



TECNICHE E MATERIALI APPROPRIATI PER LA RICOSTRUZIONE DEGLI EDIFICI STORICI DI CULTO A L'AQUILA DOPO I CROLLI DELL'APRILE 2009

Angelo Di Tommaso

Università IUAV di Venezia
LabSCo - Laboratorio di Scienza delle Costruzioni
Unità di Ricerca CdSM – Controllo Strutture Monumentali
S. Croce 191, Tolentini, Venezia
adt@iuav.it

Sommario. *Nel presente lavoro sono analizzati alcuni crolli di edifici di culto a L'Aquila per il terremoto dell'Aprile 2009. Alcune situazioni ricorrenti in relazione a schemi strutturali, tessitura muraria e materiali tipici del luogo vengono commentate alla luce delle vulnerabilità responsabili degli eventi catastrofici. Tra i casi di studio viene esaminata in particolare la situazione della chiesa di S. Pietro da Coppito nella quale la tessitura muraria storica ed i precedenti interventi di rinforzo hanno caratterizzato un meccanismo di collasso della torre campanaria e della facciata.*

Le installazioni di presidio, in gran parte ora completate, sono state finalizzate in gran parte a non ostacolare le prossime opere di ricostruzione: in questo senso sembra avere una posizione preminente il sistema a "cinturazione" rispetto ai sistemi tradizionali a "puntello", a "contrasto" e a "gabbia".

I programmi di ricostruzione dovranno utilizzare tecniche sismo-resistenti compatibili con una riproduzione rispettosa dei caratteri peculiari delle costruzioni storiche pre-esistenti. I materiali e le tecniche da adottare dovranno consentire un incremento, rispetto alla situazione ante-sisma, della capacità di assorbimento dell'energia conferita alle strutture dal sisma. Su questi principi si basano le proposte operative esaminate nell'articolo.

TÉCNICAS Y MATERIALES APROPIADOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS RELIGIOSOS EN L'AQUILA DESPUÉS DEL TERREMOTO DE 2009

Angelo Di Tommaso

Universidad IUAV de Venecia
LabSCo - Laboratorio de Ciencias de la Construcción
Unidad de Investigación CdSM – Control de Estructuras Monumentales
S. Croce 191, Tolentini, Venecia
adt@iuav.it

Sumario. *En el presente trabajo se analizan algunos casos de derrumbes de edificios religiosos que se produjeron en la ciudad de L'Aquila por el terremoto de abril de 2009. A la luz de los factores de vulnerabilidad responsables de los eventos catastróficos, se comentan algunas situaciones recurrentes en relación a esquemas estructurales, estructuras de mampostería y materiales típicos del lugar. Entre los casos que son objetos de este estudio, se analiza, en particular, la situación de la iglesia de San Pietro da Coppito, donde la estructura de mampostería histórica y las anteriores intervenciones de consolidación, caracterizaron un mecanismo de colapso de la torre-campanario y de la fachada.*

Las estructuras provisionales de soporte, ya han sido finalizadas en su mayoría para no obstaculizar las próximas obras de reconstrucción. En este sentido, parece tener una posición preminente el sistema de "cinturón" con respecto a los sistemas tradicionales de "apuntalamiento", "contrarresto" y "jaula".

Los programas de reconstrucción, deberán utilizar técnicas sismorresistentes compatibles con una reproducción respetuosa de las características peculiares de los edificios históricos preexistentes. Con respecto a la situación anterior al seísmo, los materiales y las técnicas que se vayan a adoptar deberán permitir un incremento de las capacidades de absorción de la energía suministrada por el mismo seísmo a las estructuras. En estos principios se basan las propuestas operativas analizadas en este artículo.

1) Introduzione

Il contenuto di questa memoria intende toccare tre punti fondamentali nello scenario del sisma aquilano del 2009.

Un'analisi di tipologie di crollo (meccanismi di collasso) di alcuni macroelementi di strutture monumentali di muratura, rappresentanti casi emblematici, in relazione a tessiture murarie locali tipiche e vulnerabilità intrinseche alla tecnologia costruttiva e alle forme architettoniche.

Una valutazione sull'evoluzione dei sistemi di pronto intervento (e presidio) per la salvaguardia dei beni architettonici post-sisma in relazione alle esigenze del successivo consolidamento e ricostruzione delle lacune murarie intervenute.

Infine una riflessione su alcune tecnologie appropriate per la ricostruzione nel rispetto delle esigenze della conservazione dell'eredità architettonica.

2) Murature tipiche aquilane, vulnerabilità intrinseche e meccanismi tipici di crollo

In un grande numero di casi osservati dallo scrivente la muratura degli edifici del centro storico aquilano, ivi compresi gli edifici monumentali di culto, è costituito da murature così composte:

conci di pietra locale non squadrata, a volte con presenza di giunti orizzontali regolarizzanti ma con spessore dei corsi variabile. Ossia i giunti orizzontali si distanziano tra loro in modo non costante. Spesso le malte sono inconsistenti per scarso potere legante. Rara è la presenza di diatoni e l'apparecchio murario si sostanzia spesso in due "foglie parallele" nel senso che le due facce del muro mostrano conci di pietrame, da entrambi i lati, ma sussistono discontinuità verticali, parallele alle facce, all'interno del muro. In molti casi non si tratta di "muratura a sacco" ma di apparecchio a "doppia foglia" o a "foglia multipla".

Perché questo apparecchio si è andato affermando nel tempo così da rappresentare "la muratura storica aquilana"? In realtà le maestranze disponevano del materiale lapideo locale, di buona resistenza e soprattutto facilmente lavorabile allo "spacco". Pietra di buona resistenza e bassa tenacità. I conci risultavano quindi di dimensione non ripetibile, con spigoli non sempre vivi e ad andamento non rettilineo con facce non ortogonali fra loro. In realtà le maestranze dovevano presentare alla committenza le due facce parallele (interna ed esterna) del muro: l'irregolarità dei conci implicava per forza di cose spessori di malta variabili.

Questo tipo di muratura ha sostanzialmente edificato importanti e monumenti di culto, anche quando le murature di grande snellezza realizzate rendevano estremamente vulnerabile al sisma lo stesso paramento murario (Fig. 1).

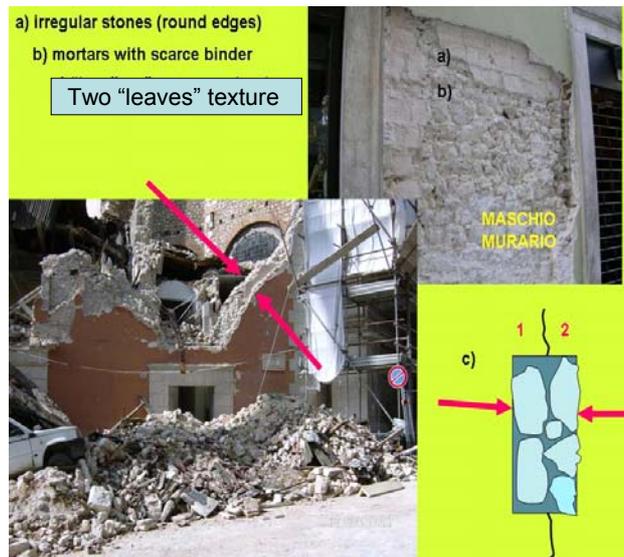


FIG. 1 - Muratura storica tipica a “doppia foglia”. Meccanismi di collasso per “de-foliazione”

I meccanismi di collasso evidenziati dal recente sisma si differenziano da quelli standard osservati su murature compatte di mattoni, presentatisi nei recenti sismi dell’Umbria e Marche. Per le azioni ortogonali al paramento, oltre ai meccanismi flessionali, pur sempre presenti, si aggiunge il meccanismo di *de-foliazione* ossia una delle due foglie (spesso quella esterna) si distacca poi ribaltandosi. L’assenza di diatoni facilita questo meccanismo anche perché l’energia di frattura dissipata è molto bassa in quanto le nuove superfici che si producono richiedono la frattura all’interno della malta: l’energia di frattura della malta è molto bassa in generale, nello specifico per quel tipo di malte aquilane molto, ma molto bassa. Da questo meccanismo se ne generano altri tipici susseguenti alla prima attivazione di de-foliazione anche in seguito agli sciami sismici che trovano un solido già lesa (Fig. 2).



FIG. 2 - Meccanismo di “de-foliazione”: la foglia esterna della muratura è collassata.

Abside di S.Eusanio Forconese.

I meccanismi di collasso per azioni dominanti nel piano del paramento sono anch’essi ibridi nel senso che la de-foliazione si attiva assieme alla cesura nel piano ortogonale al piano medio murario.

Questo stato della muratura di estrema vulnerabilità è compresente in tanti casi ad azioni spingenti di tetti lignei, spesso di conformazione caotica. Questo fatto ha generato altri collassi tipici originatisi nella parte alta degli edifici (Fig. 3).



FIG.3 – Problemi causati da strutture lignee caotiche e spingenti dei tetti

Questa muratura storica aquilana, nelle operazioni di restauro dell’ultimo decennio ha risentito del clima culturale dominante: minimo o nullo intervento strutturale, massimo impegno nella cosmesi esterna dei tessuti murari, ripuliti e lisciati, a volte con ristilatura usando malte “storiche” di scarsa resistenza...

Sono molteplici i casi di lavori di restauro appena ultimati o in atto al tempo del sisma. Nella facciata della chiesa di S. Biagio all’Aquila la parte inferiore riporta un nuovo intonaco “*anticato*”, nella parte alta la muratura a faccia vista ripulita e lisciata. Peccato che la vulnerabilità tipica di questo impianto architettonico, accentuata da un tetto appesantito da spessoramenti vari martellanti, abbia determinato il meccanismo di ribaltamento del timpano.

Tale meccanismo è tristemente noto sin dal sisma del Friuli, ma la finalità estetica degli ultimi interventi è stata l’unica perseguita. Il restauro della facciata di S. Biagio, ultimato qualche mese prima del sisma, non aveva ridotto quindi la vulnerabilità, dissipando così ingenti risorse economiche senza salvaguardare il bene.

Molto significativi e ricorrenti in Abruzzo i meccanismi di de-foliazione del paramento curvo absidale. Nelle strutture murarie compatte di mattoni è invece

ricorrente la fessurazione verticale dell’abside che tende ad aprirsi. Un caso significativo di de-foliazione dell’abside è occorso all’abside della chiesa di S. Eusanio Forconese ove gran parte della “foglia esterna” è crollata.

In anni passati il rifacimento di monumenti per riportarli alle forme architettoniche originali antiche era largamente praticato: la chiesa di S. Pietro da Coppito a L’Aquila ha avuto una singolare vicenda.

La facciata rifatta dopo il sisma del 1703 era di forme barocche, nel 1970 fu completamente rimaneggiata riproducendo le supposte forme originarie pre-sisma del 1703. Ora è questa la facciata che ha avuto i danni a seguito del sisma del 2009: quindi la vulnerabilità intrinseca è legata a lavori recenti. In quegli anni in cui l’interventismo strutturale era abbastanza attivo la torre campanaria della stessa chiesa di S. Pietro era stato irrobustita (Fig.4) da cordolature in calcestruzzo armato, in altre parole la cella campanaria era stata resa rigida sul fusto della torre il quale era di spessa muratura a foglie multiple. Ebbene il fenomeno di de-foliazione della sommità del fusto ha fatto perdere la planarità dell’appoggio della cella campanaria che è scivolata al suolo (Fig. 5). L’intervento con il calcestruzzo armato senza legare “le foglie” della muratura sottostante non ha dato buoni risultati. Questa evenienza da forza al partito dei non interventisti e contrari al calcestruzzo armato, partito ora (A.D. 2009) dominante.



FIG. 4 - Cella campanaria di S. Pietro di Coppito in posizione, prima del sisma



FIG. 5 – Piano inclinato formatosi per muratura defoliata sotto la cella campanaria di S. Pietro di C.

3) Intervento di presidio funzionale alla ricostruzione

Una pagina nuova è stata scritta nella storia evolutiva del pronto intervento di salvaguardia, ossia nell’intervento di presidio dei beni architettonici danneggiati, nella fase post-sisma. Tre sono le “driving forces” che hanno determinato questo notevolissimo avanzamento tecnico e concettuale seguito alle esperienze maturate [1], [2] nel terremoto dell’Umbria-Marche (27-09-1997) e del Molise (31-10-2002):

- a) disponibilità di nuovi ed efficienti materiali strutturali di intervento;
- b) disponibilità di nuovi ed efficienti mezzi meccanici per la movimentazione;
- c) esperienze acquisite in precedenti sismi dalle maestranze, individuabili essenzialmente nel corpo dei vigili del fuoco italiani.

Una classificazione per funzione strutturale dei sistemi di presidio (Fig. 6) può essere così schematizzata:

- 1) **Puntello** (o sperone); 2) **Contrasto**; 3) **Cintura**; 4) **Gabbia**.

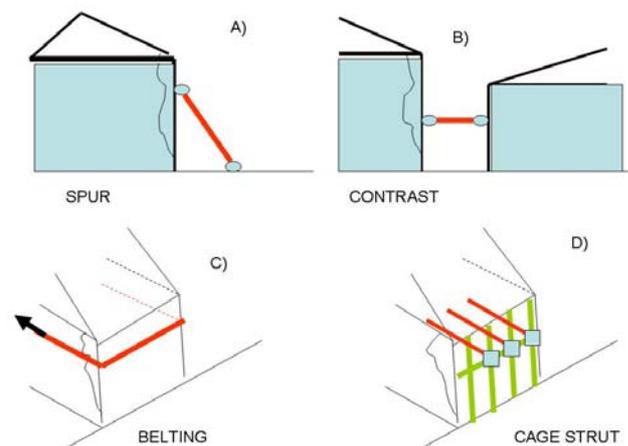


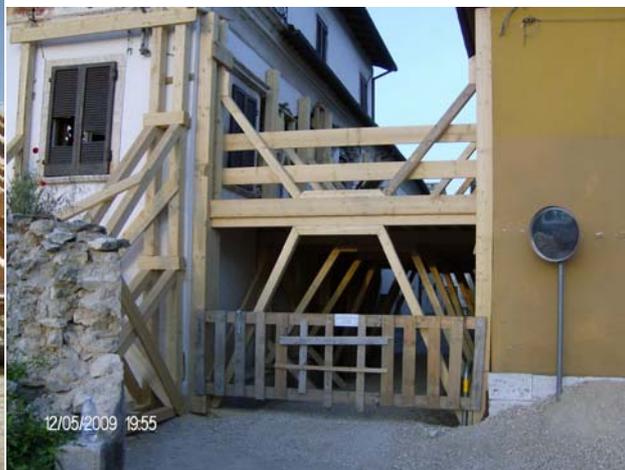
Fig. 6 – Schemi dei sistemi di pronto intervento e presidio.
A) Puntello; B) Contrasto; C) Cintura; D) Gabbia

I sistemi tradizionali di presidio si basavano sul concetto del “**puntello**”: i più antichi sistemi di puntellamento usarono il “barbacane”, ossia qualcosa con funzione strutturale non dissimile dall’arco rampante, in muratura e ben fondato. Il sistema si oppone al ribaltamento delle pareti ed anche sviluppa azioni di sostentamento. I notevoli svantaggi sono: il lungo tempo di costruzione, l’ingombro e l’aumento delle masse che il sisma può attivare. Ma soprattutto l’ostacolo alle successive operazioni di consolidamento e ricostruzione. Lo stesso concetto del “puntello” si è realizzato nel passato, ed è ancora in uso, con pali di legno, riducendo i tempi di esecuzione ed i pesi (Fig.7.a). La variante di questo sistema, attuato in tempi più recenti, è quella della realizzazione del puntello con strutture reticolari spaziali di tubi che generalmente si usano per i ponteggi: in questo caso il processo costruttivo è “industrializzato”. Restano gli svantaggi dell’ingombro e del costo della attrezzatura immobilizzata. Nel caso

dell'Aquila si son visti molti puntelli in legname e numerosi puntellamenti con tubi metallici, alcuni di questi ultimi di notevole dimensione. Strutturalmente questa costruzione provvisoria è concepita per lavorare in compressione con tutte le problematiche costruttive annesse: nodi e aste in carico di punta. I sistemi di puntellamento sono strutturalmente semplici per il comportamento in condizioni statiche, meno semplice è il comportamento durante le scosse di sciame in connessione con la struttura sostenuta: infatti, il comportamento dinamico risente della protesi al punto tale che funziona in piena solidarietà. E' interessante osservare come è stato realizzato il vincolamento al suolo nei vari casi analizzati in loco: si va da un semplice appoggio, (anche su suolo in pendio) a vincoli incastro.



a)



b)

FIG. 7 - Sistema Puntello (a); Sistema Contrasto (b)

Un sistema concettualmente diverso è il **“contrasto”**: esso non sempre è possibile poiché necessita in genere di altra costruzione in grado di ricevere la spinta in condizioni statiche (Fig.7.b). Nasce però forte interazione strutturale in caso di eccitazione dinamica da sciame. Giuridicamente complesso è difficilmente attuabile nei casi di terremoti che danneggiano diffusamente il patrimonio edilizio. Comunque esso è realizzato con struttura di legname o con reticolare con tubi in ferro.

La vera novità di questo post-terremoto è stata la diffusione del sistema di “cinture” (Fig. 8).



FIG. 8 – Cinturazione della facciata di S. Pietro di Coppito (AQ)

In questo caso la struttura di salvaguardia è in trazione e si richiude in se stessa. Essa fa uso di **cinghie**, quelle generalmente in uso nei porti per movimentazione di grossi carichi: la messa in tensione avviene con semplici dispositivi a cremagliera (cricchetti). In questo caso il “lay-out” deve essere sapientemente studiato, evitando tratti lunghi senza rinvii, interponendo ripartitori (generalmente lignei) sulla struttura da sostenere. (Fig. 9). Il funzionamento della struttura in fase dinamica non cambia se non per il mantenimento della compattezza scatolare anche a eccitazioni più violente. I materiali delle cinghie sono polimerici a grande efficienza per rapporto resistenza/peso. L'applicazione si avvale di mezzi meccanici a grande sbraccio ed elevazione. Il sistema è rapido, economico, efficiente (leggero e molto resistente), non invasivo, facilmente adattabile a nuove esigenze.



FIG. 9 - Conformazione delle cinturazioni secondo poligono funicolare

Per completezza bisogna annoverare i sistemi a “**gabbia**” nei quali con una struttura alquanto complessa la costruzione viene avviluppata ed i ritegni sono principalmente chiusi in se stessi, anche se si avvalgono di puntelli e controventi. I materiali utilizzati sono legno ed acciaio o solo acciaio. In questo caso il sistema non differisce concettualmente molto da quello della cinturazione, sebbene comporti un funzionamento a telaio e inoltre determina un aumento delle masse attivabili simicamente oltre ad una forte interazione fra vecchia e nuova struttura (Fig. 10).



FIG. 10 Sistema a gabbia metallica con puntelli

Di questi sistemi esemplificati, oltre ai vantaggi e svantaggi annoverati, bisogna considerarne l’interferenza con la fase successiva di esecuzione del ripristino. I sistemi ingombranti rendono maggiormente difficile la sostituzione del presidio con il consolidamento e ricostruzione finale: anche per questo motivo è di gran lunga preferibile la cinturazione che si slaccia facilmente in fase di intervento definitivo, quello cioè della fase di ripristino, rinforzo e ricostruzione.

4) Problematiche tecniche nel consolidamento e nella ricostruzione

Negli anni ‘80 –’90 la cultura del restauro era più incline all’intervento di rafforzamento delle architetture storico monumentale nelle zone a rischio sismico di quanto non lo sia recentemente: in genere sono state usate tecniche che facevano largo uso del calcestruzzo armato ed anche di protesi in acciaio [3], [6]. Successivamente nell’ultimo decennio la cultura del Restauro ha dirottato sul “non interventismo”. In realtà “il cordolo di cemento armato” non ha dato i risultati attesi. Perché? Lo scrivente ritiene che il sostenere che l’aumento di peso è il punto sfavorevole non è da accettare in toto: infatti il peso specifico del calcestruzzo armato può essere del 10-15% superiore a quello della muratura di pietrame: se esso calcestruzzo sostituisce la muratura l’aggravio di peso è modesto.

La rigidità in fase iniziale di sollecitazione non è molto dissimile da quella della muratura, però superando la fase iniziale e considerando il comportamento in fase danneggiata preliminare al collasso la differenza si accentua e sostanzia la differenza fra calcestruzzo armato e muratura. L’**Energia di Frattura** necessaria per spezzare il legame di continuità del calcestruzzo armato può essere anche 100 volte quella relativa alla muratura. Pertanto quando l’energia vibrazionale trasmessa dal terremoto si abbatte sulla zona mista muratura/cordolo in calcestruzzo armato trova subito sfogo dissipante

nella muratura: ciò induce a valutare la muratura come indebolita. In definitiva non si può escludere che un cordolo in calcestruzzo armato di piccola dimensione, superimposto a muratura sana e/o rafforzata, possa avere effetti positivi.

Comunque la problematica non è risolvibile con affermazioni generalizzate senza una seppur non facile analisi approfondita. Il caso già evidenziato del campanile di S. Pietro da Coppito non gioca a favore della soluzione la quale ha voluto irrigidire la sommità della torre con il calcestruzzo armato. Né sono di conforto altre visioni di meccanismi di collasso in cui si vede il cordolo penzolante su brandelli di muratura collassata (Fig.11 e Fig.12).



FIG. 11 – Cordolo in calcestruzzo armato di sommità su muratura collassata



FIG. 12 – Cordolo in calcestruzzo armato partecipe dei meccanismi di collasso

A proposito di interventi “pesanti” con calcestruzzo armato, voglio citare qui il caso di un campanile di una chiesa a Campli, in provincia di Teramo. Piuttosto lontano dall'epicentro il campanile durante il sisma del 2009 ha vibrato notevolmente anche a detta di testimoni: ora guardata a distanza la muratura non mostrava danni. In realtà in anni passati il campanile aveva ricevuto un rafforzamento generalizzato con camicia interna in calcestruzzo armato e finta muratura all'esterno, nel senso che i conci di pietra erano resi solidali col getto di calcestruzzo (Fig.13). Il campanile ha funzionato bene! Ciò porta vantaggio alla tesi che i rinforzi localizzati di calcestruzzo armato sono negativi mentre con quelli diffusi e generalizzati le cose vanno meglio. Però non si rispetta “l'eredità architettonica”.



FIG. 13 - Intervento “pesante” di rifacimento in calcestruzzo armato e falsa muratura Campanile di S. Francesco a Campli (TE)

Allora che fare?

I cordoli di calcestruzzo armato in sommità dei paramenti murari non s'han da fare, le ricostruzioni intere in calcestruzzo con falsa muratura non s'han da fare! Allora che fare? Come ulteriore informazione sul campanile di cui sopra bisogna dire che esso è in continuità strutturale con la chiesa di San Francesco: il danno si è palesato sul muro della chiesa nella zona in continuità col campanile: questo avvalora la semplice nozione che rafforzando una parte della costruzione si mutano i meccanismi di collasso che si trasferiscono sulle parti ove si giunge al collasso con minore energia di frattura dissipata: in questo caso i danni si son trasferiti nella muratura contigua al campanile il quale era foderato di calcestruzzo armato. Il concetto non è dissimile da quello analizzato per il robusto cordolo di calcestruzzo armato in sommità alla muratura di un edificio.

5) Alcune tecniche robuste nella ricostruzione

Ora siamo di fronte alle esigenze di una **Ricostruzione** e non di una semplice conservazione: perché la popolazione rinvoca il bene (parlo di edifici monumentali per il culto) e non si accontenta di conservare il rudere.

Bisogna ricostruire le parti mancanti, le parti crollate! Rifarle come erano, con le pietre locali non squadrate e la malta di calce, con sistema a “due foglie”? La razionalità si oppone a questa posizione culturale tecnica. I muri di molti monumenti aquilani sono molto snelli, non ben controventati, non bene ammorsati (Fig.14): il tessuto murario deve avere qualità più elevate per riconfermare le geometrie preesistenti.



FIG. 14 - Murature di grande snellezza a foglia multipla. S. Maria di Paganica (AQ).

I **materiali compositi** a fibra continua sono stati ormai da tempo utilizzati per il rinforzo strutturale, spesso in zona sismica, di edifici storici [3],[5], [6]; i principi base sono riportati in [7] ed uno stato dell’Arte si ritrova negli Atti di un recente seminario dedicato all’uso dei compositi per il rinforzo di strutture di muratura tenutosi a Venezia [8].

Ma anche nelle “**ricostruzioni**” l’uso dei compositi ha avuto le sue applicazioni di rilievo.

Nei rinforzi i primi interventi in assoluto furono fatti con gli **FRP** (Fibre Reinforced Polymers) sulle cupole della cattedrale di Città di Castello nel 1996, successivamente in tante altre chiese italiane fra cui un intervento alle grandi volte a crociera della Basilica di S. Petronio a Bologna [3] nel 2000.

Sempre gli FRP furono impiegati nel rinforzo e parziale ricostruzione delle volte (dopo il sisma) della basilica di S. Francesco di Assisi [3] ed in tanti altri casi.

Una evoluzione dei compositi, più adatta alle murature storiche, è costituita dagli **FRCM** (Fibre Reinforced Cementitious Matrix). Oltre che per rinforzi strutturali questi materiali sono stati impiegati nella “ricostruzione”. Esempi sono quelli della ricostruzione della grande cupola della cattedrale di Noto in cui alcuni giunti fra pietre

(calcarenite segata) sono stati realizzati con matrice a base cementizia modificata con polimero e armati con rete in fibra di carbonio (FRCM).

Lo stesso materiale FRCM è stato usato nei giunti dell’arco romano di Porta Montanara a Rimini, la quale è stata smontata e traslata, concio per concio, nel sito originario e ricomposto con giunti armati con rete a fibra di carbonio.

Una proposta, in coerenza con le esigenze della conservazione della foggia originale e della robustezza strutturale, è quella di ricostruire con ***muratura “listata” in laterizio ed armatura interna in FRP, oppure FRCM oppure SRG (Steel Reinforced Grout)***. Si fa riferimento alle parti di muratura crollata che vanno interamente ricostruite. La muratura listata è di origine romana antica ma si trova in molte costruzioni medievali, tardo medievali e anche successive dell’area del mediterraneo (Fig.15).

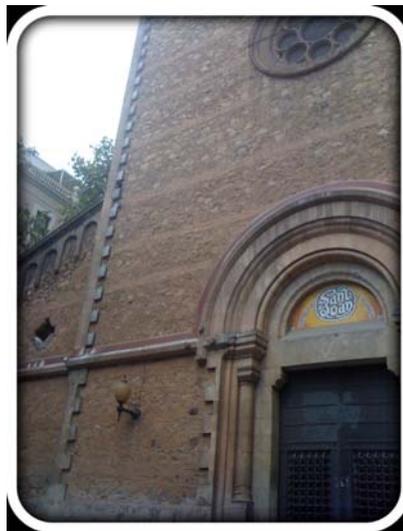


FIG. 15 – Muratura “listata” nella facciata di *Saint Joan* a Barcellona (Spagna)

La listatura ha una tessitura con mattoni, ove due o tre corsi di mattoni listano la muratura di pietra da taglio. Il tutto risulta a fasce (o bande) alternate, laterizi e pietrame. Ora qui come innovazione rispettosa si introduce il giunto fra laterizi costituito da composito, quindi giunto armato di composito (Fig.16).

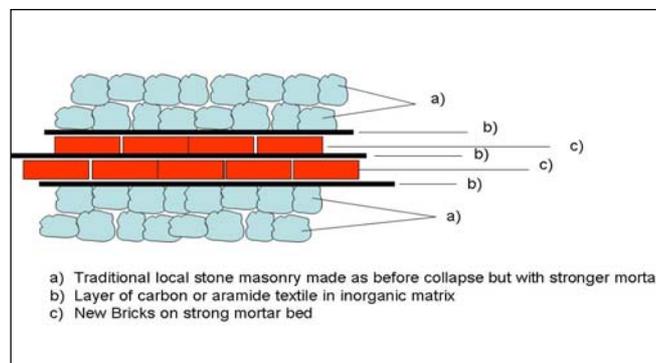


FIG. 16 – Proposta di muratura con tessitura integrata per la RICOSTRUZIONE: “listatura” con mattoni e armatura con composito.

La listatura in sommità costituisce un cordolo di laterizio armato con composito: esso è leggero, estremamente resistente a trazione, ripartisce gli sforzi nel solido murario. Naturalmente nel formare la listatura armata si farà frequente uso di diatoni. Questa proposta si ricollega ad una proposta di A. Borri [3] che ha sperimentato cordoli con tavelloni di laterizio con interposizione di fibre continue ad alta resistenza. Interessante la proposta di F. Doglioni et al.[4] che prevede un cordolo a nastro con armatura metallica reticolare in matrice di malta : in effetti lo stesso potrebbe essere realizzato con armature in composito. Nei tre casi citati si tende a superare gli inconvenienti registrati con il pesante cordolo in calcestruzzo armato ma non rinunciando a coronare la sommità della muratura con un “nastro” poco rigido ma molto resistente. Dunque **ricostruzione con muratura listata armata di composito** come struttura resistente a vulnerabilità ridotta: essa consente anche la faccia vista.

Le catene metalliche, ove presenti, hanno funzionato bene evitando meccanismi di collasso di ribaltamento: allora nella **ricostruzione** si dovrà fare largo uso di **catene metalliche** con efficaci ritegni.

La tecnica di ricoprimento dell'estradosso delle volte in muratura con fasce di composito a fibra continua (FRP, FRCM, SRG) è largamente praticata (Fig.17) ed accettata e dovrà essere attuata in modo esteso nel consolidamento dell'esistente ma anche nella **ricostruzione** nel senso che le nuove volte in pietrame o in mattoni da riprodurre si dovrebbero giovare dell'apporto del **ricoprimento estradosale con fasce di composito con connettori in fibra alle imposte**, a presidio dei potenziali meccanismi di collasso.

La sfida è quella di rispettare al massimo la tipologia muraria e l'impianto strutturale ma con il concorso di nuove tecnologie che ne riducano le vulnerabilità intrinseche nella tradizionale muratura aquilana.



FIG. 17 - Placcaggio estradosale di volte con compositi a matrice cementizia e armatura di rete di carbonio

Ringraziamenti

Le esperienze maturate in loco e che mi hanno consentito di scrivere questo articolo, sono relative ai sopralluoghi effettuati in Abruzzo nella delegazione della Università IUAV di Venezia, coordinata dal prof Salvatore Russo, la quale ha operato su alcuni casi di studio affidatigli dal MiBAC. Ringrazio anche l’arch Carlos Carrer che mi ha fornito le foto di Figg. 2 e 4 e varie informazioni su S.Pietro di C.

Bibliografia:

- [1] L. Marchetti (2007) “Le opere provvisorie e la messa in sicurezza dei beni” in *Beni Culturali in Umbria: dall’emergenza sismica alla ricostruzione*, M. Piccarreta Ed., MiBAC, Roma., ISBN 88-86210-58-2
- [2] S. Podestà et al. (2005) “Il problema della messa in sicurezza dei beni monumentali” in *Beni Monumentali e Terremoto: dall’emergenza alla ricostruzione*, G.Cifani et al. Curatori, Regione Molise, DAST-UOIG CNR L’Aquila.
- [3] AA. VV. (2003) “Consolidamento Contemporaneo - Edilizia storica” in *Trattato sul Consolidamento*, P. Rocchi direttore scientifico, Mancosu Editore, Roma. ISBN 88-87017-06-9
- [4] F. Doglioni, P. Mazzotti (2007) “Codice di Pratica” Editore dalla Regione Marche, Ancona. ISBN 978-88-902669-0-4
- [5] A. Di Tommaso, F. Focacci (2001) “Strengthening Historical Monuments with FRP: a Design Criteria Review”, in *Composites in Construction: a Reality, Int. Workshop, Capri*, E. Cosenza, G. Manfredi, A. Nanni Eds., Proc. ASCE 2002. ISBN 0-7844-0596-4
- [6] J. Jasienko, T. Lodygowski, P.Rapp (2006) “Naprawa, konserwacja I wzmacnianie wybranych, zabytkowych konstrukcji ceglanych” *Wydawnictwo DWE*, Wroclaw. ISBN 83-7125-143-2
- [7] F. Focacci (2008) “Rinforzo delle murature con materiali compositi” *Flaccovio Ed., Palermo* ISBN 978-88-7758-819-7

[8] A. Di Tommaso, curatore. (2009) “Mechanics of Masonry Structures strengthened with

Composite Materials” *Seminar in Venezia, April 2009, Proc. Printed by Pitagora Ed. s.r.l.*,

Bologna. ISBN 88-371-1771-X

[9] A. Di Tommaso (2009) “Injured architectural heritage in L’Aquila after the earthquake 2009:

Some general remarks”. *Wiadomosci Konserwatorskie*, vol 26;p.177-185, ISSN: 0860-2395.

Addì 21 Gennaio 2010

