

Gianluigi Palmieri (g.palmieri@edilcamsistemi.com)

Il miglioramento sismico dei beni monumentali con il sistema CAM

Introduzione

Le strutture di edifici vecchi o antichi sono spesso caratterizzate da un apparecchio murario a due paramenti, poco o affatto collegati tra loro, e con scarse caratteristiche meccaniche. Le tecnologie moderne di rafforzamento antisismico (intonaco cementizio armato, iniezioni, etc.), oltre ad essere molto invasive e per lo più non reversibili, hanno rivelato notevoli limiti nella loro efficacia negli ultimi terremoti italiani. La necessità di compattare la massa muraria, per migliorarne le caratteristiche di resistenza e duttilità, suggerisce l'idea di utilizzare un sistema tridimensionale di tirantature, idea sulla quale si basa il sistema CAM, Cuciture Attive per la Muratura o Cerchiaggio Attivo dei Manufatti [1].

Il sistema CAM si caratterizza per la sua totale reversibilità e pressoché nulla invasività, la durabilità nel tempo, la compatibilità con la bioarchitettura, l'estrema flessibilità di applicazione a problematiche diverse. I tiranti, nelle usuali applicazioni, sono realizzati con nastri di acciaio inossidabile, che, essendo pretesi, applicano un leggero stato di precompressione al corpo murario. Grazie agli speciali elementi di connessione, i nastri d'acciaio realizzano un sistema continuo di tirantatura, orizzontale, verticale e trasversale, anche in grado di ripercorrere le irregolarità della muratura, così da migliorare la resistenza a taglio e flessionale dei singoli maschi murari, nel loro piano e fuori di esso, e delle pareti nel loro insieme. Il sistema CAM è stato sottoposto a prove sperimentali, sia nei suoi componenti metallici, sia nelle applicazioni su pannelli e su pilastri murari e su modelli in scala di edifici murari [2]. Numerose sono le applicazioni già effettuate, che hanno dimostrato la piena applicabilità del sistema per la risoluzione delle diverse problematiche, sia di rafforzamento antisismico che di consolidamento statico, degli edifici con murature tipiche dei centri storici italiani (<http://www.edilcamsistemi.com/>)

Le caratteristiche sopra menzionate del sistema CAM ne evidenziano la particolare attitudine ad essere utilizzato per gli interventi sui beni monumentali, nei quali spesso le murature presentano quelle caratteristiche di forte deterioramento e di insufficiente portanza, tali da richiedere altrimenti interventi molto invasivi e non reversibili.

Nel seguito vengono brevemente descritti due interventi, l'uno, più complesso, con finalità principalmente antisismiche, l'altro di semplice consolidamento statico, che illustrano le potenzialità del sistema nel settore dei beni culturali.

Rafforzamento antisismico del campanile della chiesa di S.Maria delle Grazie di Ururi

Il campanile della chiesa di S.Maria delle Grazie di Ururi, presentava, prima dell'intervento, condizioni di estrema precarietà, a causa sia della pessima qualità dell'apparecchio murario, eterogeneo, con vuoti interni e indebolimenti locali determinati da nicchie e aperture eseguite in tempi successivi, e della malta, sia dei danneggiamenti, lesioni e spancamenti, conseguenti ad eccessi locali di carico ed alle scosse sismiche del 31.10.2002. A ciò si aggiungeva una inadeguatezza delle fondazioni, cui in un recente passato si era cercato di porre parzialmente rimedio con un intervento molto limitato, e la necessità di ricostruire ex-novo la torre campanaria.

L'intervento di rafforzamento del campanile si configura come intervento di miglioramento sismico ai sensi dell'OPCM 3274 e s.m.i., ma anche di consolidamento statico e completamento.

Data l'importanza dell'opera e le conseguenze che un crollo pur parziale potrebbe comportare per le costruzioni limitrofe, in primis la chiesa adiacente, si è ritenuto opportuno comunque progettare l'intervento ed effettuare le verifiche di resistenza assumendo le azioni sismiche competenti all'area definite dalle Direttive Tecniche della Regione Molise per gli "interventi su immobili privati e sugli edifici pubblici e scolastici" (Decreto del 26 aprile 2005), e quindi $a_g=0.20g$ e $S=1,25$ (suolo tipo BCE). Si consegue così la sicurezza competente ad un vero e proprio adeguamento sismico, prescindendo dall'adozione di coefficienti di importanza maggiori di 1.

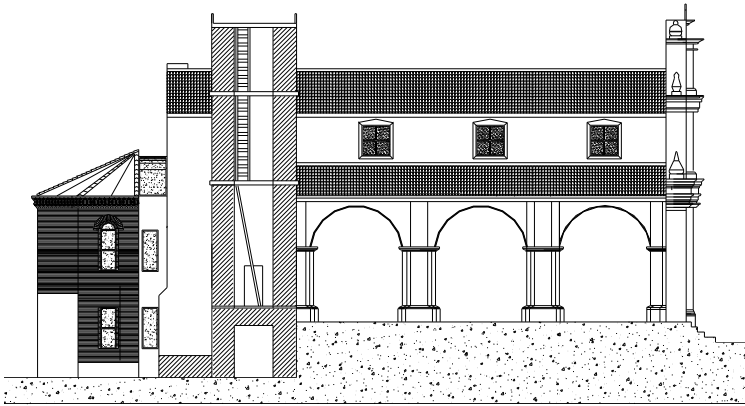


Fig. 1 – Sezione Longitudinale - Stato di fatto

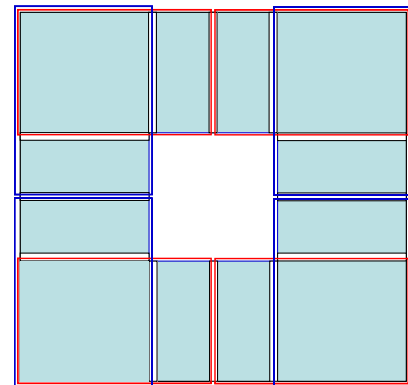


Fig. 2 - Schema di applicazione del sistema CAM in sezione orizzontale

L'intervento è consistito essenzialmente in:

1. Rafforzamento delle fondazioni mediante micropali in grado di assorbire le azioni sismiche trasmesse in fondazione e migliorare la condizione statica del manufatto.
2. Rafforzamento della struttura in elevazione a partire dal piano di calpestio della chiesa mediante il sistema CAM (Cuciture Attive della Muratura), secondo lo schema riportato in Fig. 2. Tale intervento, che si caratterizza per la minima invasività (sono solo necessari alcuni fori nella muratura di diametro circa 35 mm, indispensabili per realizzare un collegamento trasversale efficace tra i paramenti murari interno ed esterno) e totale reversibilità, applica alla muratura un'azione di contenimento, fornendole nel contempo una maggiore resistenza e duttilità a compressione, a taglio e a flessione, grazie alla continuità dei nastri di contenimento. All'intervento con il CAM si accompagna, particolarmente nella parte inferiore soggetta a più elevati sforzi di compressione, l'esecuzione di iniezioni cementizie atte a migliorare la coesione interna dell'apparecchio murario. Tutte le nicchie presenti nella struttura sono state tamponate con nuova muratura ammorsata a quella esistente e inglobata nell'intervento di cucitura.
3. Ricostruzione della cella campanaria, attualmente non più presente in quanto demolita in precedenti lavori. La nuova cella è realizzata in muratura armata nella parte inferiore, in modo da mantenere la coerenza della tipologia strutturale e non appesantire troppo la struttura, e con una leggera intelaiatura in acciaio nella parte superiore.

Nelle figg. 3-6 sono riportate alcune foto del campanile prima e durante l'intervento, che illustrano il precario stato della struttura muraria ed alcune fasi di esecuzione. Al termine dell'intervento strutturale le superfici esterne del campanile sono state intonacate, occultando completamente l'intervento.

Una particolarità notevole delle procedure costruttive adottate consiste nella doppia funzione del CAM, utilizzato sia per la messa in sicurezza del campanile, attraverso l'immediata disposizione di nastri cerchianti nelle parti più deteriorate e pericolose, sia per il rafforzamento definitivo, che

ha inglobato le stesse nastrature nel sistema di rafforzamento adottato nel progetto. Si è realizzato così un risparmio ed una velocizzazione dei lavori.

Il progetto di consolidamento e miglioramento sismico è stato redatto dello studio METIS s.r.l..



Fig. 3 – Condizione del campanile prima dell'intervento: è visibile l'eterogeneità dell'apparecchio murario, sganciamenti, lesioni e la presenza di catene metalliche di cerchiatura, eliminate a seguito dell'intervento.

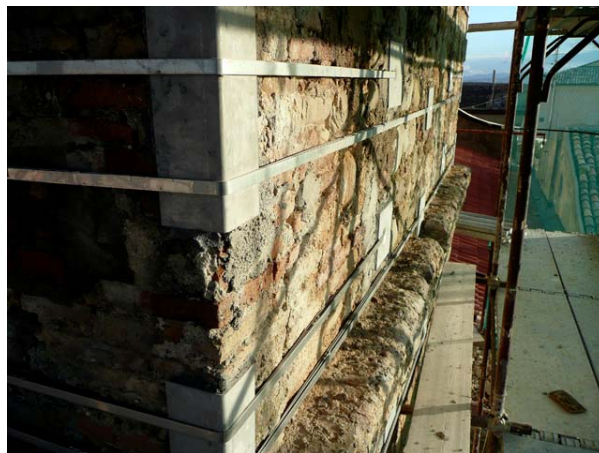


Fig. 4 – Applicazione del CAM, vista dall'esterno: gli allineamenti dei nastri in acciaio comprendono 5 nastri sovrapposti in modo da fornire adeguata resistenza al sistema di cerchiatura.



Fig. 5 – Applicazione del CAM: vista dall'interno della chiesa in corrispondenza di una colonna della chiesa a contatto con il campanile.



Fig. 6 - Applicazione del CAM: vista dall'interno della chiesa di una parete comune a chiesa e campanile.

Consolidamento delle colonne del Chiostro nel Convento dell'XI secolo di Santa Monica a Cremona

L'intervento descritto è relativo alle 13 colonne a sezione ottagonale del chiostro e costituisce il completamento dell'intervento più generale di consolidamento del convento, progettato dallo studio Calvi s.r.l.. Le esigenze da soddisfare erano la messa in sicurezza delle colonne, che presentavano evidenti segni di schiacciamento, e l'adozione, per quanto possibile, di un sistema poco invasivo e totalmente reversibile. Il CAM è stato individuato dai progettisti come sistema in grado di

soddisfare pienamente tali esigenze e dello stesso avviso è stata la Soprintendenza, essendo il monastero vincolato.

Nelle figg. 7-9 sono riportate alcune immagini del chiostro e delle colonne prima e dopo l'intervento di cerchiatura. Nella condizione finale, le nastrature in acciaio inox sono ricoperte con intonaco. La copertura con intonaco, oltre naturalmente ad occultare l'intervento, riduce sensibilmente le escursioni termiche subite dal nastro, escursioni che potrebbero ridurre l'efficienza della pretensione iniziale, a causa della conseguente dilatazione del nastro.

Poiché in una prima fase della progettazione si era ipotizzato che le colonne potessero non essere intonacate, lasciando così a vista l'intervento, si è voluto sperimentare la possibilità di utilizzazione dei nastri al titanio, materiale caratterizzato da un coefficiente di dilatazione termica circa metà di quello dell'acciaio inox e da una maggiore resistenza, oltre alla buona duttilità e alla resistenza agli agenti esterni. Nella fig. 10 è mostrata tale applicazione.



Fig. 7 – Vista del colonnato del chiostro prima dell'intervento sulle colonne.



Fig. 8 – Vista del colonnato del chiostro dopo l'intervento di cerchiatura sulle colonne.



Fig. 9 – Intervento di cerchiatura con il CAM sulla singola colonna.

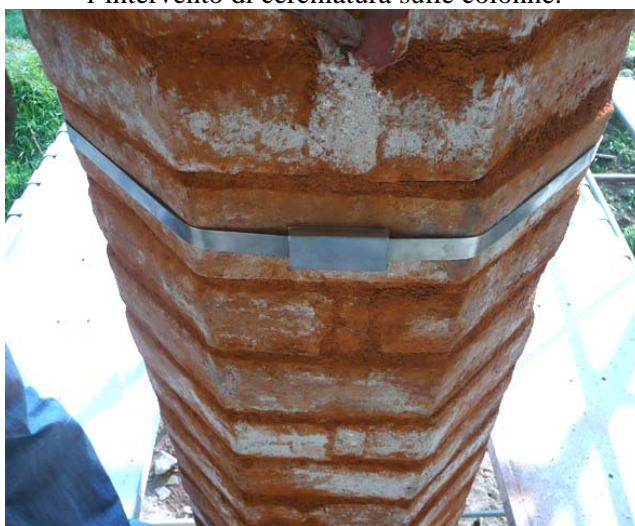


Fig. 10 - Cerchiatura mediante nastro in titanio.

Riferimenti

[1] Dolce M., Marnetto R., Nigro D., Ponzo F.C., Rafforzamento delle strutture murarie: Il sistema CAM di Cuciture Attive per la Muratura, Atti del 10o Convegno L'Ingegneria Sismica in Italia, Settembre 2001, Potenza/Matera.

[2] Dolce M., Ponzo F.C., Goretti A., Moroni C., Nigro D., Giordano F., De Canio G., Marnetto R., 3d dynamic tests on 2/3 scale masonry buildings upgraded with different systems, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Oct. 12-17, Beijing, China.