



New materials for structural restoration: an old debate

Eva Coisson, Federica Ottoni
eva.coisson@unipr.it, federica.ottoni@unipr.it

The use of composites in architectural restoration is becoming more and more widespread, due to their technical advantages, in many cases. However, using these materials in the field of cultural heritage creates not only technical problems but also cultural issues.

The paper deals with these issues, starting from some considerations on the use of “new” materials in the past, when – just to mention some examples – iron, steel and reinforced concrete were considered innovative. From Ruskin’s idea of “crutch”, passing to the “hidden reinforcement” expressed in the Athens Charter, to some more recent examples, the past experiences offer once again the opportunity to evaluate new techniques and theoretical approaches.

The authors underline the opportunity to identify a “correct methodology” rather than a “correct solution” in restoration. Further knowledge and comprehension of a monument and – at the same time – a deep awareness of the limits and weaknesses of recent technologies and materials, may guide architects to a more efficient, respectful structural restoration project.

Nuovi materiali per il restauro strutturale: una questione antica

Eva Coïsson, Federica Ottoni

Una questione antica, tra teoria ed empirismo

L'osservazione del danno – specie se conseguente a un errore ascrivibile a un dato materiale, o meglio alla sua tecnica di applicazione – costituisce il modo più semplice per migliorare un metodo costruttivo, e quindi anche il suo intervento di riparazione o restauro¹. In questo senso, quella della teoria del restauro – almeno nei riguardi dei nuovi materiali e delle loro applicazioni – può essere anche letta come una storia di errori, la cui soluzione e superamento progressivo ha portato alla definizione di una teoria generale che solo il confronto critico con le peculiarità degli stessi oggetti di restauro (gli edifici), riesce di volta in volta a giustificare. Non sempre raccomandazioni e orientamenti sono stati codificati², e spesso proprio la sperimentazione di una data tecnologia in risposta a singoli eventi ha

Nell'ambito di un contributo concepito e sviluppato in comune tra le due autrici, sono da ascrivere a Federica Ottoni il primo e il secondo capitolo (*Una questione antica, tra teoria ed empirismo; C'erano una volta i "nuovi" materiali*), a Federica Ottoni ed Eva Coïsson il terzo (*I nuovi materiali alla luce dei principi del restauro*) e a Eva Coïsson il quarto (*Tra principi e pratica: alcuni esempi recenti*).

1. PETROSKI 2005.

2. Il riferimento alle Carte è spesso un alibi per gli interventi, fortemente osteggiato da Renato Bonelli: «[l'attuale eccesso di cattivi restauri discende] dall'incolombabile dislivello qualitativo, culturale e critico, ed anche scientifico e tecnico, fra la concezione del restauro critico e la pratica dell'intervento [...] da un lato un sistema di concetti ed un metodo della più alta qualità intellettuale, dall'altro una comune pratica professionale immersa nell'esistente, condizionata da motivi occasionali e contingenti», BONELLI 1988, p.13.

anticipato un atteggiamento teorico, la cui declinazione estetica risulta direttamente conseguente a una necessità strutturale.

Già nel XIX secolo, la separazione tra restauro stilistico e conservativo vedeva diversi atteggiamenti nei confronti dei “nuovi” materiali: se da un lato infatti Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc studiava approfonditamente i materiali antichi e le tecniche costruttive originali per poter applicare gli uni e le altre nei propri interventi di restauro³, dal canto suo John Ruskin esortava a «protegge[re l’edificio storico] a ogni costo, tene[ndolo] legato col ferro dove comincia a disgregarsi; stabilizza[ndolo] con i rinforzi di legno dove tende a inclinarsi; non [curandosi] della bruttezza del sostegno [poichè] è meglio una grucciona che un membro perduto»⁴. Da allora i nuovi materiali sono via via invecchiati e si potrebbe dire, con Camillo Boito, che «ormai si è trovato [più di] qualcosa per conservare i monumenti»⁵. Dal suo imperativo morale (non falsificare con aggiunte o sostituzioni mimetiche la verità dell’originale per non ingannare l’osservatore) le raccomandazioni su come affrontare l’applicazione dei materiali di volta in volta “nuovi” si sono evolute, spesso seguendo una parabola discendente dalla diffidenza della sperimentazione all’entusiasmo dell’innovazione tecnologica, il tutto limitato da una permanente istanza di conservazione.

Può essere quindi interessante riconsiderare i diversi approcci che si sono succeduti nel dibattito secolare sull’applicazione di materiali nuovi per il restauro dei monumenti e il loro rinforzo strutturale.

Forse la prima risposta ufficiale all’argomento si trova nella Carta di Atene, che «approvando l’impiego giudizioso di tutte le risorse della tecnica moderna, e più specialmente del cemento armato» si spinge oltre, sancendo anche la dissimulazione degli interventi di rinforzo; proprio Gustavo Giovannoni del resto sdogana l’uso dei materiali moderni, invitando i restauratori a usare tutti i mezzi costruttivi di cui si dispone per le reintegrazioni dei monumenti⁶.

Quelle delle Carte successive⁷ sono concessioni limitate alla modernità: mentre si escludono completamente in stile, vengono nel contempo concessi inserimenti, a fini strutturali, di nuovi materiali; a patto che questi siano ben nascosti nel sostrato, sancendo una scissione – certamente dannosa – tra istanza estetica e strutturale. Scissione, poi forzosamente ricomposta nella valutazione degli esiti, che

3. TAMBORRINO 1996.

4. RUSKIN 1849.

5. Nel suo dialogo didattico sul restauro dell’architettura, Camillo Boito, al suo ideale interlocutore che gli chiede se «nemmeno per i monumenti [si sia] scoperta finora la *Fontaine de jouvence*» risponde: «[...] Può darsi che un poco dell’acqua magica della Fontana della gioventù [...] si possa, anche per i monumenti, ritrovare nei prodigi della chimica; e qualcosa s’è ormai trovato», BOITO 1893.

6. GIOVANNONI 1933, pp. 179-184.

7. In particolare la Carta del restauro a cura del Ministero della pubblica Istruzione del 1972, art. 8.

si sono rivelati catastrofici su tutti i fronti del restauro: estetico e storico certamente ma, soprattutto, e inaspettatamente, proprio strutturale. Si era di fatto legittimata una pratica diffusa di interventi invisibili (e invasivi) che, in modo prettamente ingegneristico e prescrittivo, e slegati dalle più generali problematiche del restauro, applicava agli edifici storici (monumentali o meno) categorie di pensiero (e di calcolo) pensate per edifici moderni, per di più attraverso materiali e tecnologie (nuovi) non ancora comprovati nella loro efficacia.

È l'evento sismico e l'osservazione del danno (diffuso e devastante in Italia tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80) a sospendere il giudizio e a rinnovare il dibattito, sottolineando l'inefficacia delle impostazioni teoriche (e normative) sull'uso dei nuovi materiali. Si era fino ad allora registrata una tendenza diffusa ad applicare le norme in modo improprio⁸, complicata dall'impossibilità di controllare in modo compiuto le effettive possibilità tecnologiche date dai nuovi materiali e ora l'evidenza dei crolli imponeva la necessità di una complessiva revisione di modelli di calcolo validi soltanto entro precisi limiti (come i metodi di tipo POR) e invece utilizzati, in maniera acritica, anche per gli edifici storici. La ricerca di garanzie di sicurezza illusorie aveva portato all'applicazione di interventi inutilmente pesanti (se non talvolta controproducenti) che snaturavano il monumento, non solo dal punto di vista storico ed estetico ma anche strutturale. «I terremoti sono perniciosi per il patrimonio monumentale italiano, non tanto per l'eccezionalità dei danni prodotti, quanto per il numero e il tipo di interventi di riparazione e adeguamento antisismico che ad essi hanno fatto seguito [...]»⁹ (fig. 1). E con l'evidenza del danno, emergeva chiaramente come il trasferimento della funzione statica (e dinamica) dalle strutture murarie a nuovi materiali e tecnologie non potesse essere relegato a una dimensione meramente strutturale del problema.

La necessità di un approccio interdisciplinare, che ricomponesse la scissione (tutta moderna) tra ingegneri e architetti, era emerso con tutta la sua forza in quegli anni e non è un caso che la spinta verso un recupero della conoscenza delle tecniche tradizionali e del comportamento strutturale del materiale muratura, che deve essere rispettato prima di tutto strutturalmente, arrivi proprio da ingegneri. È Antonino Giuffrè, infatti, a sottolineare come «le tecniche usate senza un preciso riferimento a quelle originali, si [fossero] rivelate incompatibili e inefficaci, tradendo anche l'obiettivo della sicurezza che si prevedeva di privilegiare»¹⁰.

8. Per il terremoto del Friuli e quello di Campania e Basilicata vengono applicate norme scritte per l'edilizia ordinaria: il DT2 (*Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura*, Gruppo interdisciplinare centrale, Trieste 1980) per il primo e il Decreto ministeriale del 2 luglio 1981 per il secondo.

9. BRAGA, DOLCE, LEPIDI 1987.

10. GIUFFRÈ 1993, p. 3.



Figura 1. Su una colonna superstite di uno dei palazzi del centro storico di Gemona, dopo il disastroso terremoto del Friuli del 1976, si leggeva «ha fatto più danni l'amministrazione comunale del terremoto», inquietante parafrasi del problema sintetizzato da Franco Braga qualche anno più tardi.

Alla fiducia entusiastica per i nuovi materiali si sostituisce quindi una revisione critica che deriva non solo dalle conseguenze strutturali, ma anche dall'evidenza dei danni conseguenti alle incompatibilità chimico-fisiche dei materiali utilizzati e alla diversa durabilità. La Carta del 1987, in questo senso, raccoglie gli esiti di un dibattito teorico ancora in divenire privilegiando, con una sensibile correzione, soluzioni di consolidamento strutturale di tipo tradizionale¹¹.

Sembra di registrare qui il termine della parabola discendente compiuta dai nuovi materiali, ai quali viene riconosciuta una responsabilità aggiuntiva: il loro uso esorbitante, e spesso non meditato¹², nel

11. «Si invita a diffidare delle inserzioni occulte in materiali speciali quali l'acciaio, l'acciaio armonico pre-teso, le cuciture armate e iniettate con malte di cemento o di resine, a causa della loro invasività, poca durabilità, irreversibilità e relativamente scarsa affidabilità. Appaiono pertanto preferibili anche se di vistosa estraneità all'opera, provvidenze di consolidamento di tipo tradizionale (speroni e tamponamenti, catene, cerchiature ecc.) in quanto facilmente controllabili e sostituibili». *Carta della conservazione e del restauro degli oggetti d'arte e di cultura 1987*, art. 7, comma d; cit. in MANIERI ELIA 2010, p. 42.

12. «La poca chiarezza tecnica, tecnologica e persino concettuale e culturale, che vi è intorno all'impiego dei moderni materiali nelle costruzioni antiche [ha portato ad] un uso non meditato dei nuovi materiali, specie con riferimento alla durabilità ed alla interazione con i materiali originali». *Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro*

campo del restauro ha causato una caduta del saper fare tradizionale, non solo considerato obsoleto, ma scorretto se non erroneo.

Quello che viene fortemente osteggiato quindi è cedere alla tentazione, particolarmente forte (e dannosa) quando si utilizzino materiali nuovi, di trasformare una costruzione in qualcosa di diverso dall'originale, rispettandone invece l'identità tra forma e struttura¹³ e non è un caso che proprio alle implicazioni strutturali (più che formali o culturali) dell'utilizzo dei materiali innovativi dedichino articoli specifici le più recenti normative e raccomandazioni¹⁴, che prevedono di testare tecniche e materiali – tradizionali o innovativi – caso per caso, valutandone gli aspetti di reversibilità e di efficacia sul lungo periodo, attraverso un opportuno monitoraggio (moderna e scientifica traslazione dell'antico empirismo).

Sembra di poter riassumere in questo atteggiamento critico e militante l'attuale posizione nei confronti dell'utilizzo dei nuovi materiali negli interventi di restauro, frutto di una consapevolezza raggiunta – o, per meglio dire, recuperata – alla fine di un lungo percorso normativo e teorico, che «in ogni caso nessun intervento può essere considerato a priori non strutturale o privo di effetti sul comportamento strutturale»¹⁵. Insomma, bisogna usare le tecnologie analoghe alle originali «senza integralistiche esclusioni per i materiali e le tecniche contemporanee – anche recentissime – [che], dove usate correttamente»¹⁶, costituiscono la condizione necessaria, e raramente insufficiente quando si tratti di restauro, di soddisfazione, strutturale ed estetica.

comprendenti interventi di “miglioramento antisismico” e “manutenzione”, nei complessi architettonici di valore storico-artistico in zona sismica, documento approvato dal Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico, nella seduta del 14 luglio 1989.

13. «In linea di principio l'intervento strutturale diretto a migliorare la sicurezza di un'opera di interesse storico, o a ridurre la vulnerabilità sismica sarà progettato in modo da non turbare il linguaggio costruttivo e strutturale originale [...] nei casi in cui l'intervento è possibile le nuove opere saranno programmate con tecniche analoghe a quelle originali ma non con intento imitativo. Si potranno usare tecniche moderne, cioè impensabili ai tempi della costruzione, solo se ne dimostra la necessità e l'opportunità», GIUFFRÈ 1988, p. 34.

14. Si vedano le Raccomandazioni dell'ISCARSAH (International Scientific Committee for the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage) (CENTRONI 2008, pp. 269-287) e le Direttive 2011 (Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 09 febbraio 2011, G.U. n. 47 del 26.02.2011) all'art.6, in cui l'atteggiamento è critico, nel senso brandiano del termine: «Ovviamente non sono da considerarsi escluse tecniche di intervento non citate, metodologie innovative o soluzioni particolari che il professionista individui come adeguate per il caso specifico. Sono inoltre evidenziate riserve sull'efficacia e la compatibilità di alcune tecniche d'intervento, frequentemente adottate nella pratica moderna».

15. «Quello che in definitiva si rifiuta è la pratica del progetto e del cantiere come luoghi dell'applicazione acritica di modelli di calcolo, tecniche e materiali prelevati frettolosamente dal mercato. Quello che si afferma, sono il progetto ed il cantiere (di restauro) come luogo di applicazione dell'intelligenza sia all'analisi dello stato di fatto che alla pratica realizzativa», GIOVANNETTI 2005, p. 10.

16. Vedi alla nota 15.

C'erano una volta i "nuovi" materiali

Gli stessi costruttori antichi dovevano avere intuito, se non compiutamente compreso, il possibile rischio insito nelle loro massicce e massive costruzioni in muratura, tanto da prevedere al loro interno l'inserimento, a volte già al momento della costruzione, di elementi di presidio contro un possibile danno, o peggio, collasso. Tali elementi, se ben posizionati e opportunamente dimensionati, si sono rivelati nel tempo efficaci anche nei confronti delle azioni sismiche, garantendo in molti casi la sopravvivenza del patrimonio culturale.

Il ferro e il cemento armato sono stati per secoli i "nuovi" materiali con cui si è tentato di intervenire sugli edifici storici, e il loro contributo alla conservazione è stato oggetto di atteggiamenti teorici variabili dalla cieca fiducia a un altrettanto miope scetticismo. Nonostante siano stati applicati all'architettura storica per lungo tempo e le loro caratteristiche chimico-fisiche siano ormai note, questo non ha impedito ai tecnici di porre in opera interventi, anche in tempi recenti, la cui scarsa compatibilità con il costruito originale ha prodotto ingenti danni sugli stessi edifici che erano chiamati a conservare.

L'uso del ferro come elemento di rinforzo degli edifici è noto fin dalla fine del XV secolo, particolarmente in veste di tirante, capace di assolvere efficientemente alla duplice istanza di solidarizzazione tra le parti dell'ideale scatola muraria e di assorbimento di eventuali spinte. È a partire poi dalla fine del XVI secolo – forse sulla scorta della massiccia cerchiatura eseguita da Sinan sulla grandiosa cupola di Santa Sofia – che lo schema di un sistema di catene saldamente connesse l'una all'altra si è largamente diffuso fino a configurarsi come l'intervento di consolidamento strutturale tradizionale per le cupole in muratura¹⁷. Le cerchiature in ferro (e poi in acciaio), articolate in posizioni, accrocchi e tecnologie diverse¹⁸, hanno dimostrato nel tempo la propria indubbia efficacia, rallentando, se non fermando completamente le lesioni dovute alla fisiologica spinta delle strutture cupolate (fig. 2).

Osservandone i benèfici effetti e la notevole resistenza, la diffusione del ferro negli interventi di consolidamento è rapidamente aumentata, procedendo di pari passo con un altrettanto rapido sviluppo tecnologico, e questo "un tempo-nuovo" materiale è stato declinato via via in catene, graffe strutturali, fino a tentare di sostituirsi – con le più recenti applicazioni di cuciture armate – alla struttura

17. OTTONI 2012.

18. Interessanti tra gli altri, per singolarità di applicazione, sono i casi della catena inserita nel 1514 attorno al Battistero fiorentino di San Giovanni, nascosta alla vista da un getto di robusto calcestruzzo di cemento che, non solo ne ha impedito la corretta valutazione negli anni, ma ha anche provocato danni al cornicione (vedi ROCCHI COOPMANS DE YOLDI 1996, p. 116) e le cerchiature inserite nel corso di diversi secoli, in tempi e con tecnologie via via successive, e non per questo necessariamente migliorate, attorno alla vasariana cupola di Santa Maria dell'Umiltà a Pistoia; vedi OTTONI, BLASI 2015.

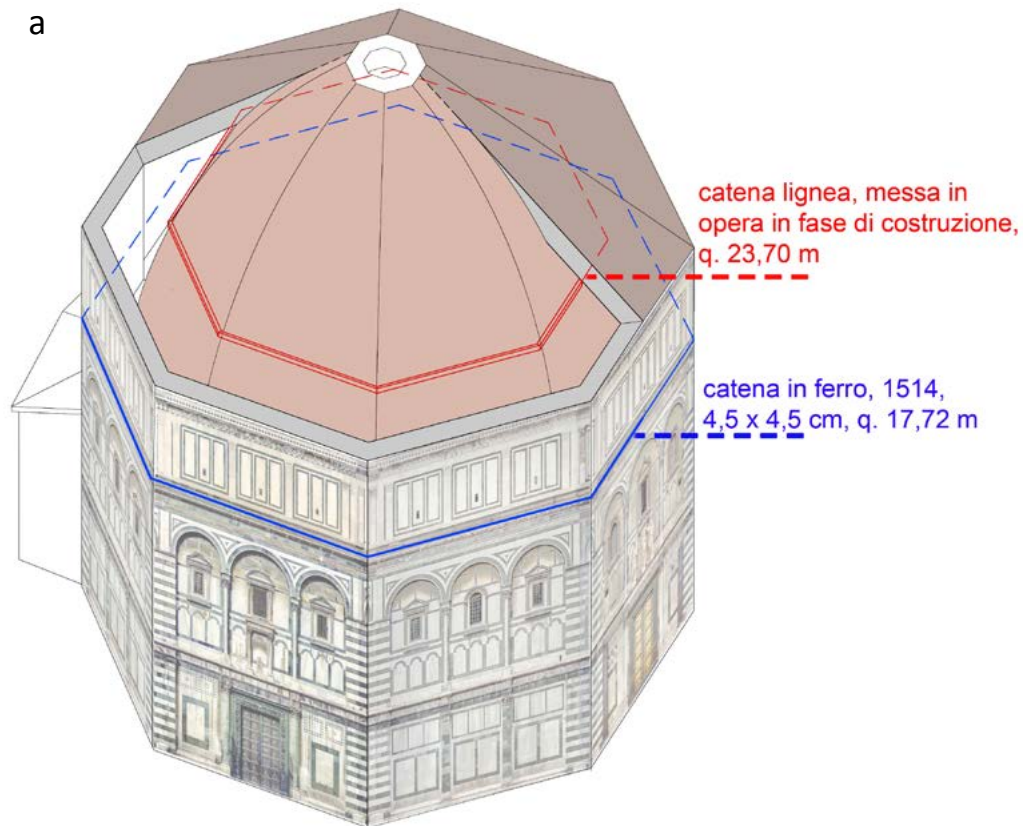


Figura 2. Schema delle posizioni dei due sistemi di incatenamento – in legno e successivamente (nel 1514) in ferro – inseriti a cerchiatura della cupola di San Giovanni a Firenze (a) e particolare dell'accrocchio della catena in ferro, nascosta sotto un massiccio getto in c.a. (b).

muraria. Non è un caso dunque che Ruskin dedichi proprio all'uso corretto del ferro uno dei suoi celebri aforismi, chiarendone il ruolo di collante o "gruccia" e non di supporto¹⁹.

Insomma, «un arco che si regge per il mutuo contrasto delle pietre non è più lo stesso se queste vengono perforate e inchiodate con spranghe di acciaio [e] a nulla vale che si sia trovato un acciaio che regge alla corrosione e garantisca che la sua presenza dentro la pietra non sarà, alla lunga, dannosa»²⁰: il danno, strutturale ma anche formale, è fatto, quando si pretenda di variare – o addirittura di sostituire – con materiali diversi il modo strutturale proprio della muratura storica, per sua natura anisotropo e basato su precise proporzioni e regole dimensionali che affidano la loro stessa sopravvivenza a un'elevata resistenza a compressione. È evidente infatti che l'organizzazione strutturale, una volta affidata al ferro e alla sua straordinaria resistenza a trazione, sarebbe completamente diversa ed ecco che si spiega, non solo da un punto di vista di compatibilità dei materiali, la necessità di un ruolo limitato di questo tipo di interventi.

Se mal eseguiti poi – con caratteristiche e dimensioni insufficienti, o resi inefficaci da un mancato tensionamento – questi stessi presidi possono rivelarsi persino dannosi, fino a rappresentare degli inneschi del danno piuttosto che l'auspicato contrasto, come nel caso della chiesa di Santa Croce, a Lecce, dove l'inserimento inappropriato e invasivo di barre di acciaio non inossidabile, alla fine del 1980, ha in effetti causato un serio sistema fessurativo al timpano di facciata (fig. 3). La mancata valutazione, in fase di progettazione, della duplice incompatibilità – fisica (diversa espansione termica) e chimica (ossidazione) – tra i materiali, è stata complicata dall'utilizzo di una tecnologia invasiva il cui scarso livello di reversibilità ha determinato la necessità di un recente ulteriore intervento (un massiccio e diffuso carotaggio per la rimozione delle barre), altrettanto invasivo e in definitiva dannoso per la conservazione dell'edificio; un tentativo di correzione di un errore che, in tempi non sospetti, già Vignola aveva paventato «poichè le fabbriche non si hanno da sostenere colle stringhe [e] questa è una sentenza che gli architetti non dovrebbero mai perder di vista»²¹.

Il cemento armato dal canto suo, più recente del ferro, è probabilmente il nuovo materiale che ha avuto la più rapida diffusione come rinforzo. La fiducia nelle sue infinite e magiche capacità²², ha portato a voler sostituire, in alcuni periodi, le originarie deperibili strutture in legno in altre omologhe

19. «Tale regola è, io credo, che i metalli possono essere usati come legamento, ma non come supporto. [...] Ma nel momento in cui il ferro, anche in minimo grado, prende il posto della pietra [...] in quel momento quella costruzione [...], cessa di essere vera architettura», RUSKIN 1849, pp. 120-122.

20. GIUFFRÈ 1984, pp. 120-122.

21. MILIZIA 1781, pp. 57-59.

22. NERVI 1945.

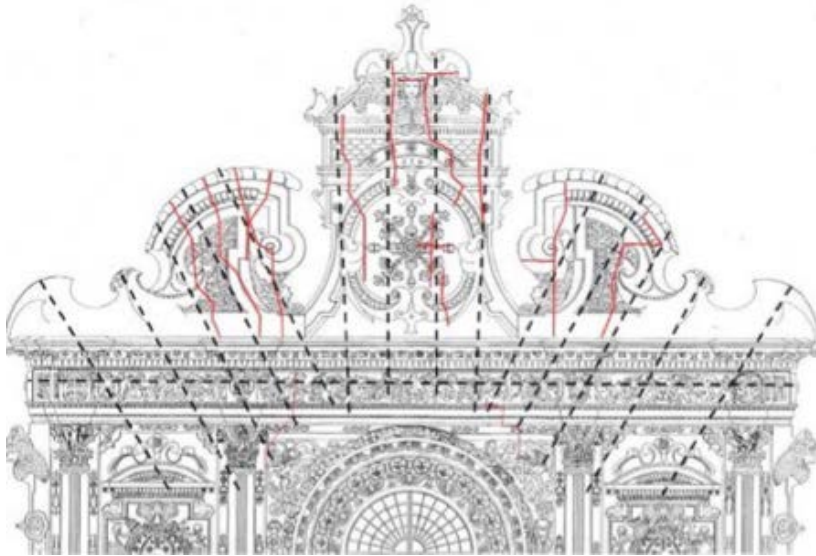


Figura 3. Le lesioni sul timpano in facciata della chiesa di Santa Croce a Lecce ricalcano chiaramente la posizione delle barre in acciaio (non inossidabile) inserite al suo interno alla fine del 1980.

in questo materiale, comportando gravissimi danni sugli edifici così restaurati, non solo dal punto di vista storico e formale, ma anche strutturale.

Il suo ingresso nel campo del restauro avviene nella seconda metà dell'800, quando la boiacca a base cementizia viene sperimentata nelle prime iniezioni per il consolidamento delle murature, anche se, come spesso accade, l'accelerazione tecnologica avviene sulla spinta di un evento catastrofico; ed è dopo il terremoto di Messina del 1908 che il nuovo materiale si diffonde in modo sistematico, anche se le normative dell'epoca sulla ricostruzione dovevano escludere (almeno in teoria) gli edifici monumentali²³. La rapidità della messa in opera e le elevate prestazioni meccaniche del materiale ne determinano da allora la diffusione in modo massiccio, con frequenti sostituzioni dello schema statico originario degli edifici antichi con strutture intelaiate in calcestruzzo, calcolabili e per questo ritenute più affidabili²⁴.

23. Come riportato nel Regio Decreto n. 193 del 18 Aprile 1909, *Norme tecniche ed Igieniche relative agli interventi nei centri danneggiati dal terremoto*. Si veda BOSCARINO 1990-1992, CURRÒ 1991 e, di più recente pubblicazione, VALTIERI 2008.

24. BOSCARINO, PRESCIA 1992, pp.13-23. Sul tema si può vedere anche CAMPISI 1999.

Questo *materiel inesthétique*²⁵ appare da un lato incompatibile con il carattere monolitico dell'architettura storica, che mal sopporta una vera e propria distinzione tra struttura e rivestimento, ed è evidente che la conoscenza costruttiva dell'antica fabbrica non può essere sostituita e annullata attraverso un altro sistema strutturale, tanto meno a telaio. Il dibattito dell'epoca, come già evidenziato nel precedente paragrafo, varia con il procedere della tecnologia. Anche il cemento armato viene osservato con un misto di prudenza ed entusiasmo: alla fiducia, peraltro motivata, nelle capacità del nuovo materiale, fa da contrappeso l'incognita sulle eventuali incompatibilità, chimico-fisiche ma anche strutturali, con la costruzione originaria dato che «si trattava d'introdurre, in edifici dalla struttura profondamente [p]lastica, degli elementi rigidi suscettibili d'alterarne l'equilibrio»²⁶.

Negli anni successivi alla Seconda Guerra Mondiale, ma anche più recentemente, i casi di sostituzione di singole parti, che comunque influenzano globalmente la statica dell'edificio, sono numerosi e l'esempio forse più interessante in questo senso è la frequente sostituzione delle antiche, e spesso distrutte, capriate lignee di grandi aule con omologhi elementi in c.a.²⁷. Operazione che tradisce di fatto due volte la struttura: quella originale, che risulta completamente snaturata, e quella nuova, che non sfrutta a pieno le possibilità offerte dai nuovi materiali (fig. 4)²⁸. Tali interventi, già fortemente invasivi anche sul piano storico ed estetico, hanno poi spesso comportato ulteriori interventi di rinforzo in seguito al sensibile incremento dei carichi verticali sulle murature perimetrali²⁹.

Ancora peggio poi quando si tratti di interventi che per natura non sono visibili, perché agiscono su strutture a loro volta invisibili, come le fondazioni. La tecnica dei pali radice³⁰ – che dagli inizi degli anni '50 rapidamente si espande dal campo geotecnico agli interventi sull'alzato – potendo garantire efficaci collegamenti tra le diverse parti delle costruzioni apre la strada alla sistematica applicazione,

25. Non è questa la sede per affrontare le implicazioni puramente estetiche del dibattito teorico che si svolge agli inizi del '900 sulla lamentata mancanza di espressività del ruolo di "rivestimento" a cui si riduce il monumento quando la sua struttura venga affidata completamente al telaio portante. A questo proposito vedi CLOQUET 1914, in particolare p. 203, dove l'autore definisce il cemento un "materiale anti-estetico".

26. LÈON 1951, pp. 249-251.

27. DI STEFANO 1990, p. 308. Esempi di questo tipo di sostituzioni sono, tra gli altri, il Duomo di Parma e quello di Bolzano, palazzo Spinola a Genova, San Lorenzo a Milano e San Francesco a Bologna.

28. CESCHI 1970, p. 194.

29. Interessanti in questo senso sono gli interventi di rifacimento in stile delle coperture di Santa Chiara e San Lorenzo Maggiore a Napoli: le originali capriate lignee sono state sostituite con elementi in c.a., identici ai precedenti, quindi abbondantemente sovradimensionati, che hanno comportato carichi circa 3 volte superiori agli originali sulle sezioni murarie; RUSSO 2011; GUERRIERO, RONDINELLA 2008, pp. 257-263.

30. LIZZI 1981.

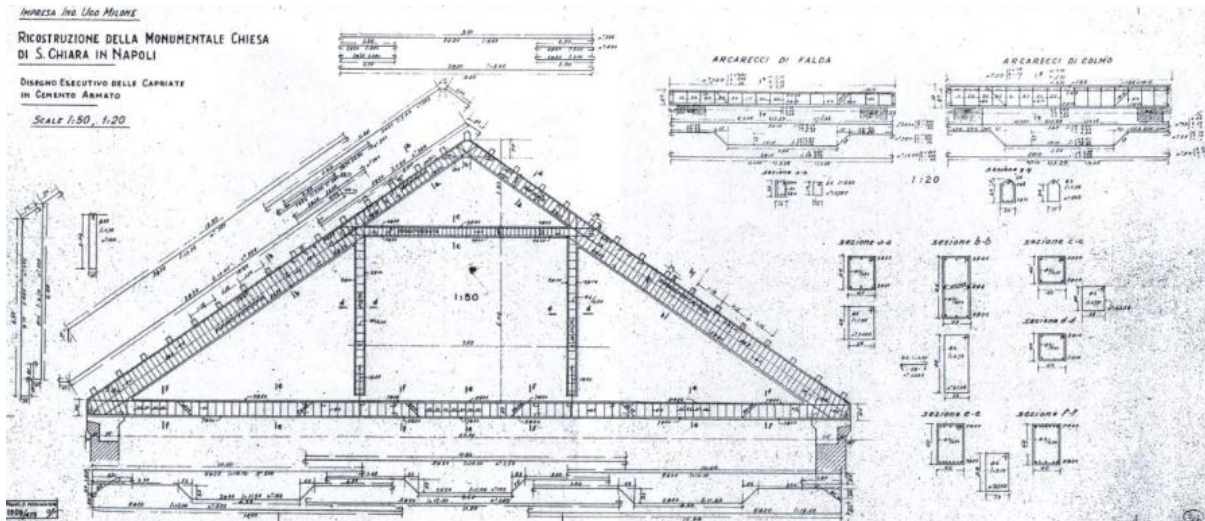


Figura 4. Le capriate in c.a. che hanno sostituito, con le stesse dimensioni e articolazione, le originali lignee nella chiesa di Santa Chiara a Napoli. Disegno esecutivo.

negli anni '70³¹, di reticoli cementati e cuciture armate, declinate poi, in un progresso tecnologico, in pareti elettrosaldate e calotte cementizie.

Le perplessità ora note su questo tipo di interventi, soprattutto legate al comportamento sul lungo periodo, non hanno impedito l'applicazione sistematica di queste soluzioni, che hanno in realtà posto numerosi problemi di tipo tecnico-strutturale (aumento dei carichi e conseguentemente della spinta sismica, aumento della rigidezza, inadeguatezza di resistenza a taglio per alcuni elementi), oltre alle evidenti implicazioni storico-estetiche.

Sembra di poter dire che per molti anni, soprattutto in seguito agli eventi sismici, la volontà, non sempre esplicitata, sia stata quella di trasformare l'edificio storico da "scatola muraria" a "gabbia in calcestruzzo armato" o, peggio, in una struttura a pannelli portanti, con esiti drammatici per le stesse

31. «L'archeologo che nei prossimi millenni studierà qualche monumento italiano restaurato negli anni Settanta-Ottanta del nostro secolo, potrà constatare [...] che una nuova moda era stata lanciata dagli architetti restauratori del periodo, [...] effimera, come tutte le mode [...]. [troverà] le viscere della maggior parte dei monumenti restaurati nel periodo in questione occluse da colate cementizie o da concrezioni di resine agglomerate attorno a grovigli di acciaio arrugginiti, e troverà la stessa epidermide di quei monumenti, vuoi fatta di pietra, vuoi fatta d'intonaco, impregnata in modo irreversibile da resine e altri intrugli chimici» in MARCONI 2003, p. IX.

murature che, nel primo caso vengono ridotte a mere tamponature (ipocritamente conservate nel loro aspetto) e che, nel secondo caso, sono imbrigliate in lastre di cemento e congiunte a solai fortemente rigidi, fino a scimmiettare una struttura calcolabile (metodo POR). Insomma, il tentativo era di far assomigliare la realtà al modello, invertendo così le categorie proprie del restauro strutturale, che deve invece adattare i modelli alla realtà, non facilmente schematizzabile, e tantomeno tipizzabile.

In questo filone, la pratica dell'inserimento di pesanti e massivi cordoli in cemento armato sulla sommità delle murature rappresenta forse l'errore più grossolano: per le stesse modalità costruttive con cui viene eseguito, spesso determina una discontinuità tra cordolo e muratura sottostante che, a fessurazione avvenuta, permette la traslazione relativa delle due parti, senza considerare che il peso e la rigidità del c.a. (entrambi ingenti se confrontati a quelli della muratura) inducono sollecitazioni tali nella struttura da produrre gravi lesioni a taglio, che possono poi servire da innesco per un successivo meccanismo di ribaltamento (fig. 5).

Sorprendentemente, nonostante l'evidenza dell'errore, soprattutto a seguito dell'evento sismico, l'uso di cordoli in calcestruzzo armato rimane tuttora l'intervento più diffuso per il rinforzo di scatole murarie, così come le cappe di cemento armato per volte e archi, troppe volte applicate in maniera acritica e standardizzata senza considerare la reale consistenza e apparecchiatura della muratura da rinforzare. Un atteggiamento, questo, figlio di una distinzione del tutto forzata (e dannosa) tra consolidamento e restauro, che deve essere necessariamente risolta attraverso «una nuova disciplina di grande esito formativo, non sorella minore del restauro, ma essa stessa creditrice di pari dignità, scaturita dalla tradizione dell'arte e della scienza del costruire»³².

I nuovi materiali alla luce dei principi del restauro

«Solo intorno al 1980 gli ingegneri italiani hanno preso coscienza del fatto che il consolidamento di strutture in pietra mediante l'inserzione di barre di ferro creava seri rischi di danni futuri. Ciononostante alcuni fra loro non hanno rinunciato al sogno di realizzare un consolidamento perfetto ed invisibile nascondendo la struttura di rinforzo nella pietra e hanno cercato invece di migliorare il sistema sostituendo i materiali che avevano fallito (acciaio e cemento) con altri che non potevano fallire nello stesso modo (acciaio inossidabile e resine epossidiche)»³³.

Come se l'auspicata garanzia di infallibilità di un intervento di restauro e rinforzo strutturale potesse trovarsi nella scelta di materiali corretti, più o meno nuovi, anziché, come emerso dalla breve storia di

32. CORRADI 1998, pp. 145.

33. TORRACA 2001, pp. 196-207.



Figura 5. Il cordolo in c.a. inserito in murature di scarsa qualità risulta spesso eccessivamente rigido, con effetti devastanti sotto l'effetto del sisma (Civitavecchia, AQ).

avvicinamenti teorico-normativi e di pratica di cantiere prima riassunta, nel metodo con cui questi vengono applicati.

Le ultime Direttive sanciscono la possibilità di utilizzare i nuovi materiali proposti dall'avanzamento tecnologico, a patto di testarne compiutamente compatibilità e durabilità e, cosa più importante, senza nessuna concessione acritica alle mode del momento³⁴. Considerare allora la rispondenza dei nuovi materiali – quelli compositi – ai principi del restauro può essere un buon modo per affrontare la questione. Poco importa che tali principi siano stati pensati e sviluppati quando ancora gli “ora-nuovi” materiali ancora non esistevano: la loro possibile soddisfazione segna il passaggio, fondamentale quando si tratti di restauro, dalla “possibilità tecnologica” di attuare un dato intervento, alla ben più generale “opportunità” di realizzarlo. In mezzo c'è ovviamente, come sempre, la sperimentazione, in relazione a un'approfondita e qualificata conoscenza delle opere su cui si interviene oltre che a una piena consapevolezza dei requisiti culturali ed ideologici delle tecniche e dei materiali, che devono essere compatibili, distinguibili e duraturi nel tempo, potendo nel contempo essere rimossi. In sintesi, devono garantire il minimo intervento, che è la prima garanzia di conservazione.

Tra questi forse il concetto più semplice e immediatamente testabile è la *compatibilità*: i materiali aggiunti alla costruzione devono avere caratteristiche simili a quelli su cui vengono applicati, sia dal punto di vista meccanico che chimico-fisico, per assicurare un comportamento omogeneo nel tempo e limitare le discontinuità all'interfaccia (che nel caso dei materiali compositi, rappresenta la prima garanzia di rinforzo).

I principali problemi sono legati alla compatibilità chimico-fisica della matrice polimerica, che non è traspirante e proprio la differente traspirabilità delle parti, con e senza rinforzo, può produrre effetti negativi sulla conservazione delle superfici, particolarmente gravi nel caso queste siano, come spesso accade, decorate o affrescate. Un livello più elevato di compatibilità fisica si può ottenere nei materiali a matrice cementizia, ma in questo caso è la compatibilità chimica a dover essere controllata, considerando attentamente la presenza di componenti che possano indurre reazioni con il sostrato, causando espansioni o efflorescenze³⁵. I materiali usati non devono in nessun modo costituire potenziale danno della materia originale, né al momento della messa in opera, né, cosa più difficile da prevedere, in tempi successivi e limitare l'estensione dell'intervento, e quindi la superficie di applicazione, è in questo senso un buon metodo per ridurre al minimo gli eventuali effetti negativi, tra l'altro spesso irreversibili, che questi possono causare.

34. Vedi la nota 17.

35. I trattamenti molto usati negli anni '70 e '80 sulla pietra, a base d'impregnanti sintetici a bassa traspirabilità, ritenuti allora molto utili per la protezione di superfici litiche, hanno impedito di fatto il passaggio e la dispersione dell'umidità interna verso l'esterno, causando fenomeni di disgregazione, anche devastanti, della pietra stessa; vedi GIZZI 1988.

Ovviamente sono le tecniche, e i materiali, che hanno una maggiore continuità formale e funzionale con le parti antiche – e non quelli moderni – a rispondere meglio alle esigenze di compatibilità, ma d’altro canto, l’uso di tecniche originali ha un limite insito nella riconoscibilità, dato che l’intervento deve facilitare la lettura del monumento-documento – con le diverse stratificazioni, fasi di accrescimento e trasformazioni subite – non ostacolandone nel contempo l’unitarietà dell’immagine. Da questo punto di vista, i materiali compositi hanno il vantaggio di poter essere opportunamente calibrati a seconda delle necessità, dalla completa visibilità a un parziale mimetismo, considerata l’esiguità dello spessore e la possibilità di applicare su questi l’intonaco, o la polvere di pietra o mattone. Sarà ancora una volta il progettista, con la sua sensibilità, a dover scegliere la migliore soluzione per il caso specifico, evitando sempre di occultare completamente la superficie e l’intervento, e rendendo comunque leggibile una evidente, e filologicamente necessaria, comparazione tra i differenti materiali aggiunti in tempi successivi.

Uno dei problemi più spinosi del resto, dal punto di vista storico ma anche strutturale, è proprio il “tempo” con cui i materiali aggiunti si devono confrontare, perché se è vero che la durata dei materiali costruttivi storici è secolare, non necessariamente deve esserlo anche quella dell’intervento di restauro. Per migliore durabilità non si intende infatti che l’intervento debba durare al più a lungo possibile, ma che la durata (del materiale utilizzato e della tecnologia di applicazione) sia comparabile a quella del sostrato (sarebbe inutile avere una fibra di carbonio perfetta dopo 100 anni, con una muratura sostrato completamente deteriorato). Di più, è fondamentale poter calibrarne la durata in funzione del tipo di intervento (provvisoria, a medio o lungo termine).

L’applicazione dei nuovi materiali compositi all’industria edilizia, e al restauro in particolare, è relativamente recente e non si hanno ancora dati certi sulla loro durabilità; soprattutto non si ha tuttora l’evidenza sperimentale del tempo. Alcuni dati sperimentali e analitici sono disponibili sul comportamento a lungo termine di questi materiali (soprattutto del cemento) ma l’esperienza è ancora limitata per la scala in situ, una volta che sia combinata agli effetti ambientali (temperatura, UV, umidità), a un’azione sismica significativa o a (frequenti) difetti di applicazione. Del resto, l’esperienza prima descritta sui materiali “un tempo-nuovi” ha evidenziato come siano necessari decenni di sperimentazioni dell’errore per poter compiutamente valutare pro e contro delle diverse possibilità applicative e i dati, pochi, sinora raccolti, potranno diventare più significativi nel tempo e con una maggiore diffusione delle applicazioni³⁶. Il metodo più corretto per valutarne gli effetti, non solo dal

36. Dal punto di vista della durabilità, le resine sintetiche sono ancora da intendersi poco affidabili, in quanto non ancora sperimentate su tempi lunghi e si sono dimostrate spesso deperibili e vulnerabili, in particolare al calore (caso di incendio), MARMO 2007.

punto di vista della durabilità, è dunque monitorarne costantemente la risposta, come prescritto dalle stesse Direttive, in modo da collezionare una serie di dati statisticamente significativi.

Il monitoraggio costante poi permette di controllare periodicamente lo stato dei materiali e delle tecnologie, potendo prevedere, ove necessario, una loro sostituzione o una ricalibratura dell'intervento. In questo senso, tutti gli interventi di rinforzo dovrebbero essere reversibili, e incidere in modo minimo, e limitato nel tempo, sul materiale originale. Quello della reversibilità è senza dubbio il criterio più difficilmente applicabile ai materiali compositi. Le fibre infatti possono essere rimosse anche abbastanza facilmente se applicate a matrice polimerica (la temperatura superiore ai 60° le ammorbidisce), ma almeno una minima percentuale della matrice rimarrà comunque sempre sulla superficie originaria (quando non sia, peggio ancora, parzialmente penetrata nella materia di supporto). D'altra parte, la rimozione completa della matrice non può avvenire senza rovinare il sostrato, e questo è un problema molto serio, soprattutto in considerazione del fatto che proprio dal più o meno alto grado di collegamento tra materiale composito e sostrato d'origine viene garantita l'effettiva efficacia dell'intervento di rinforzo.

Considerando dunque i materiali compositi alla luce della loro aderenza ai principi del restauro, sembra di poter trovare nell'ultimo, e più importante, principio del minimo intervento finalmente un punto a loro favore e al tempo stesso una modalità che consenta di limitare anche le problematiche riscontrate con gli altri principi. Il più delle volte infatti, in virtù dell'estremamente favorevole rapporto peso/resistenza, gli interventi con i nuovi materiali rappresentano effettivamente il minimo tra tutti quelli tecnologicamente attuabili. Certamente, per quanto leggeri, tali interventi devono essere opportunamente calibrati in relazione alle effettive necessità strutturali, oltre che funzionali ed estetiche, dell'edificio considerandone la residua capacità, troppo spesso sottostimata³⁷.

Ancora una volta insomma, la garanzia di un intervento minimo, e corretto, non risiede semplicemente nella scelta di un materiale (più o meno innovativo), quanto piuttosto nel suo corretto dimensionamento in relazione al caso specifico, rammentando come sia «necessario non lasciarsi sopraffare dalle possibilità tecnologiche in nostro possesso [giacché] un edificio sarà tanto meglio restaurato quanto più si comporterà in modo identico, anche strutturalmente, al suo comportamento iniziale»³⁸.

37. «Il concetto di limitare i lavori di rinforzo al minimo necessario [deve portare] a utilizzare gli 'schemi di risorsa' formati nella statica dell'edificio senza alterarli [e quindi quegli] stati di equilibrio con cui la fabbrica si è spontaneamente difesa, ma che durano da secoli per il contrasto e la solidarietà delle strutture murarie; il turbarli e l'avviare un diverso sistema di azioni porta talvolta alla necessità di rifare», GIOVANNONI 1932, p. 419.

38. «Anche se tale comportamento, visto alla luce delle nostre attuali conoscenze di statica, presenta manifesti difetti e anomalie, questi ultimi non vanno 'corretti' se non dove è necessario farlo a evitare danni e dissesti irreparabili», SANPAOLESÌ 1973, p. 87.

Tra principi e pratica: alcuni esempi recenti

Il livello di soddisfacimento dei diversi principi illustrati è variabile non solo e non tanto in funzione dei materiali, ma soprattutto della tipologia di intervento. Non è possibile generalizzare, dicendo ad esempio che i compositi per loro natura non sono reversibili: se questo è vero in molte occasioni, non lo è in tutte. La trattazione di alcuni esempi particolarmente significativi relativi a comuni applicazioni dei materiali compositi al restauro strutturale appare quindi utile al fine di illustrare i rischi da scongiurare e le precauzioni da adottare nella difficile ricerca della “soluzione migliore” per il caso specifico, senza pretesa alcuna né di completezza né tantomeno di validità assoluta, in quanto la validità è sempre relativa e deve essere indagata a partire dalla consapevolezza che le soluzioni possibili sono molteplici³⁹.

La cerchiatura delle colonne – così come la “calastrellatura” dei pilastri – è una tipologia di intervento piuttosto diffusa, finalizzata a confinare lateralmente il materiale (muratura, calcestruzzo o pietra monolitica), aumentandone così la resistenza a compressione. Questo tipo di intervento si attua da secoli con l’uso di fasce o barre in ferro o acciaio, che possono anche essere messe in tensione (con cunei oppure bulloni su barre filettate) e risultare così attive fin dall’applicazione. Più di recente, in molti casi l’acciaio è stato sostituito da materiali compositi, in particolare fibre di carbonio applicate con resine epossidiche. In questo modo, però, la cerchiatura (salvo rari casi, per lo più a livello di sperimentazione⁴⁰) diventa passiva, ovvero entra in funzione solo in caso di ulteriore deformazione del materiale intercluso⁴¹. Ci sono per contro altri vantaggi, specie sul piano della compatibilità estetica e della reversibilità, quest’ultima spesso considerata un tabù per i materiali compositi. L’impatto estetico è certamente molto limitato – inferiore a quello delle cerchiature metalliche – grazie agli spessori ridottissimi e alla possibilità di ricoprire le strisce con materiali simili a quelli che compongono il sostrato. Ma è soprattutto interessante sottolineare come questo tipo di applicazioni non basi la propria efficacia sull’aderenza al supporto, in quanto le fibre lavorano esclusivamente a trazione per geometria: questo consente, ove le caratteristiche del sostrato lo richiedano, di inserire uno strato di materiale distaccante all’interfaccia senza che questo ne infici l’efficacia dal punto di vista tecnico. In questo caso, i principi del restauro risultano quindi soddisfatti, sempre che i compositi non vadano a ricoprire eccessivamente la superficie originale: l’intervento è distinguibile, reversibile, di limitato impatto estetico e compatibile, anche dal punto di vista meccanico, in

39. A solo titolo di esempio, si può vedere il confronto sperimentale tra diverse possibili configurazioni di consolidamento per il loggiato della Rocca di Fontanellato (PR), in BELLETTI, COISSON 2009.

40. Si vedano al proposito alcuni interessanti esempi riportati in JURINA 2010, come l’uso della malta espansiva, le cerchiature in CAM o l’uso di microtrefole post-tesi nei giunti di malta.

41. Per questo motivo si adottano solitamente materiali ad alto o altissimo modulo elastico, che possono entrare in tensione per bassi valori di deformazione.



Figura 6. Un intervento leggero, reversibile e distinguibile di cerchiatura in fibra di carbonio su di un capitello della cripta del Duomo di Parma (foto Arché Restauri).

quanto non modifica il comportamento proprio dell'elemento strutturale ma ne ostacola il meccanismo di rottura per espansione laterale.

Un esempio di questo tipo di intervento è quello eseguito, nel corso dei restauri del 2006 alla Cattedrale di Parma, su alcune basi, capitelli ed abachi nella cripta e nella facciata, con l'inserimento di strisce di fibre di carbonio applicate con resine epossidiche e ricoperte con polvere di marmo (fig. 6). L'altezza delle strisce è stata limitata per favorire la distinguibilità e lasciare a vista almeno una porzione della superficie originaria dell'elemento e prima dell'applicazione del materiale composito, sul sostrato è stato steso uno strato di polimeri fluorurati con la funzione di distaccante.

L'uso dei materiali compositi sta rapidamente diventando l'intervento di elezione anche per il consolidamento di volte in muratura. La caratteristica più apprezzata è certamente l'elevato rapporto tra resistenza a trazione e peso, che consente di aumentare la portanza della volta senza incrementare i carichi permanenti, e di conseguenza le azioni sismiche ad essi proporzionali. I problemi di compatibilità – in particolare dal punto di vista fisico – riscontrati nelle prime applicazioni con resine (scarsa traspirabilità, rischio di condense), sono stati almeno in parte superati dall'introduzione dei compositi a matrice cementizia. Come per altri tipi di intervento, anche in questo caso andrebbe limitata per quanto possibile l'estensione della superficie coperta dai materiali compositi; non solo per motivi teorici (autenticità, accessibilità ai materiali originali, minimo intervento) ma anche tecnici.

La muratura, infatti, è dotata di un livello di adattabilità molto elevato alle variazioni delle condizioni al contorno, quali cedimenti o spostamenti: gli esempi negli edifici antichi sono moltissimi e in alcuni casi anche eclatanti. Cosa sarebbe successo se gli stessi spostamenti fossero stati applicati a strutture consolidate con diffusi placcaggi? Alcuni dei meccanismi con i quali le strutture si sono in qualche modo difese e adattate alle nuove condizioni (fig. 7) non sarebbero stati possibili, innescando così coazioni interne e probabili schiacciamenti, oppure una migrazione delle lesioni in altre zone prima intatte. Come già dimostrato in passato dall'uso acritico di ferro e cemento armato, la modifica sostanziale di comportamenti strutturali noti e consolidati può portare a conseguenze difficili da prevedere, rendendo i singoli elementi più resistenti ma la struttura nel complesso più fragile.

Un esempio in questa direzione è riportato in figura 8, in cui si vede una volta a padiglione consolidata mediante strisce di fibre di carbonio (con connettori in fibra di vetro per bypassare i frenelli) limitate allo stretto necessario per impedirne i meccanismi radiali di apertura, ma posizionate in modo tale da consentire alla volta di seguire possibili cedimenti differenziali.

Un altro intervento che sta guadagnando popolarità nel campo del restauro strutturale è il placcaggio esterno delle murature con fasce composite di materiali, per aumentare, a seconda dei casi, resistenza e/o rigidità di setti murari di scarsa qualità o indeboliti dalla creazione di nuove aperture. Va



In questa pagina e nella seguente, figure 7 a-b-c. Esempi di strutture in muratura che si sono adattate a cedimenti notevoli senza crollare.





Figura 8. Minimo intervento di consolidamento con materiali compositi (fibre di carbonio e fibre di vetro in matrice resinosa) di una volta a padiglione nel Palazzo Comunale di Modena (progettisti proff. Angelo Di Tommaso e Carlo Blasi): l'intervento blocca il meccanismo di danno individuato senza ostacolare possibili adattamenti al mutare delle condizioni al contorno.

sottolineato che, dal punto di vista teorico, questo tipo di interventi, anche se realizzato con materiali nuovi, non è molto dissimile dal tanto vituperato intonaco armato. Certo, i problemi di compatibilità sono ridotti (in primis per l'assenza dei fenomeni di ossidazione) ma i principi di autenticità e reversibilità continuano a non essere soddisfatti. La ricerca scientifica e tecnologica sta lavorando molto in questo settore e nuove tecnologie quali la ristilatura armata con fibre di acciaio⁴² o di basalto⁴³ soddisfano meglio queste richieste, ma la loro applicazione rimane limitata ad alcune tipologie di muratura e gli effetti delle modifiche al comportamento strutturale di ampie parti dell'edificio devono ancora essere verificati (specie in campo sismico) a lungo termine e in quantità statisticamente rilevanti.

42. BORRI, CORRADI, SPERANZINI, GIANNANTONI 2008.

43. Sistema brevettato da Stefano Lenci e Enrico Quagliarini col nome di "ticorapsimo" e descritto in QUAGLIARINI, MONNI, LENCI 2012.

Conclusioni

In questo percorso di ricerca dell'intervento specifico per il singolo caso, imparare dal passato – e particolarmente dagli errori fatti nell'uso di quelli che erano una volta considerati materiali moderni – può aiutare oggi a evitare errori nell'uso dei nuovi materiali moderni, che ancora non possono vantare un lungo corso applicativo e quindi una adeguata sperimentazione sul campo. Tra gli errori commessi in passato in questo settore, molti risalgono alle prime applicazioni delle nuove tecnologie su edifici tradizionali, quando ancora non erano del tutto noti le caratteristiche di questi materiali ed il loro comportamento a contatto con strutture secolari. Materiali come i compositi tradizionali (fibre di vetro e carbonio in matrici resinose, in primis) hanno ormai superato questa prima fase, grazie a diversi decenni di studi sperimentali e applicazioni in situ. Altri errori però sono stati in molti casi svelati dal tempo, che con il suo scorrere (tra cicli stagionali, deformazioni incrementali e saltuarie azioni sismiche) ha portato ad evidenziare anche dopo molti anni difetti e incompatibilità che non erano stati compresi in un primo momento. Questo tipo di rischio non è ancora del tutto scongiurato per i materiali di più recente introduzione e non potrà esserlo finché la prova del tempo non avrà fatto il suo corso.

Ma gli errori più macroscopici si sono manifestati quando alcuni materiali e tecnologie sono diventati “di moda”, venendo così applicati su larga scala ma in maniera acritica e spesso massiccia, andando a stravolgere il comportamento strutturale originario degli edifici nei quali venivano inseriti. Coperture lignee sostituite massicciamente con strutture in cemento armato perché considerate più durabili, strutture metalliche inserite in sostanziale sostituzione della funzione portante dell'edificio storico e tanti altri casi ancora. Questo è il rischio maggiore che oggi si presenta a chi vuole intervenire con i materiali più moderni: applicarli, sollecitati più da logiche di mercato che dalle reali esigenze dell'edificio, progettarne la disposizione sulla base di considerazioni tipologiche e non specifiche, per poi magari abbondare nel loro uso a favore di sicurezza. In sintesi, applicarli senza il filtro dei principi del restauro, che non cambiano al cambiare dei materiali, ma richiedono sempre una attenta lettura e comprensione del manufatto storico (anche nei suoi aspetti strutturali) e la riduzione degli interventi a quelli minimi necessari per la sua conservazione.

Niente di nuovo, in fondo.

Bibliografia

- BELLETTI, COÏSSON 2009 - B. BELLETTI, E. COÏSSON, *Structural jacketing of brick masonry columns: a comparison among different solutions*, in M. HENDRIKS, S. BILLINGTON (a cura di), *Computational Modeling on Concrete, Masonry and Fiber-reinforced Composites*, Proceedings of the Workshop (Delft, 17-18 June 2009), Delft University of Technology, The Netherlands 2009, pp. 3-6.
- BONELLI 1988 - R. BONELLI, *Restauro: l'immagine architettonica tra teoria e prassi*, in «Storia Architettura», XI (1988), 1-2, p. 13.
- BOITO 1893 - C. BOITO, *Questioni pratiche di Belle Arti*, Hoepli, Torino 1893.
- BORRI, CORRADI, SPERANZINI, GIANNANTONI 2008 - A. BORRI, M. CORRADI, E. SPERANZINI, A. GIANNANTONI, *Consolidation and Reinforcement of Stone Walls using a Reinforcement Repointing Grid*, in *Proceeding of SAHC 2008 - 6th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions* (Bath, July 2-4, 2008), Taylor & Francis Group, London 2008, pp. 981-990.
- BOSCARINO 1990-1992 - S. BOSCARINO, *Il duomo di Messina dopo il terremoto del 1908: dal consolidamento delle strutture superstiti alla ricostruzione totale*, in C. BOZZONI, G. CARBONARA, G. VILLETTI (a cura di), *Saggi in onore di Renato Bonelli*, in «Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura» 1990-1992, 15-20, pp. 517-524.
- BOSCARINO, PRESCIA 1992 - S. BOSCARINO, R. PRESCIA (a cura di), *Il restauro di necessità*, Franco Angeli Editore, Milano 1992.
- BRAGA, DOLCE, LEPIDI 1987 - F. BRAGA, M. DOLCE, G. LEPIDI, *Un sistema esperto per la valutazione del rischio sismico dei ponti*, in F. BRAGA, M. DOLCE, G. LEPIDI (a cura di), *Atti del III Congresso Ingegneria Sismica in Italia* (Roma, 30 settembre - 2 ottobre 1987), Tipografia Esagrafica, Roma 1987, pp. 13-19.
- CAMPISI 1999 - T. CAMPISI, *L'intervento di prevenzione e consolidamento nel restauro fra sicurezza e conservazione*, Tesi di Dottorato in Conservazione dei Beni Architettonici, XII ciclo, Università Federico II, relatori: S. Boscarino, F. La Regina, 1999.
- CARBONARA 1997 - G. CARBONARA, *Avvicinamento al restauro*, Liguori Editore, Napoli 1997.
- CENTRONI 2007 - A. CENTRONI (a cura di), *Quale sicurezza per il patrimonio architettonico?*, in *Atti del VI Convegno Nazionale ARCO* (Mantova, 30 novembre - 2 dicembre 2006), Nuova Argos, Roma 2007.
- CESCHI 1970 - C. CESCHI, *Teoria e storia del restauro*, Bolzoni ed., Roma 1970.
- CLOQUET 1914 - L. CLOQUET, *Le Beton de ciment arme*, in *Atti del IX congresso internazionale degli architetti* (Roma, 2-10 ottobre 1911), Tipografia coop. diocleziana, Roma 1914, pp. 195-211.
- CORRADI 1998 - M. CORRADI, *Scienza e tecnica per il "progetto di consolidamento"*, in G. DRIUSSI, G. BISCONTIN (a cura di), *Progettare i restauri. Orientamenti e metodi - indagini e materiali*, *Atti del Convegno Internazionale Scienza e Beni Culturali* (Bressanone, 30 giugno - 3 luglio 1998), Arcadia, Padova 1998, pp. 139-148.
- CURRÒ 1991 - G. CURRÒ (a cura di), *La trama della ricostruzione: Messina, dalla città dell'Ottocento alla ricostruzione dopo il sisma del 1908*, Gangemi, Roma 1991.
- DI STEFANO 1990 - R. DI STEFANO, *Consolidamento strutturale nel restauro architettonico*, EDI, Napoli 1990.
- GIOVANNETTI 2005 - F. GIOVANNETTI, *Presentazione*, in G. CANGI, *Manuale del recupero strutturale antisismico*, DEI, Roma 2005, p. 10.
- GIOVANNONI 1932 - G. GIOVANNONI, *La Conferenza internazionale di Atene per il restauro dei Monumenti*, in «Bollettino d'Arte del Ministero dell'Educazione Nazionale», XXV (1932), serie III, 9, pp. 409-420.
- GIOVANNONI 1933 - G. GIOVANNONI, *Les moyens modernes de construction appliqués à la restauration des monuments*, in *La construction des monuments d'art et d'histoire*, Institut de Coopération Intellectuelle, Paris 1933, pp. 179-184.
- GIOVANNONI 1945 - G. GIOVANNONI, *Il restauro dei monumenti*, Tipografia Editrice Italia, Roma 1945.

- GIUFFRÈ 1993 - A. GIUFFRÈ, *Sicurezza e conservazione nei centri storici in area sismica. Sintesi metodologica*, in A. GIUFFRÈ (a cura di), *Sicurezza e conservazione nei centri storici, il caso di Ortigia*, Laterza, Roma-Bari 1993, pp. 1-3.
- GIUFFRÈ 1988 - A. GIUFFRÈ (a cura di), *Monumenti e terremoti: aspetti statici del restauro*, Multigrafica, Roma 1988.
- GIUFFRÈ 1984 - A. GIUFFRÈ, *Pietà per i monumenti*, in G. CARBONARA (a cura di), *Restauro e cemento in architettura*, AITEC, Roma 1984.
- GIZZI 1988 - S. GIZZI, *L'uso dei nuovi materiali nel "restauro dei monumenti": problemi ed errori "tecnici" e Carte del restauro*, in F. GALLONI (a cura di), *Conoscere per intervenire: il consolidamento degli edifici storici*, Atti del III Congresso Nazionale ASS.I.R.CO (Catania, 10 - 12 Novembre 1988), Graf, Roma 1988, pp. 103-113.
- GUERRIERO, RONDINELLA 2008 - L. GUERRIERO, L. RONDINELLA, *La copertura in c.a. della basilica di Santa Chiara in Napoli*, in R. IENTILE (a cura di), *Architetture in c.a.. Orientamenti per la conservazione*, Franco Angeli, Milano 2008, pp.257-263.
- LÈON 1951 - P. LÈON, *La vie des monuments français. Destruction. Restauration*, A. et J. Picard, Paris 1951.
- LIZZI 1981 - F. LIZZI, *Restauro statico dei monumenti. Criteri d'intervento e casistica: rafforzamento di edifici danneggiati da azioni sismiche*, Sagep, Genova 1981.
- JURINA 2010 - L. JURINA, *Tecniche di cerchiatura di colonne in muratura*, in «L'edilizia-Strutturale», XVIII (2010), 164, pp. 38-49.
- MANIERI ELIA 2010 - G. MANIERI ELIA, *Metodo e tecniche del restauro architettonico*, Carocci editore, Roma 2010.
- MARCONI 2003 - G. MARCONI, *Materia e significato. La questione del restauro architettonico*, Laterza, Bari 2003.
- MILIZIA 1781 - F. MILIZIA, *Memorie degli architetti antichi e moderni*, Stamperia Reale, Parma 1781.
- MARMO 2007 - F. MARMO, *L'innovazione nel consolidamento. Indagini e verifiche per la conservazione del patrimonio architettonico*, Gangemi Editore, Roma 2007.
- NERVI 1945 - P.L. NERVI, *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*, Edizioni della Bussola, Roma 1945.
- OTTONI 2012 - F. OTTONI, *Delle cupole e del loro tranello*, Aracne EdA, Roma 2012.
- OTTONI, BLASI 2015 - F. OTTONI, C. BLASI, *Hooping as an ancient remedy for conservation of large masonry domes*, in «International Journal of Architectural Heritage», 9 (2015) (DOI: 10.1080/15583058.2015.1113335).
- PETROSKI 2005 - H. PETROSKI, *Gli errori degli ingegneri. Paradigmi di progettazione*, Edizioni Pendragon, Bologna 2005.
- QUAGLIARINI, MONNI, LENCI 2012 - E. QUAGLIARINI, F. MONNI, S. LENCI, *Masonry strengthening through basalt fibre ropes. Experimental and analytical results*, Proceedings of SAHC 2012 - 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (Wroclav, Poland, 15-17 Ottobre 2012), DTP, Wroclaw, II, pp. 341-350.
- ROCCHI COOPMANS DE YOLDI 1996 - G. ROCCHI COOPMANS DE YOLDI (a cura di), *S. Maria del Fiore: rilievi, documenti, indagini strumentali, interpretazioni: piazza, battistero, campanile*, Il Torchio, Firenze 1996.
- RUSKIN 1849 - J. RUSKIN, *The Seven Lamps of Architecture*, The Waverley Book Company, London 1849 (trad.it. Ed. Jaca Book, Milano 1981).
- RUSO 2011 - V. RUSSO, *"Una immensa rovina". Monumenti e restauro nei centri antichi di Napoli (1944-1955)*, in S. CASIELLO (a cura di), *Offese di guerra. Ricostruzione e restauro nel Mezzogiorno d'Italia*, Alinea, Firenze 2011, pp. 43-70.
- SANPAOLESI 1973 - P. SANPAOLESI, *Discorso sulla metodologia generale del restauro dei monumenti*, EDAM, Firenze 1973.
- TAMBORRINO 1996 - R. TAMBORRINO (a cura di), *Viollet Le Duc, Gli architetti e la storia. Scritti sull'architettura*, Bollati Boringhieri, Torino 1996.
- TORRACA 2001 - G. TORRACA, *La cura dei materiali nel restauro dei monumenti*, La Sapienza, Roma 2001, pp. 196-207.
- VALTIERI 2008 - S. VALTIERI (a cura di), *La grande ricostruzione dopo il terremoto del 1908 nell'area dello Stretto*, Clear, Roma 2008.