



IL RESTAURO E LA CONSERVAZIONE DELLA CHIESA-TENDA IN CEMENTO ARMATO DI PINO PIZZIGONI A LONGUELO-BERGAMO

Luigi Coppola

Dipartimento di Ingegneria e Scienza Applicate, DISA, Università di Bergamo
luigi.coppola@unibg.it

SOMMARIO

Lo scorso anno è stato ultimato l'intervento di restauro e conservazione della chiesa-tenda in calcestruzzo armato di Pino Pizzigoni, situata nel quartiere di Longuelo a Bergamo. La chiesa rappresenta uno dei più fulgidi esempi in Italia di strutture a volte sottili in c.a. Tuttavia, proprio l'esilità di queste strutture e gli scarsi mezzi a disposizione all'epoca della realizzazione, avvenuta nella prima metà degli anni '60, che avevano prodotto negli elementi in c.a. alcuni difetti congeniti, hanno determinato negli anni non pochi problemi di carattere manutentivo per la particolare vulnerabilità degli elementi in c.a. all'azione aggressiva dell'ambiente. La chiesa aveva già richiesto interventi di restauro sin dagli inizi degli anni '80 a meno di 15 anni dall'ultimazione dell'opera. Questi interventi manutentivi consistettero, tra gli altri, nell'applicazione di una protezione superficiale costituita da un

IN APERTURA. Vista generale
a lavori ultimati.

rivestimento "impermeabile" in materiale "plastico", in alcune zone armato con una rete in fibra di vetro. L'intervento di protezione/impermeabilizzazione superficiale, tuttavia, si è rivelato di scarsa efficacia. In molti punti, infatti, esso risultava delaminato e fessurato; in altre zone totalmente degradato, e, pertanto, incapace nel prevenire estese forme di alterazione e degrado dei materiali costituenti le strutture in c.a. che – prima dell'intervento di ripristino – presentavano numerose zone interessate da colonizzazioni biologiche, da corrosione intensa dei ferri di armatura, dalla presenza di efflorescenze e di infiltrazioni di acqua sia nelle connessioni tra strutture portanti e volte sottili sia nelle zone basali per effetto dell'adescamento di acqua dal terreno. L'intervento di restauro e conservazione è consistito nella ricostruzione delle sezioni degradate delle strutture portanti mediante getto di malta colabile entro casseri di legno che hanno riprodotto fedelmente la tessitura originaria degli elementi in c.a. La ricostruzione delle volte sottili è avvenuta, invece, con malte tixotropiche applicate a spatola. Entrambi gli interventi di ricostruzione sono stati preceduti dalla rimozione del rivestimento plastico impermeabile, dalla scarifica del conglomerato cementizio al fine di liberare completamente i ferri di armatura che sono stati spazzolati per eliminare la ruggine e successivamente protetti con un rivestimento protettivo polimero-cemento. L'intervento è stato ultimato dall'applicazione di una rasatura superficiale e da un protettivo acrilico elastomerico. La rasatura è stata applicata solo nelle zone interessate dalla ricostruzione e si è resa necessaria per uniformare la tessitura di queste aree con quelle non interessate dal ripristino. La protezione acrilica-elastomerica, invece, è stata applicata sull'intera superficie esterna della chiesa per garantire una protezione ulteriore nei confronti della pioggia e dell'anidride carbonica dell'aria, oltre che per ottenere il colore finale desiderato elaborato analizzando al computer frammenti di calcestruzzo prelevati da quegli elementi in c.a. che dagli anni '60 mai erano stati interessati dalla manutenzione nel corso degli anni.

ABSTRACT

REPAIR AND CONSERVATION OR REINFORCED CONCRETE TENT-CHURCH BY PINO PIZZIGONI AT LONGUELO – BERGAMO

Last year, maintenance and conservation of the reinforced concrete tent-church of Pino Pizzigoni, located in the district of Longuelo in Bergamo, was completed. The church represents one of the most impressive examples in Italy of very thin reinforced concrete vaults structures. However, the very thin cross section of these structures – together with the very difficult concrete placing operations when the church was built (the first half of the 1960s), which they had produced in the reinforced concrete elements some congenital defects (honeycomb, poor concrete quality, thin covers, etc) - have required in the years a constant maintenance for the particular vulnerability of the reinforced concrete structures to environmental aggressive agents.

The church had already required complicated restoration works since the early 1980's, i.e less than 15 years after the construction of the church was completed. The maintenance consisted, amongst others of, the application of a surface protective membrane (a "watertight" plastic coating) in some areas reinforced with a fiberglass mesh. Surface protection based on the waterproofing membrane, however, proved to be ineffective. In many places, in fact, it was delaminated and cracked. In other areas totally deteriorated, and therefore unable to prevent

extensive forms of alteration and degradation of reinforced concrete elements. Reinforced concrete structures - before restoration - had many areas affected by biological colonization, severe corrosion of reinforcements, efflorescence and water infiltration both in the connections between load bearing structures and thin reinforced concrete vaults and in basement areas due to the capillary rising water from the ground. The restoration and conservation consisted in the reconstruction of the deteriorated sections of the load bearing structures (columns) by means of a very fluid shrinkage compensating mortar poured in a wood formwork that faithfully reproduced the original texture of the reinforced concrete elements. The reconstruction of thin reinforced concrete vaults occurred, however, with a thixotropic mortars applied by trowel. Both reconstruction procedures were preceded by the removal both of the waterproofing plastic coating and deteriorated concrete. Concrete demolition was made in order to completely release the reinforcing bars that were, first, brushed to eliminate rust and, subsequently, protected with a polymer-cement coating.

Repair was completed by the application, by spraying, on the surface of reinforced concrete elements of a thin mortar layer. Finally, an elastomeric acrylic coating completed the maintenance work. The thin mortar layer has only been applied to areas affected by reconstruction and has been made necessary to align the texture of these areas with those not affected by restoration. Acrylic-elastomeric protection, on the other hand, has been applied on the entire outer surface of the church to provide additional protection against rain and carbon dioxide in the air, as well as to obtain the desired finishing color, the latter evaluated by analyzing computer fragments of concrete taken from those reinforced concrete elements from the 1960s had never been affected by maintenance over the years.

PAROLE CHIAVE | KEYWORDS

Manutenzione, restauro, conservazione, strutture in calcestruzzo armato a volte sottili, degrado del calcestruzzo, colonizzazioni biologiche, corrosione delle armature, espulsione del copriferro, malte colabili e tixotropiche a ritiro compensato, protezioni acriliche

Maintenance, repair, conservation, very thin reinforced concrete vaults, concrete deterioration, biological colonization, reinforcement corrosion, spalling of cover, shrinkage compensating grout and thixotropic mortar, acrylic coating

CRONOLOGIA

Maggio-Luglio 2015: cantiere prova

Luglio-Settembre 2015: definizione delle voci di capitolato e gara di aggiudicazione

Montaggio dei ponteggi: Ottobre-Novembre 2015

Inizio-Fine Lavori: Dicembre 2015-Giugno 2016

SOGGETTI RESPONSABILI

Committente: Parrocchia della Beata Maria vergine Immacolata di Longuelo – Parroco pro-tempore: Don Massimo Maffioletti

Direttori Lavori: Luigi Coppola

Direttore Artistico: Paolo Belloni

RUP: Diego Pasta – Alex Servizi

Coordinatore per la Sicurezza: Arch. Roberto Gritti

Impresa di costruzione: Poloni srl (Alzano Lombardo)

UN BREVE CENNO STORICO

Realizzata negli anni '60, su progetto dell'Arch. Ing. Pino Pizzigoni, la chiesa-tenda in cemento armato situata nel quartiere di Longuelo a Bergamo, è stata sottoposta lo scorso anno ad un delicato intervento di restauro e conservazione delle strutture in cemento armato. La chiesa rappresenta il punto di arrivo di una serie di studi condotti dall'Arch. Pizzigoni sulle strutture in c.a. a volte sottili, che lo stesso aveva iniziato negli anni '50 con la progettazione di alcune strutture di copertura sperimentali di edifici a uso civile e di opifici industriali e artigianali. La chiesa è costituita di quattro parti uguali e indipendenti; infatti, in corrispondenza degli assi principali si realizza un giunto completo di separazione che permette ad ognuno dei quattro settori di avere un comportamento staticamente indipendente dagli altri. La struttura portante della chiesa è costituita da pilastri verticali e sub-orizzontali a sezione prevalentemente circolare, collegati da volte sottili a doppia curvatura, a loro volta collegate ad anello e, a parziale occlusione del vuoto dell'anello, da una quinta volta. Ognuna delle cinque volte, possiede un perimetro a forma di quadrilatero sghembo con una sezione concava tesa lungo una delle diagonali e con l'altra convessa soggetta a compressione lungo la diagonale opposta. La peculiarità delle volte della chiesa-tenda è rappresentata dal fatto che questi elementi sono stati realizzati mediante getto in opera di calcestruzzo utilizzando – come peraltro per tutti gli elementi portanti in c.a. della chiesa – casseri in legno e un'armatura in forma di rete costituita da tondini di diametro pari a 12 mm disposti perpendicolarmente secondo le due diagonali. Lo spessore delle volte della chiesa-tenda varia tra i 4 e i 6 cm circa. Il ridotto spessore della volta – come meglio verrà specificato nel seguito – rappresenterà l'elemento distintivo sia in positivo che in negativo della chiesa di Longuelo, in quanto sarà proprio il ridotto spessore di queste volte iperboliche a donare all'insieme un'immagine mistica – quasi sacrale – ma allo stesso tempo la renderà particolarmente vulnerabile all'azione inevitabile del tempo e dell'ambiente.

In realtà, Pino Pizzigoni – sebbene fossimo in un'epoca in cui il calcestruzzo armato era ancora ritenuto un materiale durevole (è la stessa euforia modernista ad indicare il cemento armato come il materiale del futuro, indistruttibile e capace di sostenere la crescita e lo sviluppo della società moderna) in quanto assimilabile alle pietre naturali – aveva probabilmente intuito che il punto debole delle volte in c.a. della chiesa di Longuelo fosse rappresentato dalla vulnerabilità all'aggressione dell'ambiente e della pioggia in particolare, tanto che – probabilmente anche per aspetti di natura tessiturale e di colore, aveva previsto – ad ultimazione degli elementi strutturali e delle volte in c.a. – di realizzare una protezione superficiale in malta di cemento, sia per le coperture che per tutte le superfici restanti. La malta avrebbe dovuto essere confezionata con agenti espansivi e additivi "impermeabilizzanti" che avrebbero dovuto – grazie alla compensazione del ritiro dovuto all'espansione contrastata – eliminare la comparsa delle fessure e proteggere la strutture dall'azione della pioggia. Pizzigoni aveva anche pensato di realizzare questo strato di malta protettivo ricorrendo nel confezionamento all'aggiunta di polvere di ghisa che avrebbe dovuto conferire all'insieme una colorazione simile a quella della ruggine. In realtà, questo strato di malta non venne mai realizzato e, in difformità all'idea originale di Pizzigoni, venne realizzata una tradizionale copertura in lastre di ardesia che non pochi problemi sollevarono negli anni successivi alla consacrazione della chiesa avvenuta nel giugno del 1966. Le strutture portanti in c.a. e le stesse volte, quindi, nelle intenzioni originali dell'Arch. Pizzigoni avrebbero dovuto presentare una tessitura rugosa, ma continua, grazie proprio alla realizzazione dello strato superficiale impermeabile

rappresentato dalla malta a ritiro compensato. In realtà molte delle superfici in c.a. della Chiesa di Longuelo evidenziano, invece, il disegno delle tavole di legno delle cassetture autoportanti impiegate per la realizzazione dei getti. Anche per il pavimento interno alla chiesa, Pizzigoni aveva previsto – in luogo delle tradizionali pavimentazioni in pietra o in marmette di cemento – l'utilizzo di ciottoli di ghiaia che, tuttavia, vennero ritenuti non adatti per l'interno della chiesa per il rumore che avrebbe prodotto il calpestio dei fedeli e che poco si sarebbe adattato alle funzioni religiose.

Come già è stato accennato l'intervento di restauro e conservazione appena concluso non è stato l'unico ad interessare la Chiesa di Pizzigoni. Nel gennaio del 1985, infatti, a seguito di un'abbondante nevicata, che interessò gran parte dell'Italia del nord, il tetto della chiesa venne severamente danneggiato e le lastre di ardesia, per l'elevata probabilità di cadere, vennero rimosse e sostituite da una più leggera copertura in rame. Nello stesso periodo vennero effettuati interventi localizzati di sostituzione del calcestruzzo ammalorato, come è stato constatato durante i sopralluoghi finalizzati a valutare lo stato di fatto dell'opera, con malte di colorazione diversa rispetto al calcestruzzo originario. L'intervento principale, tuttavia, consistette nell'applicazione di un rivestimento a basso spessore avente caratteristiche "impermeabili" e di protezione che interessò soltanto gli elementi in calcestruzzo esposti direttamente o indirettamente all'azione della pioggia che presentavano problemi di corrosione dei ferri e di espulsione del copriferro. Non è ben chiaro, ma è probabile che l'elemento in calcestruzzo che costituisce l'ingresso alla chiesa sia stato oggetto di intervento anche in una terza fase come testimonia la presenza di una protezione impermeabile realizzata con malte polimero-cemento del tipo di quelle oggi utilizzate per l'impermeabilizzazione dei terrazzi e degli aggetti.

LO STATO DI FATTO: ANALISI DELLE FORME DI ALTERAZIONE, DI DEGRADO E DI DISSESTO DEGLI ELEMENTI IN C.A. DELLA CHIESA-TENDA

Come è stato anticipato al paragrafo precedente, gli elementi in calcestruzzo armato portanti e le volte sottili della Chiesa di Longuelo, inclusa la struttura del portale di ingresso, nel 2014 – anno in cui sono iniziate le attività di rilievo e di diagnosi della chiesa-tenda – erano stati già sottoposti a precedenti interventi di restauro. In particolare, le strutture in c.a. degli elementi portanti e delle stesse volte sottili erano state protette con un rivestimento superficiale in malta polimero-cemento (figure 1 e 2) che si presenta in molti punti distaccato e fessurato. La presenza di questo rivestimento protettivo, applicato con buone probabilità negli anni '80 senza una preventiva ricostruzione delle sezioni ammalorate (eliminando il calcestruzzo degradato ed effettuando una corretta pulizia dei ferri di armatura), ha celato per lungo tempo pericolose situazioni rappresentate da ferri severamente corrosi (figura 3) oppure da sezioni degli elementi in c.a. che presentavano difetti di natura congenita, quali zone non perfettamente riempite di calcestruzzo (figura 4) oppure caratterizzate da un raggruppamento dell'armature che correttamente avrebbero dovuto, invece, essere disposte sul perimetro degli elementi circolari (figura 5). In alcuni pilastri inclinati, probabilmente per la difficoltà di sostenere le casseforme durante il getto, sono stati utilizzati degli elementi tubolari in acciaio "a perdere" annegati completamente nel getto di calcestruzzo (figura 6). Tutte le strutture in c.a. direttamente esposte all'azione dell'acqua piovana, inoltre, erano interessate dalla formazione di patine biologiche e dalla deposizione di particolato

atmosferico (figura 7). In particolare, le zone interessate da queste alterazioni sono quelle esposte sui lati più freddi che coincidono proprio con l'ingresso alla chiesa, mentre sono totalmente assenti sui lati interessati per un maggior numero di ore dall'irraggiamento solare. Le colonizzazioni biologiche sono particolarmente evidenti sulla zona sommitale del portale direttamente sottoposta all'azione dell'acqua piovana ed esposta a nord. In queste strutture, probabilmente interessate da un restauro successivo a quello degli anni '80, proprio per le più severe condizioni di aggressione ambientale, la membrana protettiva è diversa da quella riscontrata sulla superficie degli altri elementi costruttivi. Si tratta, infatti, di una membrana polimero-cemento del tipo di quelle utilizzate per l'impermeabilizzazione dei balconi e delle terrazze. Queste membrane sono apparse in Italia, verso la metà degli anni '90, quindi è lecito ritenere che il portale sia stato sottoposto – proprio per le particolari condizioni di esposizione ambientale – a un successivo intervento che, per contro, non ha riguardato gli altri elementi costruttivi in c.a. E' interessante notare come questa membrana polimero-cemento utilizzata proprio come strato impermeabile nei terrazzi e negli aggetti – dove però viene posizionata al di sotto delle piastrelle e, quindi, di fatto protetta dall'azione diretta dell'acqua piovana – si presenti completamente degradata (figura 8). Essa è interessata non solo dalla formazione di muschi, ma da un generale irrigidimento e da una rilevante perdita di massa che mette in risalto la rete in fibra di vetro che generalmente rinforza la membrana stessa. Questa situazione è indicativa di come il ricorso a queste membrane – particolarmente ricche in polimero (circa il 20% della polvere del premiscelato) – le esponga ad un forte rischio di dilavamento qualora utilizzate su superfici direttamente esposte all'acqua piovana e non protette, invece, dal pavimento in gres porcellanato, klinker, cotto o materiale lapideo.



1. Puntone in calcestruzzo armato con area parzialmente interessata da ferri corrosi ed espulsione del calcestruzzo del copriferro. L'originale struttura in c.a. è rivestita con una membrana a tessitura grossolana applicata negli anni '80 nel corso del primo di intervento di restauro.



2. Particolare dell'attacco della volta alla struttura portante. Il rivestimento protettivo (sulla destra) si è distaccato esponendo il ferro d'armatura alla corrosione con conseguente espulsione del calcestruzzo.



3. Completa corrosione dei ferri di armatura in corrispondenza della sezione di attacco tra volta sottile ed elemento portante in c.a.



4. Pilastro in c.a. con una zona completamente priva di calcestruzzo. Si tratta di un difetto congenito determinato dalla difficoltà di gettare calcestruzzi poco fluidi. All'epoca della realizzazione della chiesa, nella prima metà degli anni sessanta, infatti, non era disponibile il calcestruzzo preconfezionato. Il conglomerato veniva prodotto in opera, di solito senza uno studio delle curve granulometriche e senza ricorrere agli additivi superfluidificanti accentuando, pertanto, il rischio di segregazione del calcestruzzo durante il getto.



5. Particolare di un pilastro con una zona congestionata di ferri di armatura non completamente annegati nel conglomerato cementizio.



6. Elemento tubolare in acciaio annegato nella porzione sommitale di un puntone inclinato.



7. Deposito di particolato atmosferico sulle volte (a sinistra) e colonizzazioni biologiche in corrispondenza della zona sommitale del portale di ingresso alla chiesa.



8. Particolare della membrana polimero-cemento sulla zona sommitale del portale di ingresso. Si noti la presenza di muschi sulla superficie del rivestimento protettivo e il degrado della stessa membrana consistente in una severa asportazione di materiale che mette in risalto la rete di armatura in fibra di vetro annegata al suo interno.

Il degrado della membrana ha favorito l'ingresso dell'acqua nella struttura in calcestruzzo del portale favorendo successivamente la corrosione dei ferri che nel precedente intervento di risanamento erano stati erroneamente trattati con le vernici protettive (figura 9) senza operare però la corretta liberazione del ferro e la pulizia dell'armatura stessa dalla ruggine. Questo conferma come l'utilizzo di queste vernici protettive non possa costituire la soluzione al problema della corrosione dei ferri se non si procede ad effettuare correttamente tutte le operazioni di completa liberazione del ferro e di eliminazione della ruggine prima di applicare il protettivo e successivamente ricostruire la sezione con malta a ritiro compensato.



9. Particolare di una zona del portale. Si noti come la mera applicazione sul ferro della vernice protettiva (di colore verde nella foto) non abbia impedito al ferro si corrodere.

L'INTERVENTO DI RESTAURO E CONSERVAZIONE DELLA CHIESA-TENDA

L'intervento di restauro e conservazione ha riguardato gli elementi portanti (puntoni), le volte sottili e le strutture in copertura, oltre ad interventi mirati a migliorare la raccolta e lo smaltimento delle acque piovane cui si deve attribuire la maggiore responsabilità dei danni di cui la Chiesa della Beata Maria Vergine Immacolata di Longuelo soffriva.

Gli interventi sugli elementi portanti verticali e sub-orizzontali

Gli obiettivi generali alla base delle soluzioni definite in fase progettuale sono stati quelli di ripristinare le sezioni originali, senza apportare modifiche alle dimensioni degli elementi portanti al fine di non snaturare l'originale progetto di Pizzigoni, ma allo stesso tempo realizzando un miglioramento della capacità portante delle colonne nel rispetto anche della tessitura superficiale del conglomerato cementizio. Per conseguire questi obiettivi, è stato deciso di effettuare la ricostruzione della sezione – abbandonando un'iniziale strada che avrebbe voluto il ripristino effettuato con malte tixotropiche – e ricorrendo all'impiego di una malta colabile gettata entro cassero. E' stato ritenuto, infatti, che per la particolare geometria degli elementi portanti verticali (prevalentemente di forma circolare), sarebbe risultato di fatto impossibile contrastare l'espansione delle malte tixotropiche. Il mancato contrasto all'espansione avrebbe generato una scarsa precompressione iniziale nella porzione di sezione ricostruita che sarebbe stata così esposta al rischio di fessurazione per effetto del ritiro idraulico impedito. L'impiego di una malta tixotropica, inoltre, avrebbe determinato anche non pochi problemi da un punto di vista estetico in quanto occorreva ottenere una superficie faccia-vista con tavole di legno uguale a quella ottenuta al momento della costruzione al disarmo delle casserature di legno. Per ottenere questa superficie sarebbe stato necessario stampare a fresco la superficie della malta tixotropica dopo la ricostruzione della sezione realizzando un cassero di forma circolare da applicare sulla superficie dell'elemento in c.a. Tutte queste motivazioni hanno condotto ad optare, per la ricostruzione delle sezioni degli elementi verticali, per il getto di malta colabile all'interno di un cassero in legno realizzato con tavole di dimensioni uguali a quelle originarie assemblate mediante delle lamine in acciaio. Nello specifico l'intervento relativo alle strutture portanti verticali (o sub-orizzontali), ma anche quello che ha interessato le strutture di perimetro delle volte sottili ha previsto:

A) la demolizione del calcestruzzo ammalorato, ma anche di quello integro per conseguire due obiettivi: liberare completamente i ferri di armatura, scarificare in tutti i punti della sezione – anche in quelli ove il conglomerato si presentava completamente integro – almeno 10-15 mm. La scarifica e la successiva ricostruzione degli elementi verticali è avvenuta per conci di circa 2-2,5 m, non interessando mai contemporaneamente due elementi verticali. In sostanza, la scarifica di un elemento poteva avvenire solo dopo che quello adiacente era già stato ricostruito. La demolizione del calcestruzzo è avvenuta mediante idroscarifica (figure 10-11). L'operazione di idroscarifica consente di rimuovere il rivestimento protettivo applicato nei precedenti interventi di manutenzione, il calcestruzzo ammalorato e quello integro – senza generare fessurazioni nel substrato – e allo stesso tempo permette di liberare completamente le armature ed effettuare una prima pulizia delle armature dalla ruggine. Questa operazione verrà completata, successivamente, mediante la spazzola metallica montata sul trapano.



10. Idroscarifica di un elemento portante in calcestruzzo.

B) dopo aver effettuato la pulizia dei ferri le armature sono state protette applicando a pennello un protettivo per ferri conforme alla norma EN 1504-7 avendo cura di non sporcare il calcestruzzo circostante le armature (figure 12-13). In questa evenienza, si produrrebbe una dannosa riduzione dell'aderenza tra calcestruzzo del substrato e malta da ricostruzione con ripercussioni negative sulla precompressione benefica indotta dal contrasto all'espansione della malta colabile utilizzata nella ricostruzione.



11. Elemento sub-orizzontale in c.a. dopo la scarifica e la liberazione dei ferri il cui perimetro risulta libero per poter effettuare le operazioni di rimozione della ruggine.



12. Applicazione a pennello del protettivo per ferri (EN 1504-7).



13. Elemento in c.a. dopo la scarifica, la liberazione, pulizia e protezione dei ferri pronto per la ricostruzione con malta colabile.

C) Si è proceduto, quindi, a montare la casseratura con tavole di legno avendo cura – mediante una fascia di legno truciolare pressato (faesite) - di tenere sollevato il cassero dalla superficie di scarifica per almeno 10-15 mm (figure 14-15). Questa operazione è di fondamentale importanza in quanto è ben noto che il ritiro di un sistema cementizio aumenta al diminuire dello spessore di applicazione del materiale. Pertanto, per evitare che dopo la ricostruzione ci fossero zone con spessori di malta inferiori a 10 mm e, quindi, esposte al rischio di distacco è stata adottata la fascia in faesite. Il cassero è stato realizzato con tavole di legno di larghezza pari a quelle originarie. La larghezza originaria delle tavole era di facile lettura dalla superficie degli elementi in c.a. ed è stata poi confrontata con quella desunta da alcune foto storiche disponibili presso l'archivio della chiesa della Beata Maria Vergine Immacolata. Le tavole di legno sono state, quindi, fasciate con strisce di lamina metallica (figura 16) al fine di poter sopportare la spinta relativamente elevata esercitata dal getto della malta colabile avvenuto attraverso un imbuto posto sulla parte alta del cassero (figura 16). Sulla testa del cassero – ove si interrompono le tavole – al fine di evitare la fuoriuscita della malta, lo spazio vuoto tra cassero e substrato in calcestruzzo è stato sigillato con una malta di gesso che fosse poi facilmente rimovibile (figura 17). Un paio di ore prima di procedere al getto della malta, il cassero veniva riempito completamente con acqua per saturare il substrato in calcestruzzo. Quindi, venivano rimossi dei tappi posti sulla zona inferiore del cassero e attraverso i fori si lasciava defluire l'acqua aspettando che si interrompesse la comparsa di rigagnoli di acqua liquida prima di iniziare a gettare la malta colabile. Questa operazione si è resa necessaria per evitare che gettando sul calcestruzzo asciutto lo stesso potesse assorbire acqua dalla malta colabile riducendo così l'adesione all'interfaccia tra i due sistemi cementizi. Infine, si è proceduto al getto di una malta colabile conforme alla EN 1504-3 di classe R4. Si è proceduto, quindi, alla rimozione dei casseri – che prima del montaggio erano stati trattati con olio disarmante per favorire il disarmo senza rovinare la superficie dell'elemento ripristinato – non prima che fossero trascorsi 4-5 giorni dal getto in modo da garantire anche una prolungata maturazione umida. Al disarmo, gli elementi ricostruiti presentavano il facciavista originario a tavole di legno (figure 18-20).



14. Posizionamento della fascia in faesite e parziale montaggio del cassero con tavole in legno.



15. Il cassero sollevato dal substrato in calcestruzzo per almeno 15 mm.



16. Il cassero con tavole di legno confinate con lamine metalliche e provvisto sulla parte alta dell'imbuto attraverso il quale viene gettata la malta colabile.



17. Sigillatura sulla zona sommitale del cassero con malta a base di gesso legante.



18. Porzione di pilastro ricostruita (in basso) e zona superiore pronta per essere cassata.



19. Tre elementi in c.a.: il primo a sinistra è stato appena ricostruito con malta gettata entro cassero; i restanti due sono stati già disarmati.



20. Particolare del facciavista di un elemento sub-orizzontale dopo la ricostruzione con malta colabile.

Gli interventi sulle volte sottili

Le volte presentavano – come anticipato al paragrafo 'Lo stato di fatto' – problemi di mera natura estetica in alcuni punti rappresentati dalla deposizione del particolato atmosferico, in altre zone, invece, la corrosione prodotta dall'azione dell'anidride carbonica e dell'acqua aveva prodotto la completa distruzione (figura 21) della sezione con totale mancanza del calcestruzzo. Questa situazione è stata riscontrata prevalentemente nei punti di attacco delle volte sottili con le strutture portanti verticali e soprattutto sub-orizzontali ove per difetti di raccolta dell'acqua piovana la stessa ruscellava favorendo l'intensa corrosione dei ferri di armatura.



21. Completo collasso della sezione di una volta sottile in corrispondenza dell'attacco con un elemento portante.

In altre situazioni, invece, la corrosione dei ferri aveva prodotto solo una parziale espulsione del copriferro e in qualche punto la completa espulsione del calcestruzzo (figura 22).



22. Corrosione dei ferri in una volta sottile con espulsione del copriferro. Si noti che in alcuni punti la sezione della volta è totalmente mancante del conglomerato cementizio.

In altre situazioni, infine, le volte sottili si presentavano in buono stato con i ferri fondamentalmente integri, sebbene il rivestimento protettivo fosse completamente distaccato (figura 23). Questa situazione è stata riscontrata sulle vele del prospetto sud-ovest ove per l'irraggiamento costante e per lunghe ore della giornata il processo di corrosione è stato fortemente mitigato. In queste zone, alla luce di una situazione non particolarmente critica per i ferri di armatura (privi sulla superficie di ruggine incoerente), ma anche per la limitazione al budget disponibile per l'intervento di ripristino, è stato deciso di operare una semplice rasatura (figura 24) delle volte con malta cementizia a basso modulo, bicomponente di classe R2 secondo norma EN 1504-3.



23. Distacco della protezione superficiale applicata nei precedenti interventi e ferri in vista sebbene in buono stato sulla parete sud-ovest della chiesa.



24. Ricostruzione delle volte sottili del prospetto sud-ovest mediante rattoppi localizzati con malta tixotropica (classe R4-1504/3) e successiva rasatura con malta bicomponente (classe R2 EN-1504/3).

Per quanto attiene al portale, che come anticipato era esposto alle condizioni di aggressione più severe, testimoniate anche dal fatto che era stato sottoposto ad un ulteriore intervento di manutenzione che non aveva interessato gli altri elementi costruttivi, è stata effettuata una rimozione manuale del calcestruzzo in modo da liberare completamente i ferri di armatura senza danneggiare il conglomerato integro (figura 25). Dopo la pulizia dei ferri con spazzola metallica si è proceduto all'applicazione del protettivo (EN 1504-7) e, successivamente, alla ricostruzione della sezione con malta tixotropica bicomponente di classe R4 (figura 26). La ricostruzione è avvenuta per strisce orizzontali di altezza pari a circa 1 m. Dopo aver completato la ricostruzione si è proceduto ad effettuare una rasatura su tutta la superficie del portale in modo da celare le fasce della ricostruzione effettuata. La rasatura è stata effettuata con una malta bicomponente di classe R2, la stessa utilizzata per le volte del prospetto sud-ovest.



25. Scarifica e liberazione manuale dei ferri di armatura da una volta sottile.



26. Ricostruzione della volta con malta tixotropica.

Nelle zone ove le volte si presentavano completamente crollate, la ricostruzione è avvenuta manualmente con una malta tixotropica di classe R4 (EN 1504-3), avendo cura nei punti di attacco delle volte alle strutture portanti di fissare sulla superficie della malta ancora fresca delle tavole di legno per ottenere il facciavista originale (figura 27).



27. Ricostruzione con malta tixotropica delle volte sottili completamente crollate. Dopo l'applicazione della malta tixotropica la superficie è stata stampata con tavole di legno per ottenere l'originale facciavista.

Come è stato sopra accennato, il crollo completo delle volte è stato riscontrato in corrispondenza dell'attacco delle stesse con le strutture portanti ove ruscella, durante le piogge, l'acqua piovana. Per questo motivo, dopo la ricostruzione delle volte, tutti i punti di attacco volta/struttura portante sono stati impermeabilizzati per evitare che in futuro fossero esposti a problemi di corrosione, ma anche di infiltrazione di acqua nella chiesa. L'intervento è consistito nell'applicare un sigillante poliuretanico – previa applicazione del relativo primer per favorire l'adesione al calcestruzzo – che a fresco è stato sabbiato per poter poi applicare una membrana impermeabilizzante (figura 28) elastomerica (EN 1504-2/C).



28. Impermeabilizzazione dell'attacco volta sottile-struttura portante con sigillante poliuretanico e membrana elastomerica.

Gli interventi per la protezione e la decorazione

Dopo aver ultimato gli interventi sopra descritti, rimaneva da risolvere il problema della compatibilità tessiturale tra le zone sottoposte agli interventi di ricostruzione e quelli, invece, ove per l'assenza di fenomeni di alterazione e di degrado non erano stati interessati da alcuna lavorazione e che, pertanto, presentavano la tessitura della membrana protettiva applicata nei precedenti interventi di manutenzione. Per risolvere questo problema è stata modificata la curva granulometrica di una malta per rasatura di classe R2 aggiungendo aggregati di dimensioni maggiori di 0.5 mm onde poter conseguire la tessitura grezza/grossolana della membrana protettiva applicata negli anni '80 (figura 29). Quindi, i lavori sono stati ultimati proteggendo l'intera superficie di tutti gli elementi esterni con un rivestimento acrilico colorato (figure 30-32) rispondente ai requisiti imposti dalla EN 1504-2/C. L'applicazione di questa protezione colorata si è resa necessaria per uniformare il colore delle diverse zone, sia quelle sulle quali non era stata effettuata alcuna lavorazione, sia quelle ripristinate con malta colabile, sia quelle ricostruite con malta tixotropica che, infine, quelle ove era stata effettuata la rasatura superficiale che, ovviamente, presentavano colori diversi. La protezione acrilica, inoltre, è stata utilizzata quale barriera alla penetrazione dell'anidride carbonica con l'obiettivo di rendere durevole l'intervento di risanamento e conservazione della chiesa di Longuelo.



29. Applicazione della rasatura (al centro) su un elemento in c.a. ricostruito per uniformare la tessitura a quella della membrana (sulla sinistra) applicata nei precedenti interventi e successiva verniciatura con protezione acrilica colorata.



30. Lavori ultimati.



31. Lavori ultimati.



32. Lavori ultimati con l'applicazione della protezione acrilica.

BIBLIOGRAFIA REFERENCES

- [1] M.Collepari, L.Coppola, **"Il Risanamento degli Edifici Storici: Situazione Attuale e Prospettive di Ricerca"**, L'Edilizia, Anno V, N° 9, pp. 537-548, Milano (1991).
- [2] L.Coppola, **"La Diagnosi del Degrado delle Strutture in Calcestruzzo"**, L'Industria Italiana del Cemento, 681, pp. 657-666, Roma (1993).
- [3] P.Pedferri, L.Bertolini, **"La corrosione nel calcestruzzo e negli ambienti naturali"** McGraw-Hill (1996).
- [4] L.Coppola, C.Pistoiesi, P.Zaffaroni, A.Borsoi, **"Protezione del Calcestruzzo con Rivestimenti Elastici in Polimero-Cemento"**, Atti del 3° Convegno AIMAT, Vol. 1, pp. 307-316, Napoli, Settembre (1996).
- [5] M.Collepari, L.Coppola, **"Durabilità e Restauro delle Opere in Calcestruzzo"**, depositato presso la Prefettura e la Procura della Repubblica di Treviso nel maggio 1996 in ottemperanza al D.Lgs. Luogotenenziale 31 Agosto 1945, n. 660.
- [6] L.Bertolini, B.Elsener, P.Pedferri, R.Polder, **"Corrosion of Steel in Concrete - Prevention, Diagnosis, Repair"** WILEY-VCH (2004).
- [7] L.Coppola, **"Il Restauro Business del Futuro"**, Costruzioni, 495, pp. 413-416, Maggio 1997.
- [8] L.Coppola, C.Pistoiesi, P.Zaffaroni and MCollepari, **"Flexible Polymer - Cement Coatings for Concrete Repair and Maintenance"**, Atti del XXIV FATIPEC Congress, Interlaken, Svizzera (8 - 11 Giugno 1998), Volume A, pp. 207-222.
- [9] L.Coppola, S.Monosi, C.Pistoiesi, R.Troli, P.Zaffaroni, **"Four-Year Behavior of Polymer-Cement Coatings in Concrete Protection"**, Atti del Fifth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Barcellona, Spagna, 4-9 Giugno 2000, pp. 1209-1220.
- [10] L.Coppola, **"Criteri di Scelta delle malte per il Restauro delle Strutture in Calcestruzzo Armato / Selection Criteria of Mortars for Repair of Reinforced Concrete Structures"**, L'Industria Italiana del Cemento, N. 761, Gennaio 2001, pp. 64-79.
- [11] C.Maltese, C.Pistoiesi, T.Cerulli, L.Coppola, **"Effetto Combinato dell'Impiego di Agenti Espansivi e di Additivi Riduttori del Ritiro per la Produzione di Malte e Calcestruzzi Stabili Dimensionalmente e Durevoli/Combined Effect of Expansive and Shrinkage Reducing Admixtures in Stable and Durable Repair Mortars and Concretes"**, In concreto, 59, luglio/agosto 2004, pp. 82-112.
- [12] L.Coppola, **"Il Ripristino e Consolidamento delle strutture esistenti in calcestruzzo armato e precompresso - Capitolato per i prodotti e i sistemi per la manutenzione"**, Marzo 2009, pp.167.
- [13] L.Coppola, A.Buoso, **"Il restauro dell'architettura moderna in cemento armato"**, Editore Ulrico Hoepli, pp. 500, Luglio 2015, Milano, Italia, ISBN 978-88-203-6420-5.