figura 7) oltre che distacco

dell'intonachino decorato dal sottostante supporto murario. Si sono prodotte larghe crepe che attraversano i dipinti e numerose fessurazioni che rendono l'adesione della stesura pittorica molto precaria e a rischio di distacco. Nell'angolo della sala affrescata all'incrocio con la parete realizzata negli anni 30 si sono formate profonde lesioni passanti. La struttura è stata interessata dal ribaltamento delle pareti del secondo livello e dalla flessione orizzontale e verticale delle pareti del salone affrescato. L'analisi del danno, rilevato con maggiore sicurezza dopo la rimozione degli intonaci, ha consentito di formulare alcune ipotesi relative al comportamento del complesso edilizio a seguito del terremoto del 2009.

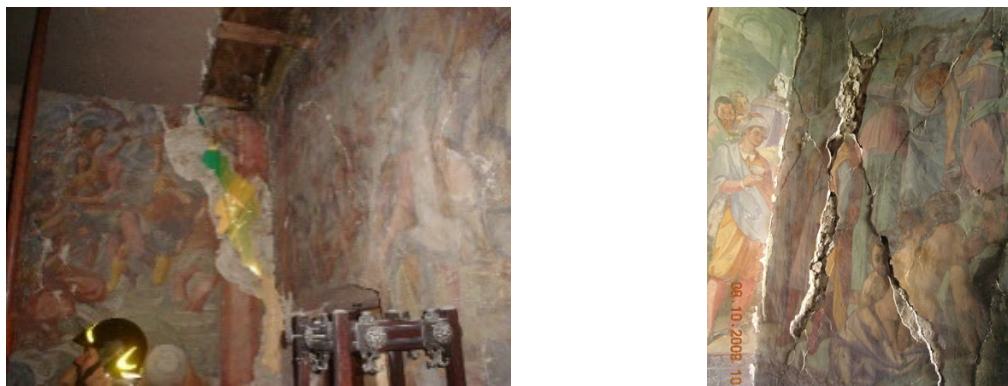


Figura 7: lesioni sugli affreschi al piano primo

L'assenza di collegamenti di piano in senso longitudinale e la scadente connessione tra le pareti, hanno favorito il cinematisimo di ribaltamento di una facciata, reso evidente dalle profonde lesioni sugli affreschi. Per quanto riguarda i meccanismi nel piano, sono visibili all'esterno e all'interno profonde lesioni ad andamento diagonale (figura 8), in particolare lungo la rampa di scale che conduce al salone affrescato e lungo la parete del salone stesso.



Figura 8 : lesioni da taglio

4. – L'INTERVENTO DI RIPARAZIONE DEL DANNO E MIGLIORAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE E DEGLI APPARATI DECORATIVI

Per l'Oratorio la strategia globale adottata ha visto la riparazione del danno sismico attraverso la ricostruzione della parete dietro l'organo ed il miglioramento del suo ammassamento con le due pareti longitudinali. Si è intervenuto anche migliorando le qualità meccaniche della muratura pur non potendo farlo in modo diffuso a causa della presenza di numerosi apparati decorativi. La spicconatura dell'intonaco è stata eseguita all'esterno, ad eccezione delle parti coperte dalle paraste lapidee, e all'interno in modo più esteso, ad eccezione delle parti interessate dagli altari, dal cornicione e dalle stesse paraste decorate. Il rinforzo è stato eseguito con l'applicazione di malta fibrorinforzata e rete in tessuto di basalto [2] [3] [4], utilizzando connessioni trasversali realizzate in tessuto di acciaio o con barre elicoidali in acciaio inossidabile. Gli interventi locali sono stati calibrati per mitigare la vulnerabilità delle strutture e degli apparati decorativi che, nel caso specifico, sono fortemente integrate.

In particolare, occorre fare una distinzione per l'intervento sulle quattro pareti dell'Oratorio. L'intervento di restauro delle zone non interessate dalle decorazioni è stato realizzato con intonaco rinforzato con rete di basalto, iniezioni di malta di calce e connessioni trasversali elicoidali in acciaio inox. Particolare attenzione è stata rivolta al consolidamento della muratura dietro l'altare e nel contorno della edicola in pietra poiché mostravano evidenti segni di disgregazione della muratura, seppur in presenza di un danno nullo della stessa edicola. Probabilmente la maggiore rigidità dell'edicola, rispetto alla muratura, ha incrementato il livello di danno locale. La vela campanaria è stata smontata e ricostruita con mattoni pieni e la posa delle pietre smontate nella loro posizione originaria ed inserendo barre in acciaio inox verticali ed orizzontali (figura 9).



Figura 9: ricostruzione della volta campanaria

La parete trasversale, che include l'abside, internamente è ricoperta da stucchi, mentre sul lato opposto sono presenti due orizzontamenti a volta che spezzano l'altezza e introducono una vulnerabilità intrinseca in parte mitigata con il collegamento della parete agli stessi orizzontamenti. La parete dietro l'organo, parzialmente crollata dopo il sisma del 2009, è stata ricostruita con mattoni pieni e le pietre originarie, collegandola su più livelli alle pareti longitudinali con tirantini in acciaio. L'organo poggia sulla struttura della cantoria che è realizzata con un sistema di mensole e travi lignee ancorate nelle pareti perimetrali. Per le travi lignee è stato migliorato l'appoggio con cuffie e profili in acciaio. Sono stati previsti altri interventi localizzati con l'inserimento di perforazioni armate in calza di tessuto sull'arco trionfale dell'abside, il rinforzo all'intradosso delle piattabande con intonaco con fibra di basalto (FRCM) ed un diffuso intervento di collegamento delle statue alla struttura, con perni in acciaio inox, al fine di evitarne il ribaltamento.

Per il Casino delle Delizie va fatta una distinzione tra la zona del salone affrescato, che conserva la volta al primo orizzontamento, la scala voltata e le pareti affrescate del salone, ed il resto del corpo di fabbrica. Questa parte dell'edificio nel 1934 è stata modificata con la sostituzione di una parete (su via Porcinari), originariamente realizzata con pietre e mattoni di varia pezzatura, con una in cemento debolmente armato di pessima fattura che ha contribuito ad elevare la vulnerabilità dell'edificio e favorito il danneggiamento di tale zona e del salone affrescato. In conseguenza di tale intervento erroneamente concepito, si è verificato un principio di ribaltamento composto della stessa parete che ha provocato una lesione di ampiezza rilevante negli affreschi. Nella zona non affrescata gli orizzontamenti sono rettilinei, e come già detto, sono presenti, all'esterno, inserimenti neo-liberty ed un loggiato realizzato con mattoni forati e pilastri in mattoni. L'intervento di restauro è stato realizzato mediante il consolidamento con iniezioni di malta di calce naturale e l'inserimento di connessioni trasversali elicoidali in acciaio inox, utilizzate anche per la cucitura delle lesioni. Particolare attenzione è stata rivolta al consolidamento delle pareti affrescate del Casino delle Delizie di cui si riporta la sequenza delle fasi operative:

- messa in sicurezza degli affreschi con velinatura;
- spicconatura dell'intonaco sul lato opposto agli affreschi, bonifica della muratura e riparazione del danno;

- preparazione della parete con lavaggio, depolverizzante e applicazione di nano-calci per il pre-consolidamento della parete attraverso il consolidamento della sola malta decoesa;
- rinzafo della parete con malta di calce;
- consolidamento del ciclo degli affreschi;
- consolidamento della muratura con iniezioni di malta di calce e inserimento di barre elicoidali in acciaio inox nei fori precedentemente realizzati (figure 10a e 10b);
- consolidamento delle volte con malta di calce e rete in tessuto di basalto [5];
- realizzazione dei collegamenti di piano con profili in acciaio solidarizzati alle pareti perimetrali con connessioni in acciaio per evitare l'attivazione dei meccanismi di ribaltamento;
- recupero e ri-collegamento di tutte le catene esistenti;
- demolizione e ricostruzione, con corretto ammassamento, di tutte le pareti esterne realizzate nel 1934.



(a)



(b)

Figura 10: a) connessione delle murature con barre elicoidali, b) iniezioni di consolidamento

5. LA VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI APPARATI DECORATIVI

Gli indicatori che caratterizzano la vulnerabilità degli apparati artistici sono stati valutati con lo stesso approccio utilizzato per la parte strutturale ed indicato nelle direttive del Mibac [1]. Per tale valutazione, che prevede per gli apparati storico artistici uno specifico livello di sicurezza (Stato limite di danno dei Beni Artistici – SLA), è stato utilizzato sia un criterio tipologico che meccanico. Con il criterio tipologico si è tenuto conto del materiale, dello stato di conservazione e del grado di connessione con la struttura e, sulla base di questi elementi, è stato formulato un giudizio di vulnerabilità. Con il criterio meccanico si è lavorato su due livelli: il primo con analisi cinematiche e verifiche locali (utilizzate per dimensionare i presidi come catene e connessioni in acciaio ed esteso a tutti gli elementi strutturali significativi), il secondo con una verifica globale, sviluppata con una schematizzazione a telaio equivalente, che ha fornito utili indicazioni sul comportamento e gli spostamenti della struttura e degli apparati decorativi.

Si osservi tuttavia che, almeno nel caso dell'Oratorio, la verifica globale non può essere considerata significativa a causa dell'elevata estensione dell'aggregato, della interazione con le US adiacenti e delle numerose discontinuità strutturali. Le verifiche locali sono state effettuate sia per le strutture che per gli apparati decorativi per dimensionare le connessioni e i rinforzi locali.

Sia il restauro degli apparati storico-artistico, che il consolidamento delle strutture, sono stati progettati in modo integrato indagando sull'interazione tra le componenti artistiche e strutturali. Tale fase ha visto uno studio complesso e differenziato tra i due interventi in quanto, mentre nell'Oratorio sono presenti elementi decorativi differenti per tipologia (stucchi, elementi lapidei ed in legno, dipinti), nel Casino delle Delizie gli elementi di elevato interesse artistico sono principalmente gli affreschi, presenti su circa il 30% della superficie muraria interna.

La vulnerabilità degli apparati decorativi è stata analizzata qualitativamente in funzione della loro interazione con la struttura di supporto differenziandoli in:

a - *apparati decorativi che collaborano con la struttura architettonica* (in materiale lapideo, metalli, legno, ecc.) *realizzati durante la costruzione che assolvono, oltre alla funzione estetica, anche a quella strutturale* come, per l'Oratorio, gli imbotti dei portali e delle finestre, la struttura muraria della vela campanaria o le travi lignee della cantoria. Questi elementi influenzano il comportamento della struttura sia a causa della massa significativa sia a causa del contributo alla resistenza o alla vulnerabilità. Un esempio è il cassettonato dell'Oratorio che assolve anche ad una funzione di controvento orizzontale. Gli interventi di restauro e consolidamento di questi beni sono stati previsti sia nell'ambito del consolidamento della struttura, sia nell'ambito di un restauro storico – artistico – estetico come il su citato cassettonato che, oltre ad essere stato rinforzato all'estradosso, è stato restaurato negli apparati decorativi all'intradosso.

b - *decorazioni applicate sulle strutture* come le pitture murali del Casino delle Delizie e le pitture presenti sul cassettonato dell'Oratorio. Questi elementi, come gli affreschi presenti all'interno del Casino delle Delizie, essendo applicati sulle murature ne condizionano l'intervento di rinforzo, oltre a richiedere uno studio specifico per il loro consolidamento per il quale, state impiegate tecnologie compatibili con le esigenze di conservazione.

c - *decorazioni scultoree applicate-poggiate sulla muratura aventi massa significativa e senza contributo alla resistenza* come le grosse statue presenti negli altari, i cenotafi, i cornicioni in stucco e, nel caso specifico del Casino delle Delizie, l'Organo poggiato sulla cantoria e vincolato alla parete della unità strutturale adiacente. Le operazioni di restauro e di riparazione del danno hanno evidenziato che gli elementi di collegamento tra il modellato scultoreo e la muratura portante avevano perso la loro funzione a causa del deperimento dei materiali (legno) o per la rottura della muratura, provocando crolli o distacchi. Questi sono evidenti in particolare sul cornicione dell'oratorio, costruito con elementi lignei inseriti nella muratura e ricoperti da mattoni pieni e rifiniti con stucco, che ha subito danni dovuti alla rottura degli elementi lignei o allo sfilamento degli stessi dalla muratura.

La valutazione della vulnerabilità degli apparati decorativi, ed in particolare della connessione con la struttura, ha consentito di definire la strategia complessiva di intervento che è stata graduata su due livelli: globale e locale.

5.1 Verifica alle azioni ordinarie e sismiche di alcuni apparati decorativi e artistici

Per alcuni apparati decorativi dell'Oratorio, come gli altari sulle pareti laterali e le statue, è stata effettuata una verifica semplificata.

Altari e paraste: questi elementi sono poggiati direttamente alla muratura cinquecentesca. In corrispondenza dei punti di contatto si sono manifestate lesioni e distacchi visibili particolarmente negli elementi decorativi in lapideo e stucco. Nel caso dell'altare su via S. Marciano questo è da mettere in relazione alla flessione orizzontale delle pareti e alla risposta trasversale dell'aula. La verifica locale è stata effettuata sia con analisi cinematica lineare che non lineare, confrontando il meccanismo di ribaltamento con cerniera alla base nella condizione pre-intervento (dopo il sisma del 2009) ed in quella post-intervento schematizzata con una connessione per ciascun lato. Nella verifica in condizione pre-intervento, sia della struttura integra che danneggiata dal sisma, il cinematismo non risultava verificato per nessuno degli stati limite previsti dalla normativa mentre, con l'intervento progettato il meccanismo è verificato nei confronti dello SLV e dello SLA.

Statue: L'intervento di messa in sicurezza ha visto l'esecuzione di ancoraggi puntuali nelle zone di maggiore rilievo (statue, ghirlande, stemmi, ...) e ad integrazione è stata migliorata l'adesione tra il supporto murario e l'apparato decorativo con malta a base calce superfluida. Gli ancoraggi sono stati dimensionati con analisi cinematica lineare.

6. CONCLUSIONI

Partendo dalla analisi delle due architetture e dalla interazione tra struttura e apparati decorativi attraverso valutazioni qualitative e meccaniche della vulnerabilità è stata messa a punto la strategia complessiva di intervento con l'obiettivo di conferire all'intero corpo di fabbrica una capacità sismica omogenea ed è stata valutata la capacità alle azioni sismiche dei Beni Storico Artistici.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme Tecniche sulle costruzioni (D.M. 14-01-2008) Ministero dei Beni Architettonici e Culturali 2011 (GU Serie Generale n.47 del 26-02-2011 - Suppl. Ordinario n. 54)

[2] Balsamo A., Iovinella I., Morandini G., Maddaloni G., Experimental investigation on IMG masonry reinforcement Proceeding of 37th IABSE Symposium on Engineering for Progress, Nature and People Madrid 3 September 2014 through 5 September 2014 Code 111981

[3] Parisi F., Iovinella I., Balsamo A., Augenti N., Prota A., In-plane behaviour of tuff masonry strengthened with inorganic matrix-grid composites in diagonal compression Proceeding of 15th European Conference on Composite Materials: Composites at Venice, ECCM 2012 24 June 2012 through 28 June 2012 Code 106145

[4] Luso E., Lourenço P.B., Experimental characterization of commercial lime based grouts for stone masonry consolidation - Construction and Building Materials Volume 102, Part 1, 15 January 2016, Pages 216-225

[5] De Santis S., de Felice G., Roscini F., "Retrofitting of Masonry Vaults by Basalt Textile- Reinforced Mortar Overlays" International Journal of Architectural Heritage Conservation, Analysis, and Restoration Volume 13, 2019 - Issue 7: Special issue on SAHC 2018 Conference doi.org/10.1080/15583058.2019.1597947