

SAPIENZA • UNIVERSITÀ DI ROMA

DIPARTIMENTO DI STORIA, DISEGNO E RESTAURO DELL'ARCHITETTURA

**MATERIALI
E STRUTTURE**
PROBLEMI DI CONSERVAZIONE

LA MATERIA DEL RESTAURO



NUOVA SERIE

IV

NUMERO 8

2015

MATERIALI E STRUTTURE. PROBLEMI DI CONSERVAZIONE

© Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura
Piazza Borghese, 9 – 00186 – Roma

Rivista semestrale, fondata nel 1990 da Giovanni Urbani
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 265 del 25/09/2012
Nuova serie, anno IV (2015), 8

ISSN 1121-2373

Direttore editoriale: Donatella Fiorani

Consiglio Scientifico: Giovanni Carbonara, Paolo Fancelli, Antonino Gallo Curcio,
Augusto Roca De Amicis, Maria Piera Sette, Fernando Vegas, Dimitris Theodossopoulos
Comitato di Redazione: Maurizio Caperna, Adalgisa Donatelli, Maria Grazia Ercolino,
Rossana Mancini

In copertina: interno di un edificio nel centro storico di Castelvecchio Calvisio, L'Aquila
(foto D. Fiorani)

La rivista è di proprietà dell'Università degli Studi di Roma «La Sapienza»
© Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura
Piazza Borghese, 9 – 00186 – Roma

Roma 2015 – Edizioni Quasar di Severino Tognon s.r.l.
via Ajaccio 41/43 - 00198 Roma
tel. 0685358444 - fax 0685833591

Per ordini e abbonamenti:
www.edizioniquasar.it
qn@edizioniquasar.it

Sommario

*Fascicolo in memoria di
Giorgio Torraca (1927-2010)*

- 5 EDITORIALE
- DONATELLA FIORANI
- 9 INDAGINI SULLE MALTE AQUILANE FRA XIII E XVIII SECOLO.
IL RUOLO DELLA CONOSCENZA STORICA PER INTERPRETARE
I RISULTATI DELLE INDAGINI DI LABORATORIO
- ALESSIA PLACIDI
- 21 INTERPRETAZIONI STRATIGRAFICHE DI MALTE E INTONACI
NELLE CHIESE RURALI DELLA SARDEGNA: SAN GIOVANNI
BATTISTA A BORTIGALI (NU)
- DONATELLA RITA FIORINO, CATERINA GIANNATTASIO, SILVANA MARIA GRILLO
- 31 BIANCO COME IL CALCARE, NERO COME LA PECE:
PATINE E INCROSTAZIONI SUI FRONTI DEGLI EDIFICI
NEL CENTRO STORICO DI CASTELVECCHIO CALVISIO (L'AQUILA)
- CHIARA PORROVECCHIO
- 43 DURATA E DURABILITÀ DEL CALCESTRUZZO STORICO
NELL'ARCHITETTURA DEL XX SECOLO
- CAROLINA DI BIASE
- 65 LA INVESTIGACIÓN ARQUITECTÓNICA, EL PLAN DIRECTOR
DEL HOSPITAL REAL DE GRANADA (ESPAÑA) Y EL
ANÁLISIS DE TECHOS, ARMADURAS Y ALFARJES PARA
SU CONSERVACIÓN
- JAVIER GALLEGO ROCA
- 81 LO STUDIO DELLE MALTE ANTICHE PER LA FORMAZIONE
MULTIDISCIPLINARE: INSEGNAMENTI ED EREDITÀ DI
GIORGIO TORRACA
- ELISABETTA GIORGI, CARLA BARTOLOMUCCI, MARIA LAURA SANTARELLI
- 95 BIBLIOGRAFIA DEGLI SCRITTI DI GIORGIO TORRACA
- A CURA DI ELISABETTA GIORGI
- 103 TAVOLE
- 121 ABSTRACT

Durata e durabilità del calcestruzzo storico nell'architettura del XX secolo

CAROLINA DI BIASE

Attualità del restauro

Nel suo *Le bellezze del cemento armato* (1992) Jacques Gubler proponeva un'ipotesi stimolante: "L'attualità del cemento armato potrebbe essere oggi il suo restauro, e cioè il suo auto-restauro". Il degrado del calcestruzzo, fessurato, disgregato, con i ferri di armatura esposti all'aggressione degli agenti atmosferici, diventato sempre più diffuso ed evidente, apriva, a fine secolo, nuovi scenari. Ma se "la sua attualità rimanda al problema della durata, sul tavolo da cento anni a questa parte, è possibile" – scrive ancora Gubler –, che il restauro delle opere in calcestruzzo armato "possa proporre un alto livello di elaborazione concettuale"¹. Quella ipotesi, formulata quasi un quarto di secolo fa, era scaturita da una serie di circostanze: in primo luogo, dalla consultazione della letteratura tecnica, con riferimento a un testo appena pubblicato, sul quale torneremo, che recava nel titolo un'equazione delineata da tempo nel mondo dell'ingegneria del calcestruzzo armato: *Durability of Concrete Structures. Investigation, Repair, Protection*; Geoff Mays, curatore del volume, era stato responsabile del Civil Engineering Group al Royal Military College of Science (Cranfield, UK)². Una seconda ragione era la rinnovata attenzione degli architetti al tema del rivestimento, inteso anche come strato di protezione. In occasione di un seminario sponsorizzato da Italcementi (1991), Luciano Semerani aveva affermato: "i costruttori sanno che la costruzione finita deve essere protetta, rivestita e anche colorata per ragioni di durata e di praticità"³. La terza circostanza, era il numero crescente di imprese edili che si specializzavano "nel trattamento chirurgico da choc dei ferri corrosi e nell'applicazione di nuovi rivestimenti". Gli ingredienti di un discorso sul restauro dei calcestruzzi armati, sul processo che ne caratterizza l'azione progettuale (dalle fasi conoscitive e diagnostiche, a quelle di riparazione e protezione), sulla rilettura dei manufatti attraverso il disegno e l'applicazione di rivestimenti concepiti anche come possibile alternativa a pratiche di intervento fortemente invasive, appaiono delineati. Insieme, tornavano allora di attualità, sia pure in un nuovo contesto tecnologico, temi antichi e ricorrenti nella storia del restauro, tra tentativi di *restauration à l'identique* e proposte di conservazione dei ma-

¹ GUBLER 1992.

² MAYS 1992.

³ GUBLER 1992.



Fig. 1. Il Ponte di Gueroz, Vernayaz, Svizzera, in costruzione, 1933-34 [GUBLER 1991].



Fig. 2. Il ponte in calcestruzzo armato costruito negli anni '30 affiancato dal nuovo ponte (1994) <http://goo.gl/fQI37w>.

nufatti del XX secolo: nel caso della Chiesa di Saint-Antoine (1925-27, architetto Karl Moser) a Basilea, la prima costruita in Svizzera interamente in calcestruzzo armato a vista, le autorità tutorie avevano ordinato che le superfici grezze così come emerse dal disarmo rimanessero inalterate, e la conservazione dell'immagine avrebbe perciò richiesto la realizzazione di un'impronta in resina da collocare nella cassaforma, prima del nuovo getto destinato ad integrare le membrature. Viceversa, per conservare il Ponte di Gueroz (1931-1933), "monumento del genio civile elvetico" (Fig. 1) progettato dall'ingegnere Alexandre Sarrasin, senza che ne fosse alterato il sistema strutturale, gli ingegneri dei Ponts et Chaussées avevano concepito e avrebbero costruito un nuovo ponte, separando il traffico automobilistico da quello pedonale e ciclabile (Fig. 2); così, scrive ancora Gubler, "le deuxième pont révèle le premier"⁴, enfatizzando il significato di "luogo" di un paesaggio naturale dalla bellezza sublime, la gola di Trient.

A distanza di oltre due decenni, la caducità manifesta dei rivestimenti – intonaci, coloriture, ceramiche –, fenomeno anch'esso largamente diffuso, pare ricondurre anche gli strati di finitura dei calcestruzzi cementizi al ruolo di superfici di sacrificio. Il distacco dal supporto interviene in un numero relativamente breve di anni anche nel caso di interventi di integrazione e protezione eseguiti per contrastare il degrado e completare le lacune, e potrebbe essere esso stesso oggetto di specifiche ricerche interne al tema della durabilità.

⁴ GUBLER 1991.

Le figure chiamate in causa dall'urgenza del problema, nel mondo della professione e in quello della ricerca, sono le stesse che hanno fatto parte della storia della costruzione in calcestruzzo armato: gli industriali dei materiali da costruzione e le imprese, gli ingegneri e gli architetti, i laboratori delle *Hautes Ecoles*, dei centri di ricerca pubblici e privati, i proprietari e i fruitori. Vi si può aggiungere, oggi, il ruolo degli architetti della tutela, il cui punto di vista sostanzia queste note.

Durata, durabilità

La durata delle malte e dei conglomerati cementizi del XX secolo, in opera con e senza armature, ha una sua importante storia, e così la durabilità, ossia la "qualità e condizione di ciò che può durare". La parola durabilità è antica (dal latino *durabilitas-atis*) e suona in modo simile in diverse lingue (*durabilité, durability, durabilidad ...*); la sua radice rimanda alla capacità di resistenza, alla durezza, oltre che alla durata temporale. Il termine compare da tempo nella ricerca sui materiali da costruzione e sulle loro prestazioni. Lo troviamo, ad esempio, nel programma del laboratorio di prove dei materiali del Politecnico di Milano, rinnovato e aggiornato nel 1899, nel quale si afferma l'importanza per l'insegnamento della Scienza delle Costruzioni dello "studio sperimentale delle qualità specifiche di resistenza e di durabilità dei materiali da costruzione ..."5, e tra essi il cemento armato, che, sia pure lontano dalla nobiltà dei materiali della tradizione (marmi, pietre, terrecotte e laterizi), esemplifica l'approccio di tipo 'industriale' che anche presso le istituzioni politecniche rappresenta il futuro della costruzione. Negli ultimi trent'anni del XIX secolo l'industria dei cementi appariva fiorente anche nel Nord Italia, sia nella produzione di cementi naturali, che di cementi artificiali di tipo Portland, e di conseguenza dei componenti più svariati per l'edilizia. Agli allievi ingegneri dell'Istituto Tecnico Superiore si offriva la possibilità di visitare gli stabilimenti, di seguire il processo produttivo dalle cave alla composizione delle miscele cementizie, all'impiego dei conglomerati, di vedere realizzate le strutture in calcestruzzo armato, di assistere, infine, alle sperimentazioni compiute negli stessi laboratori del Politecnico.

È possibile che la diffusione della parola durabilità si debba anche all'uso che ne proponevano testi sicuramente fondativi: *Le béton armé et ses applications*, che Paul Christophe (1870–1957), Ingénieur des Ponts et Chaussées, pubblica a cavallo del secolo, prima nelle «Annales des Travaux publics de Belgique» (1899), poi nel celebre volume del 19026, menziona i fattori che possono compromettere la *durabilité* o la *durée* del composto calcestruzzo-acciaio, anche se nel bilancio tra "vantaggi e inconvenienti", che si ripeterà in molti altri manuali e testi, la tecnica del *béton armé* esce vincente anche in termini di affidabilità. Il volume, rapidamente adattato in lingua olandese (1902), è tradotto in diverse altre lingue, tra le quali il russo (1903), il tede-

5 R. ISTITUTO TECNICO SUPERIORE DI MILANO. PROGRAMMA, 1899-1900.

6 CHRISTOPHE 1902.

sco (1905). Fritz von Emperger scrive sulla sua rivista, l'autorevole «Beton und Eisen», che il testo rappresenta sicuramente “il contributo più importante per assicurare che il calcestruzzo armato si diffonda sempre di più”⁷. Ampi stralci del lavoro di Christophe erano stati pubblicati anche nelle prime due annate de «Le Béton Armé», organo dell'Agence Hennebique⁸. Nel 1901, la stessa rivista pubblicava nell'articolo *La durée du béton armé* i risultati della *Enquête officielle sur la conservation du béton de ciment*. La durata del calcestruzzo armato, si asseriva, “è assicurata dal solo calcestruzzo di cemento, senza la presenza del ferro, e questo perché il calcestruzzo cementizio continua a indurire, e più invecchia, più diventa resistente”; ma anche la durata del ferro, persino in condizioni particolarmente problematiche, può essere dimostrata. Luogo della dimostrazione è Grenoble, città di produzione di grandi cementi naturali e artificiali a rapida e lenta presa, e il caso di studio è scelto tra quelli che presentano condizioni di esercizio più svantaggiose: tubazioni in calcestruzzo armato sottoposte sia alla pressione interna dell'acqua sia alle condizioni del terreno umido; le tubazioni, realizzate con il sistema 'Monier' nel 1889, non erano state oggetto di riparazione. Alla presenza di esperti di istituzioni pubbliche e di imprese private, di produttori e di amministratori, i manufatti, descritti nelle loro dimensioni e componenti, sono oggetto di investigazioni dirette e di saggi che provano come, dopo 15 anni di esercizio, il ferro non presenti ossidazione, appaia perfettamente conservato e ben aderente al calcestruzzo⁹. I principali requisiti richiesti al *béton armé* – l'aderenza tra barre metalliche e involucro, il ferro ancora passivato dal calcestruzzo, l'integrità dei componenti, la resistenza del materiale –, appaiono dunque soddisfatti.

Al di là delle azioni di propaganda, la sfida per assicurare la durabilità della *pierre factice* e soprattutto del *béton armé*, materiale composito (cemento di tipo Portland, acqua, sabbia, pietrisco o ghiaietto, ferro d'armatura) particolarmente complesso, ha inizio dunque fin dagli esordi, e testimonia pienamente lo sforzo che la ricerca scientifica intraprende per dare fondamento al mito del materiale invulnerabile ed eterno: “Quantunque le più vecchie costruzioni in siderocemento non contino che poco più di trent'anni, la logica e la pratica sono perfettamente d'accordo per far presumere che la loro durata sarà lunghissima”¹⁰, avrebbe scritto nel 1914 Armando Landini, assistente del più celebre Silvio Canevazzi, Professore di Scienza delle Costruzioni all'Università di Bologna. Allora, sulle qualità del calcestruzzo armato – la resistenza strutturale e agli incendi, il comportamento monolitico, l'impermeabilità, l'igiene, la rapidità e l'efficienza di costruzione, l'economia, l'affidabilità, la versatilità – sembrava non sussistessero dubbi. Di là a poco, gli architetti moderni ne avrebbero rivelato la prerogativa di consentire la generazione di nuove forme in architettura.

La ricerca dei requisiti fisico-chimici e meccanici ottimali trova riscontro nei regolamenti, che a partire dal primo decennio del XX secolo, in Germania, in Francia¹¹

⁷ EMPERGER 1905.

⁸ CHRISTOPHE 1899, 1900.

⁹ REDAZIONALE 1901.

¹⁰ LANDINI 1914.

¹¹ *Instructions Ministérielles relatives a l'emploi du ciment armé* 1906.

e subito dopo in Italia, avrebbero garantito la correttezza del processo di realizzazione delle strutture in calcestruzzo armato; diretti innanzitutto agli ingegneri responsabili delle opere pubbliche, i capitoli delle prescrizioni riguardano la qualità dei materiali e il corretto proporzionamento dei componenti; il calcolo delle armature (cui si dedica lo spazio più ampio) che doveva dimostrare il rispetto delle tensioni ammissibili; le modalità di confezionamento dell'impasto; i tempi e modi di esecuzione delle opere, della stagionatura e del disarmo. I difensori della nuova tecnica tendono ad attribuire difetti e debolezze strutturali alla mancata osservanza delle regole, sostenendo che l'ignoranza dei procedimenti e l'approssimazione compromettono la durabilità di strutture che vanno, al contrario, attentamente progettate, calcolate, eseguite alla costante presenza di tecnici specializzati e con la sorveglianza degli ingegneri cui è delegato il progetto.

Tuttavia, mentre nel giro di pochi decenni il calcestruzzo armato diventa il materiale di maggiore impiego in edilizia, le prime intuizioni sui difetti che compromettono la durabilità dei calcestruzzi si tramutano in altrettanti temi di ricerca. Questi si concentrano sulle cause e i meccanismi, interni ed esterni, che in misura e con gravità diverse ne pregiudicano l'integrità, e quindi la durabilità e la sicurezza strutturale: le fessurazioni da ritiro, la decomposizione delle malte causata dalle acque pure o dalle acque di mare, l'azione delle componenti alcaline del sottosuolo, le sorgenti acide, gli effetti del gelo, la temperatura al momento del getto e della stagionatura, il rapporto acqua/cemento, gli agenti che causano la perdita di coesione tra ferro e calcestruzzo, gli effetti dell'insufficiente inviluppo del ferro (più tardi, spessore del copriferro), i fenomeni elettrolitici risultanti da differenze di potenziale, l'aggiunta di sale da cucina per contrastare gli effetti del gelo. Le indagini sulle cause intrinseche e ambientali del degrado, proseguite per decenni, svelano via via il volto fragile dei materiali cementizi che hanno fatto la storia edilizia del XX secolo.

Negli anni '20 i laboratori pubblici di vari paesi avviano importanti ricerche, delineando una metodologia di indagine – dati raccolti in sito, informazioni derivate da fonti scritte e orali, test di diverso tipo effettuati in sito e in laboratorio e loro interpretazione (Fig. 3) –, che sarà via via perfezionata. Tra gli studi pubblicati nei decenni seguenti¹², la sperimentazione di Eugene Freyssinet sul *fluage* o *creep* delle strutture in calcestruzzo armato¹³, e l'identificazione dell'insidiosa reazione alcali-aggregati, dovuta a sabbie e ghiaie di natura silicea o a scisti e calcari impuri, in grado di reagire agli alcali contenuti nel cemento e causare espansioni e fessurazioni, fino alla disgregazione del calcestruzzo.

Nei primi decenni del secondo dopoguerra, nelle Conferenze internazionali dedicate alla durabilità confluiscono le diverse ricerche che definiscono più globalmente la fenomenologia del degrado e la sperimentazione di prodotti (cementi speciali,

¹² YOUNG 1928; DAVIS 1930; STANTON 1940, POWERS 1944-45; TREMPER 1947.

¹³ FREYSSINET 1930.

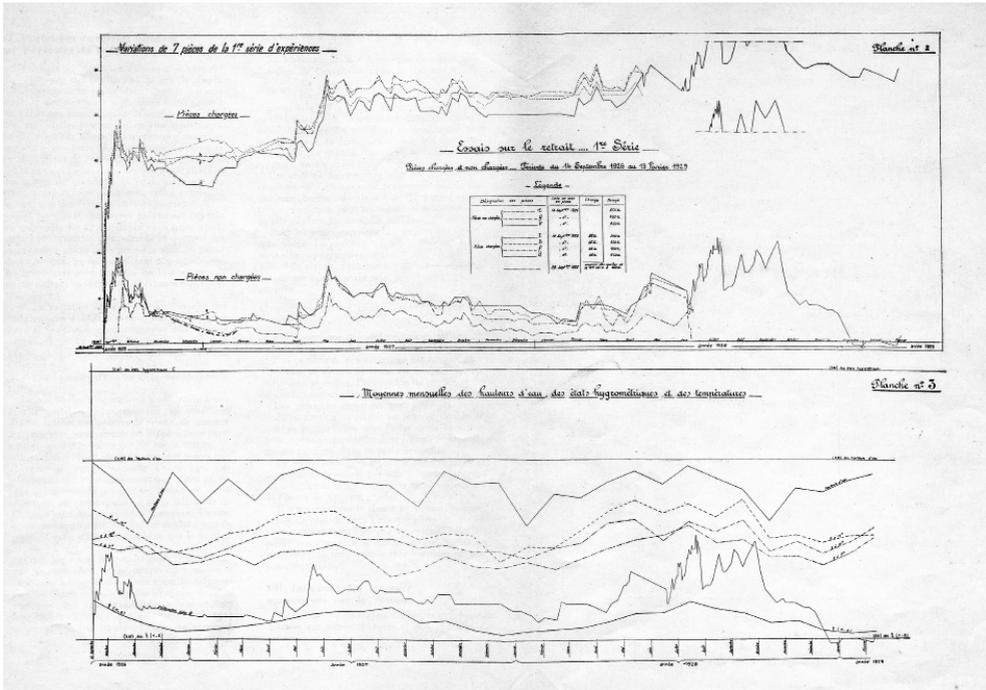


Fig. 3. Saggio sul ritiro. 1ª serie di esperimenti sulla “deformazione lenta” (*fluage, creep*). Grafico relativo al comportamento di campioni di calcestruzzo carichi e scarichi [FREYSSINET 1930].

additivi, miscele diverse, ecc.) e metodi atti a contrastarne la comparsa nelle nuove costruzioni. Concludendo il I Simposio RILEM sulla durabilità del calcestruzzo (Praga 1961), Oldřich Valenta (Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Academy of Science, Prague) ammetteva: “non siamo stati capaci di affrontare il problema in tutte le sue peculiarità – come la resistenza al fuoco, l’azione delle correnti elettriche, l’influenza dei diversi agenti chimici. Né abbiamo analizzato in dettaglio la questione importante delle miscele di ogni tipo. Il campo della durabilità è amplissimo, tuttavia non dobbiamo tagliarlo in troppi settori separati tra loro. E se questo dovesse essere necessario, non dobbiamo dimenticarne l’interdipendenza con altri fattori e proprietà”¹⁴. Il 2° Simposio RILEM sulla durabilità (Praga 1969) elencava gli ambienti aggressivi, classificava come principali cause del degrado la corrosione delle armature, gli effetti delle acque solfatiche, l’alternanza tra stato secco e umido, gli effetti degli acidi e la resistenza al gelo, e definiva alcune peculiarità del calcestruzzo, quali la permeabilità e la capacità di assorbimento (*absorption*) capillare legata alla struttura e alla topografia dei pori del calcestruzzo. Un approccio olistico richiede il lavoro comune di diverse comunità scientifiche. Su queste basi, gruppi costituiti dall’associazione di laboratori e

¹⁴ VALENTA 1962.

centri di ricerca internazionali metteranno a punto i protocolli di indagine e di prova che consentono oggi la possibilità di confronto scientifico tra i metodi e i risultati delle ricerche.

La normativa vigente, in particolare, UNI EN 206-2006, con la tabella delle classi di esposizione ambientale per calcestruzzo strutturale ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, European standard for repair (EN1504-9:2008), ha origine anche negli studi e nelle ricerche ricordati.

La sfida della durabilità prosegue dunque in molte direzioni: “La durabilità dei calcestruzzi resta una questione aperta e merita che i giovani ricercatori vi si impegnino... durevolmente”¹⁵, ha dichiarato di recente Hugues Hornain, fondatore del LERM (Laboratoire Indépendant d’Etudes et de Recherches sur les Matériaux), ma il suo significato, aggiunge, si estende oggi oltre la resistenza del materiale all’azione del tempo, e considera gli aspetti ambientali ed economici della produzione e dell’impiego del cemento nel settore delle costruzioni. La produzione globale di calcestruzzo in volume nel 2006 è stata pari a 8 Km³ all’anno (47% in Cina) con un impatto notevole sull’ambiente, e naturalmente sui paesaggi. Il consumo di risorse (l’acqua, tra le prime) che occorre alla produzione di cemento e poi a quella di calcestruzzo è altrettanto alto, con un bilancio energetico rilevante: se in 1 m³ di calcestruzzo vi sono circa 300 Kg di cemento, la produzione di 1000 kg di cemento comporta l’emissione di 800-1000 Kg di biossido di carbonio (50% circa per la combustione nelle fornaci, 50% proveniente da reazioni chimiche), pari all’8% delle emissioni totali di CO₂¹⁶. Il concetto di durabilità s’intreccia dunque a quello di sviluppo sostenibile, dal momento che “il calcestruzzo ha una vita precedente (sfruttamento della materia prima per la fabbricazione del cemento), una presente (manutenzione, riparazione) e una seguente alla vita della costruzione (divenire dei prodotti di demolizione)¹⁷: al riuso, alla rimessa in efficienza, alla manutenzione e alla riparazione dei manufatti esistenti, si aggiunge la pratica del riciclo, tramite la quale la struttura torna a scomporsi in una serie di materiali resi ancora utilizzabili nel processo edilizio. Sul fronte della pianificazione, la riduzione di emissione di CO₂ si accompagna ai tentativi di riduzione del consumo di suolo.

I calcestruzzi storici. Ricerche

La produzione edilizia che ha trasformato nel secolo scorso i territori e il pianeta rappresenta oggi, nonostante le valutazioni controverse che hanno accompagnato i decenni della grande crescita, una risorsa globalmente importante in termini economici. Superata la boa del nuovo millennio, il “materiale del XX secolo”, servito a costruire edifici, città, infrastrutture in quantità mai registrate prima nella storia, diventa “historical concrete” e come tale apre molteplici questioni conoscitive e progettuali.

¹⁵ HORNAIN 2013.

¹⁶ SILFWERBRAND 2012.

¹⁷ HORNAIN 2013, Ivi.

Lo studio della letteratura specialistica del XX secolo, da proseguire sistematicamente, costituisce un primo passaggio per definire la molteplicità dei “calcestruzzi storici”. Lo spoglio delle riviste tecniche può essere di grande utilità anche in riferimento ai materiali e ai procedimenti utilizzati nella fabbricazione di manufatti in calcestruzzo armato. Tornando, ad esempio, al periodico «Béton Armé», che illustra le strutture realizzate con il sistema ‘Hennebique’ in ogni paese del mondo, oltre che recensire congressi e convegni, manuali e testi di recente pubblicazione, ospita la pubblicità dell’industria del cemento e delle imprese ad essa collegate. Scorrendo i fascicoli usciti tra 1911 e 1912, particolarmente ricchi di inserzioni, si trovano le pubblicità di cementi prodotti e impiegati in tutta la Francia, alcuni dei quali portano nomi illustri nella storia dei leganti cementizi: Société des Ciment Portland “Demarle-Lonquét” (nata nel 1880 e dal 1997 nella Italcementi) à Boulogne-sur-Mer (Fig. 4); Société Générale et Unique des Ciments de France à Grenoble (Isère); Société des Ciments Vicat à Grenoble (Portland Artificiel de double cuisson - Portland Naturel de la Grand Chartreuse prise demi-lente - Ciment Prompt de la Grand Chartreuse prise rapide); Ciment Portland Lavocat Neufchatel (Pas-de Calais), poi Lavocat et E. Candlot (Compagnie Parisienne des Ciments Portland artificielles); Société Ciments Portland de Héming (Lorraine)... La Doublet Fabricant à Montrouge (Paris) produce “Cimentine - Enduits Hydrofuge permettant de peindre les ciments frais - durée illimitée”; sempre a Parigi, si produce “Silexore LM, Peinture sur Ciment sans Brulage” (Fig. 5). Gli stessi archivi dello studio Hennebique e dei principali affiliati sono stati indagati da storici dell’architettura e dell’ingegneria; oggi, alla storia delle strutture, a suo tempo disegnate, fotografate, pubblicizzate¹⁸, che testimoniano le fasi di un’attività prolungatasi sino agli anni ‘60, potrebbe aggiungersi l’analisi dello stato attuale dei manufatti e la possibile individuazione degli interventi intercorsi durante il loro ciclo di vita. Molti altri archivi potrebbero essere esplorati, sia per aggiungere nuovi capitoli alla storia materiale delle costruzioni del XX secolo, sia per verificare in sito e in laboratorio durata effettiva e durabilità dei calcestruzzi storici.

D’altro canto, la conoscenza è parte essenziale del patrimonio da trasmettere alle generazioni future, obiettivo prioritario dell’azione di tutela, che negli ultimi decenni, in molti paesi del mondo, ha accolto l’architettura e i paesaggi antropici del XX secolo, comprendendovi le *ouvrages d’art* progettate da grandi ingegneri. Di qui il contributo importante che gli architetti della salvaguardia possono offrire, a partire dalla raccolta sistematica e dalla “messa in rete” dei materiali d’archivio relativi ai “monumenti storici” del XX secolo, ai calcestruzzi storici che spesso ne costituiscono parte integrante, diversi per provenienza delle materie di base, per età, per collocazione geografica e topografica. Ugualmente, la comparazione di dati riguardanti i progetti di restauro, l’esistenza o assenza dei rilievi tecnici preliminari all’intervento, la conduzione dei cantieri, le riparazioni (tipo, modalità) che si sono succedute negli anni e che potrebbero essere

¹⁸ DELHUMEAU, GUBLER, LEGAULT, SIMONNET, PARENT 1993.

Fig. 4. Cartolina réclame dell'Impresa Demarle-Lonquety: sulla sinistra elenco dei cementi prodotti; al centro, il Ponte di Plougastel, progettato da Freyssinet e costruito tra il 1926 e il 1930 dall'Impresa Limousin.



Fig. 5. Pubblicità di imprese produttrici di cemento, materiali da costruzione e macchinari di cantiere [«Le Béton Armé», dec. 1910].

rilevate e mappate in sequenze relative, evidenzierrebbe gli elementi e i calcestruzzi rivelatesi più fragili, o viceversa quelli, originari e di riparazione, che meglio hanno resistito al passaggio del tempo e che potrebbero diventare oggetto di monitoraggio e di manutenzione programmata. Il riconoscimento delle manifestazioni del degrado è fonte di osservazioni che invitano a mettere in dubbio certezze invalse nel campo dell'ingegneria e a richiedere nuovi approfondimenti: non sempre, ad esempio, i calcestruzzi più durevoli sono quelli di più di recente messa in opera e che dovrebbero rispecchiare un quadro più avanzato di prescrizioni: “Perché alcune strutture in calcestruzzo armato costruite negli anni ‘20 in Georgia Strait, nella Columbia Britannica (Canada) sono ancora in eccellenti condizioni dopo 75 anni di esposizione all’ambiente marino? Perché alcune strutture in calcestruzzo armato già riparate per le quali l’ingegnere

progettista ha previsto una vita di servizio di 25 o 30 anni si degradano nuovamente in non più di 8 anni?” si chiedeva Dudley R. Morgan (1999), proponendo di rivalutare l’esperienza basata sull’osservazione diretta e l’analisi in sito, rispetto all’uso esclusivo dei modelli predittivi della vita utile delle costruzioni¹⁹.

Il mondo della tutela non può che rivolgere grande attenzione alle ricerche e alla sperimentazione finalizzate ad estendere la vita di servizio delle costruzioni esistenti. In tal senso, gli studi preliminari agli interventi di restauro percorrono da tempo itinerari simili a quelli delineati da manuali e linee-guida prodotti dalle associazioni di studiosi e specialisti del calcestruzzo armato²⁰: la metodologia di studio dei materiali e delle strutture comprende in entrambi i casi la raccolta e l’interpretazione di informazioni acquisite con metodi diversi, dall’esame visivo alle ricerche d’archivio, alle prove in sito eseguite con misure non distruttive, semi-distruttive, ecc. Le ricerche nel campo dell’ingegneria sono finalizzate soprattutto alla produzione di cementi e calcestruzzi durevoli, a basso impatto ambientale e in grado di abbattere i costi della riparazione; la verifica del comportamento del calcestruzzo storico nel campo della tutela è volta a migliorare le condizioni dei manufatti esistenti.

Riparazione e durabilità

Il tema, centrale, della riparazione, che ha aperto interessanti linee di ricerca, solleva ancora una volta un dilemma nodale nella riflessione sulla tutela: quello della sostituzione dei materiali, che appare inevitabile quando il calcestruzzo è ormai espulso, completamente distaccato dalle armature, disgregato per l’azione di agenti fisici e chimici. Nel caso di elementi gravemente danneggiati è difficile individuare un confine tra l’opera di riparazione e quella di rifacimento, e i concetti stessi di consolidamento, riparazione, restauro, nella pratica del cantiere diventano sinonimi. Il ricorso alla letteratura tecnica è anche in questo caso illuminante. Si può scoprire come i rimedi alle inefficienze del calcestruzzo armato compaiano molto presto sul mercato: intonaci armati, piuttosto che malte sigillanti per lesioni, ecc.; oppure, come i rimedi illustrati di volta in volta sotto la voce “repair” si ripetano nel tempo con una serie di varianti che rispondono alla diffusione di prodotti sul mercato dell’industria delle costruzioni; o, infine, come nel campo dell’intervento sull’esistente l’empiria si intrecci alle conoscenze tecniche in modo inestricabile.

Conosciuta la distribuzione e la sezione delle armature metalliche – sostiene nel 1930 l’ingegner Domenico De Francesco, presidente dei costruttori di Napoli – la riparazione, il consolidamento o la trasformazione delle opere in calcestruzzo armato non presentano particolari difficoltà. “Si tratta di fare degli intagli in materiali più resistenti della muratura ordinaria e di posizionare giudiziosamente gli attacchi occorrenti a legare i materiali nuovi agli antichi, in maniera che la continuità del ferro sia

¹⁹ MORGAN 1999.

²⁰ ACI 364 I.R (92) 1997; CS TR 26 1985; CS TR 32 1989; BRE DIGEST 444, I, II 2000.

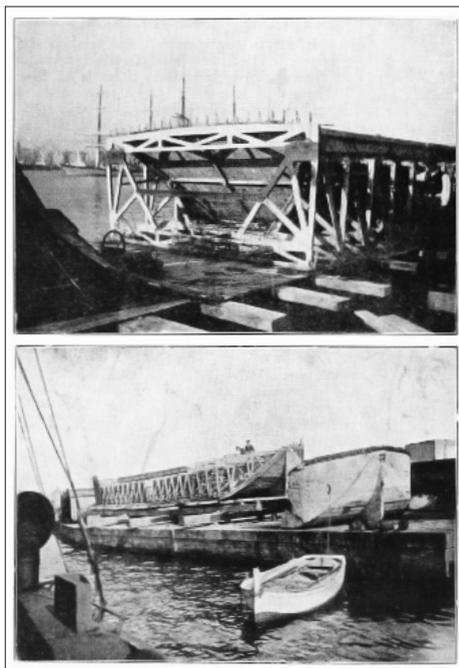


Fig. 6. Riparazione di un pontile in calcestruzzo armato a Napoli [DE FRANCESCO 1930]

assicurata dove il calcestruzzo appare sezionato”²¹. L'esempio è quello di un pontile in calcestruzzo armato a doppio fondo, danneggiato e interrotto da una mareggiata. “La riparazione fu eseguita ricostruendo completamente la zona posteriore, riparando le armature trasversali, aggiungendo una traversa per collegarle sia nella parte superiore che in quella inferiore, e sostituendo le armature ossidate in alcune zone dove il cemento si presentava più poroso, rispetto a quello della carena, ove il ferro appariva invece in perfetto stato di conservazione”²² (Fig. 6). Il contributo, che potrebbe essere stato scritto anche 30, 40 anni dopo, fa cenno al consolidamento, a Napoli, della platea di fondazione delle Prigioni giudiziarie e della carpenteria di copertura della scena del Teatro Mercadante, ove le estremità dell’orditura lignea principale sono sostituite da incalci in calcestruzzo armato.

La questione delle riparazioni si lega più ampiamente al tema del degrado intorno agli anni '60²³, quando le carenze del calcestruzzo armato sono conclamate e si sperimentano di conseguenza rimedi diversi per tipi diversi di deterioramento: sussidi meccanici alle strutture per ristabilirne la capacità portante, impiego di resine da iniettare nelle lesioni o per assicurare l’adesione delle malte di riparazione alle superfici del calcestruzzo esistente, trattamenti *weatherproofing* usati per proteggere le superfici in

²¹ DE FRANCESCO 1930.

²² Ivi.

²³ CHAMPION 1961; JOHNSON 1965.

calcestruzzo a vista e inibire l'intrusione dell'umidità o di agenti chimici, ecc.. Evidentemente, le grandi opere, strade, ponti, gallerie, dighe, pavimentazioni, ecc., costituiscono per quantità ed estensione l'oggetto principale degli studi sul comportamento del calcestruzzo, in termini strutturali, di degrado dei materiali e di interazione tra il deterioramento materico e i cedimenti strutturali.

Il libro di Mays del '92, citato da Gubler a pochi mesi dall'uscita, potrebbe rappresentare una chiave di lettura delle esperienze condotte nell'arco dei 30 anni precedenti e del loro aggiornamento. La durabilità è associata alle tre pratiche richiamate nel sottotitolo: indagini, riparazione, protezione. Gli autori dei saggi contenuti nel volume, tutti inglesi, ricordano quanto sia essenziale lo sforzo di comprendere i meccanismi di degrado di un composto di grande complessità come il calcestruzzo armato per identificare e quantificare i fattori che ne influenzano la durabilità. Qui val la pena di soffermarsi sul capitolo *Repair materials and techniques*, affidato a Lawrie Tabor²⁴, chimico che dopo aver lavorato nell'industria della plastica, aveva sviluppato calcestruzzi strutturali con componenti resiniche. Nel suo contributo, egli spiega come un rappezzo (*patch*) del quale non sia stato valutato preventivamente il ritiro o che non sia completamente esente da ritiro una volta applicato, non può che essere rapidamente espulso, con evidente danno, e che la scelta del materiale di riparazione non può che essere governata dalla dimensione/volume della riparazione stessa: quando si opera sulla intera sezione di un elemento questa va considerata una ricostruzione più che una riparazione. I rappezzi fatti con malte di cemento e sabbia, per quanto ben eseguiti, sono raramente durevoli, quindi altri materiali, in particolare le malte di poliestere, o con resine epossidiche, o miste, presentano – a giudizio dell'autore – sicuri vantaggi in tema di resistenza meccanica e chimica, anche se non possono essere applicati indiscriminatamente (vedi i notevoli inconvenienti causati in caso di cicli termici estremi). La disamina delle singole circostanze indica i casi nei quali i diversi tipi di prodotti possono essere applicati con risultati efficaci e durevoli, sia se iniettati nelle lesioni – il tema è ripreso da pubblicazioni recenti che trattano “the injection technologies also applied in the restoration of historic relics”²⁵ –, sia che si tratti di ricostituire strati ancoranti (*bond coats*) per superfici deteriorate (pavimentazioni esterne, paramenti murari, ecc.). È in questo contributo che la sequenza del “trattamento chirurgico da choc dei ferri corrosi”, come eseguita comunemente nei cantieri di tanti edifici, eliminando innanzitutto il calcestruzzo deteriorato con martelli pneumatici, viene descritta in tutti i suoi passaggi: “removal of defective concrete”, “cleaning the steel reinforcement”, “protecting the steel reinforcement”, “using a bond coat”, che comprendono l'applicazione di “sprayed concrete” (ad esempio in caso di espulsione o delaminazione del copriferro) (*Fig. 7*), mediante “dry and wet processes”²⁶. Nel capitolo seguente, “Protection”, Ken Berkeley, esperto nella prevenzione della corrosione, descrive la tecnica della protezione catodica, opportuna quando la corrosione è appena agli inizi o prima

²⁴ TABOR 1992.

²⁶ TABOR 1992.

²⁵ PANASYUK, MARUKHA, SYLOVANYUK 2014.



Fig. 7. Convento di Sainte-Marie de la Tourette, muro in calcestruzzo armato che cinge il tetto-terrazza della chiesa. Gettato senza giunti, il muro presenta lesioni verticali a intervalli regolari [foto dell'autore, 2010]



Fig. 8. Convento di Sainte-Marie de la Tourette, muro di recinzione del tetto terrazza della chiesa, lesione iniettata con schiuma poliuretanicca, sigillata con resina epossidica e parzialmente 'cucita' con elementi metallici, durante i lavori di restauro del 1981 [foto dell'a., 2010]

ancora dell'innesco, e il calcestruzzo armato può essere trattato elettrochimicamente allo scopo di ripassivare il ferro di armatura. Quando ben concepita e controllata, la protezione catodica risulta efficace e può ridurre di oltre metà i costi delle riparazioni, rivelandosi un tipo di intervento di grande interesse per ingegneri e architetti²⁷.

Nel 2007, un report molto noto e citato, *Concrete repairs: Observations on performance in service and current practice*²⁸, ha divulgato i risultati di una inchiesta condotta attraverso un significativo numero di casi studio (247 quelli individuati, 230 i relativi questionari accettati). Essa riguarda le tecniche di riparazioni adottate in ambito europeo, ove – così nel testo introduttivo –, il 50% circa del budget annuo destinato alle costruzioni è assorbito da riparazioni e ristrutturazioni di strutture esistenti (negli USA il costo annuale degli interventi per danno da corrosione è pari a \$8,3 bilioni). Quanto ai casi esaminati nella ricerca, si tratta di strutture diverse per età – costruite negli ultimi 20-50 anni per la maggior parte, intorno a 150 anni le più antiche –, ubicate dal Nord al Sud dell'Europa, in diverse condizioni climatiche e ambientali. Considerando l'insieme dei casi, il tipo più comune di degrado riscontrato è la corrosione dei ferri di armatura, rilevata nel 55%, seguito dal danno da gelo/disgelo, o derivato da fessurazioni, dalla reazione alcali-aggregati, dalla qualità del calcestruzzo (frequente

²⁷ BERKELEY 1992.

²⁸ TILLY AND JACOBS 2007.

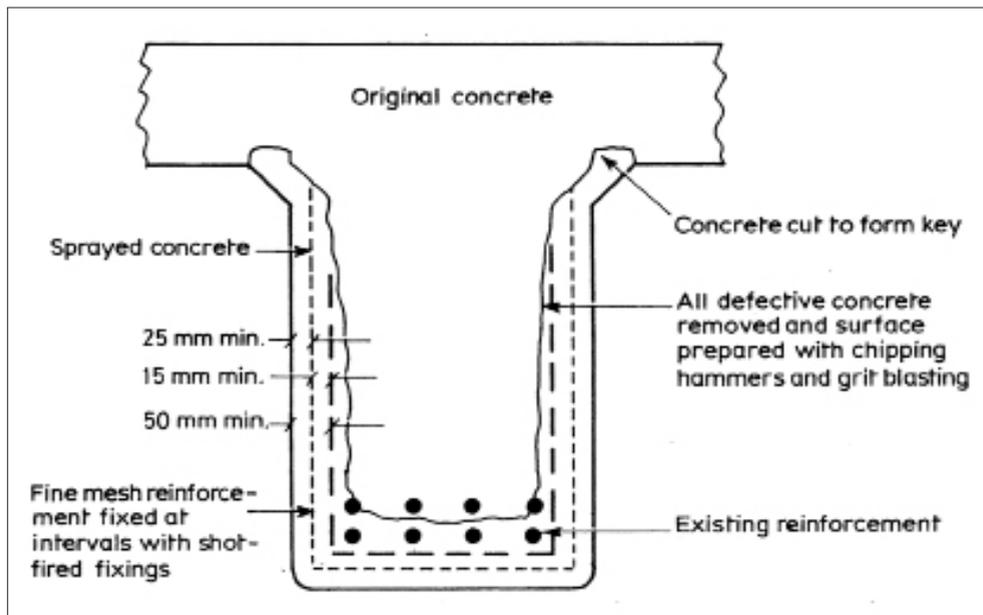


Fig. 9. Grafico esemplificativo della riparazione "a spruzzo" di una trave in calcestruzzo armato: vi sono indicate le fasi di intervento: rimozione, preparazione della superficie del calcestruzzo esistente, fissaggio di una rete sottile alle barre di armatura, integrazione con calcestruzzo "a spruzzo" [TABOR 1992]

un alto rapporto acqua/cemento), da percolazioni, particolarmente dannose in corrispondenza di giunti di dilatazione non adeguatamente protetti. Le prestazioni delle riparazioni, la maggior parte delle quali eseguite tra gli anni '60 e gli anni '90, si sono rivelate del tutto deludenti: il 20% si è deteriorato in 5 anni, il 55% in 10 anni, il 90% in 25 anni (Fig. 8). Le riparazioni più durevoli sono giunte a 52 anni. Quelle rivelatesi più efficaci, di carattere strutturale, sono le iniezioni eseguite all'interno delle lesioni, probabilmente prima che la corrosione si propagasse. I rappezzi/integrazioni, applicati nel 60% dei casi, hanno avuto successo per il 30%, mentre la percentuale sale al 50% quando vi è associato l'impiego di rivestimenti protettivi; tra i passaggi obbligati della riparazione attraverso rappezzi, vi è la completa rimozione del materiale deteriorato, il trattamento (e l'eventuale aggiunta) dei ferri di armatura e la preparazione delle superfici alle quali i materiali di riparazione dovranno aderire (Fig. 9).

Le cause della scarsa durabilità sono ancora una volta attribuite a diagnosi, progettazione, scelta dei materiali non corrette, al ricorso a manodopera non specializzata, o a fattori quali condizioni meteorologiche estreme al momento della messa in opera delle riparazioni. Le tecniche più utilizzate sono in gran parte le stesse sperimentate nei decenni passati, anche se è testimoniato un certo interesse per i trattamenti di tipo elettrolitico (soprattutto la protezione catodica) e appare crescente l'uso di adesivi polimerici. Meno comune risulta il ricorso agli inibitori di corrosione, alla rialcalinizz-

zazione, o, negli interventi di consolidamento, l'uso di materiali rinforzati con fibre di carbonio o di acciaio. Sono forniti infine dati importanti relativi al tasso di efficacia e alle cause di insuccesso dei diversi tipi di intervento²⁹. Il rapporto del 2007 ha evidenziato come le strutture più recenti in calcestruzzo armato si siano rivelate meno durevoli di quelle preesistenti, soprattutto a causa della progressiva diminuzione di costi imposta in fase di costruzione, e ha mostrato come la riparazione dei calcestruzzi esistenti resti una questione almeno parzialmente irrisolta. Una riparazione efficace dovrebbe assicurare che gli strati preesistenti e di integrazione si comportino come un sistema monolitico, cosa particolarmente difficile date le differenze nelle caratteristiche, nelle prestazioni, nell'invecchiamento del materiale di supporto rispetto a quello di riparazione.

“Si la réparation des bétons peut être considérée comme une science, elle est loin d'être une science exacte: le nombre de facteurs qui interagissent est tel qu'il est encore difficile aujourd'hui de garantir la durabilité de la réparation”³⁰, ha scritto Luc Courard, direttore del Laboratorio di Materiali da Costruzione nel Dipartimento di Architettura, Geologia, Ambiente e Costruzioni dell'Università di Liegi. L'interfaccia tra calcestruzzo esistente e di riparazione (prevalentemente a base cementizia e polimerica), è luogo essa stessa di interessanti indagini e interrogativi; per darvi risposta, la scienza e la tecnologia si confrontano con il problema dell'adesione (“The European Standard EN 1504-10 defined the bond as the adhesion of the applied product or system to the concrete substrate”), e si misurano con un concetto centrale nell'ambito della tutela, quello di compatibilità³¹, indagata in termini chimici, fisici e posta talvolta in termini estetici.

Verso la conservazione dei calcestruzzi storici. Una (provvisoria) conclusione

Protocolli e raccomandazioni finalizzati alla realizzazione di riparazioni durevoli descrivono i processi di riparazione delle strutture in calcestruzzo armato, *ouvrages d'art* e edifici storici³². Tuttavia, particolarmente nel caso dell'architettura del XX secolo, la pratica della riparazioni è spesso invasiva. Gli stessi trattamenti protettivi possono alterare notevolmente la percezione delle superfici, specie del calcestruzzo a vista, che ha rappresentato un importante elemento di progetto per l'architettura della seconda metà del XX secolo³³, sia se lasciato grezzo, con l'impronta dei casseri perfettamente visibile, sia se trattato in finitura, come nel caso del *béton lavé*, o della sabbatura, lucidatura, bocciardatura, del *béton coulé en place*. Per non parlare delle coloriture, altro importante e controverso capitolo nella saga del cosiddetto restauro del moderno.

²⁹ Ivi.

³⁰ COURARD 2006; MICHEL, COURARD 2003.

³¹ ACI 117.1R-14. 2014; U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR, BUREAU OF RECLAMATION TECHNICAL SERVICE CENTER 2014.

³² LCPC, SETRA CENTRE DES TECHNIQUES D'OUVRAGES D'ART 1996; ICRI 2012.

³³ ROSELLINI 2013; GARGIANI, ROSELLINI 2013.

I trattamenti elettrochimici specificamente finalizzati a contrastare la corrosione dovuta a carbonatazione e/o attacco da cloruri, come la protezione catodica³⁴, la rialcalinizzazione, la desalinizzazione³⁵, comportano sicuramente una minore perdita di materiale, e rappresentano un'alternativa, da verificare caso per caso, anche in relazione alla distribuzione delle armature, alla concentrazione dei cloruri, alla permeabilità del calcestruzzo, che possono variarne il tasso di efficacia.

Una nuova frontiera, in via di esplorazione, è rappresentata dalle ricerche nel settore dei *self-healing* o *autogenous healing materials*. Esse si basano sulla caratteristica intrinseca del materiale, da tempo riconosciuta, di auto-curare le fessurazioni di minore ampiezza (*passive self-healing*) attraverso cinque diversi meccanismi, il principale dei quali è la cristallizzazione del carbonato di calcio all'interno delle stesse fessurazioni. Alla produzione di un *self-healing* attivo³⁶, ossia frutto di progetto, ottenuta anche stimolando l'attivazione dei meccanismi autogeni, lavorano diversi laboratori universitari ed è impegnato il RILEM Technical Committee 221-SHC. La sperimentazione di materiali in grado di 'cicatizzare' le fessurazioni si è avvalsa di sistemi a base di batteri, sistemi testati anche in calcestruzzi fortemente carbonatati, come sono i calcestruzzi storici. Lo sviluppo, in corso, di tecniche non distruttive, in qualche modo rigenerative potrebbe rappresentare un passaggio importante verso la conservazione del calcestruzzo storico, qui intesa come un approccio maggiormente rispettoso della materialità dei manufatti e dei significati che ad essa si collegano, sostenibile anche in termini di rapporto costi-benefici.

In tal senso, il rapporto tra organi di tutela (anche se talvolta troppo concentrati sull'aspetto esteriore dell'edificio), ricercatori, esperti e progettisti incaricati di intervenire su edifici esistenti diviene cruciale. Può esserne esempio il rapporto "Conservation Development Strategy for the University of East Anglia" (CAR, Cambridge Architectural Research), risultato della collaborazione, negli studi preliminari e nel processo decisionale, di studiosi di varie discipline³⁷. Oggetto del piano strategico, articolato in tre principali passaggi³⁸, è la riqualificazione del sito e degli edifici del campus progettati da Denys Lasdun tra gli anni '60 e '70. Più in particolare, l'architettura "brutalista" del *Teaching Wall* (uffici e aule), e dello *Ziggurat* (residenze), vincolata Grade II, è caratterizzata da paramenti in calcestruzzo a vista di non eccellente qualità. Nel "Preservation Plan" le istanze conflittuali degli esperti della corrosione, che chiede-

³⁴ CS TR 73 2011.

³⁵ BERTOLINI, ELSENER, PEDEFERRI, POLDER 2004 (2nd edition 2013 considers recent European Standards) Authors say: "Readers will benefit from the knowledge, tools, and methods needed to understand corrosion in reinforced concrete and how to prevent it or keep it within acceptable limits".

³⁶ MIHASHI, NISHIWAKI 2012; WICTOR, THUSSEN, JONKERS 2012.

³⁷ CAR (CAMBRIDGE ARCHITECTURAL RESEARCH) 2006.

³⁸ "The Research stage involved studies of the site and buildings, visits to comparable buildings, review of information in publications, archive research, interviews with experts and interested parties, and an opinion survey of the University community. The Drafting stage involved collating and assembling the material into the first draft of the Conservation Development Strategy; and the Review stage involved consultations with experts and interested parties, and the production of revised drafts taking account of feedback". *Ibidem*.

vano di applicare le regole dell'European Standard EN1504-9, da un lato, e delle autorità tutorie, attente ai principi della conservazione dall'altro, sono state ricomposte. La campagna diagnostica e l'interpretazione dei dati relativi al processo di corrosione ha di fatto conciliato le posizioni, e il ricorso alla protezione catodica ha reso più circoscritte le aree di riparazione; l'uso di rivestimenti con proprietà anti-carbonatiche, in grado di minimizzare, senza cancellare, le differenze cromatiche nelle aree oggetto di rappezzamenti vecchi e nuovi, è stato preferito ai rivestimenti convenzionali, ritenuti non accettabili dopo i saggi di prova.

Più in generale, l'obiettivo di superare la dipendenza dalle pratiche di riparazione sancite dalle normative è condiviso da ricercatori ed esperti che operano in diverse parti del mondo. Il Getty Conservation Institute, ad esempio, ha curato l'organizzazione di incontri internazionali "to advance the practice of conserving Modern Architecture" e ha di recente pubblicato *Conserving Concrete Heritage Experts Meeting Report*³⁹. Vanno sicuramente segnalati gli studi condotti con la direzione di Rob van Hees presso la Technical University di Delft, che intrecciano la ricerca storico-archivistica alle indagini condotte in sito e in laboratorio. In *Concrete: Too young for Conservation?*⁴⁰, sono proposti per i calcestruzzi storici del Forte Bezuiden Spaardnam i metodi di ricerca preliminari a un approccio conservativo, ed è significativo il richiamo al rieglione "age-value" e alla necessità di educare le giovani generazioni alla tutela dell'architettura del XX secolo; i principi-guida del caso-studio citato saranno sviluppati ed estesi al contesto olandese nella tesi dottorale "Historic Concrete: from Concrete Repair to Concrete Conservation" (H. Heinemann, 2013).

Un esempio di ricerca applicata alle superfici del calcestruzzo storico è proposto dal LRMS (Laboratoire de recherche des monuments historiques - Ministère de la Culture et de la Communication, France), in particolare dal Pôle béton (responsabile, E. Marie-Victoire), con la collaborazione di grandi industrie del cemento (Ciments-Calcia, Lafarge, Parex-Lanko, Vicat). Il LRMH opera su edifici vincolati, per garantire che ogni intervento, anche "la pulitura di un materiale familiare come il calcestruzzo, si faccia nel rispetto delle stesse condizioni d'efficacia e di innocuità applicate ai materiali storici più tradizionali, come la pietra da taglio, il mattone o gli intonaci di calce"⁴¹. Il fascicolo *Le nettoyage des bétons anciens. Guide des techniques et aide à la décision* (2009), diretto al più ampio pubblico di professionisti e operatori, sintetizza i metodi, le procedure, i risultati della sperimentazione che ha avuto luogo su architetture emblematiche degli anni '30, '50, '70. Le superfici architettoniche e gli elementi ornamentali sono stati oggetto di due distinte campagne di ricerca, considerate le diverse condizioni ambientali di esterni ed interni. Per ogni tipo di degrado è stato delineato uno schema procedurale correlato alle condizioni del calcestruzzo. La diagnostica ha orientato i test di prova e la scelta dei trattamenti di pulitura e protezione. Tra le tecniche di pulitura adottate, quelle ad acqua (compresa l'iniezione-estrazione di acqua

³⁹ CUSTANCE-BAKER, MACDONALD 2015.

⁴¹ PALLOT-FROSSARD 2009.

⁴⁰ HEINEMANN, VAN HEES, NIJLAND 2008.

a freddo); quelle meccaniche, con diversi tipi di abrasivi; la pulitura con impacchi di lana di roccia o attapulgit; con pellicole a base di alcool polivinilico o latex addizionato di argilla; la pulitura al laser; la pulitura chimica anche con uso di prodotti biocidi (*Tavv. I-II*, p. 115).

Aver concentrato sul calcestruzzo storico e la sua durabilità il tema di questo contributo, tentando un'incursione nel campo dell'ingegneria del materiale, ha consentito di lasciare sullo sfondo l'ampio e articolato dibattito sul "restauro del moderno", in corso dagli anni '80 del secolo appena trascorso. All'interno delle molte iniziative che in Europa, sulla scena internazionale, nelle università e città italiane, hanno riguardato la tutela e l'intervento sul patrimonio del XX secolo, vi sono state anche importanti occasioni di studio e di confronto incentrate sulla conservazione dei manufatti in calcestruzzo armato⁴². Dibattito e realizzazioni, anche quando controverse, hanno posto le basi per l'affinamento ulteriore delle conoscenze, della diagnostica e delle modalità di monitoraggio, oltre che della sperimentazione ulteriore delle tecniche poco invasive che potranno costituire nel prossimo futuro un passaggio essenziale per prolungare la vita utile dei calcestruzzi storici e per favorire la loro conservazione.

⁴² Una bibliografia generale di carattere internazionale sulla storia e sulla conservazione dell'architettura del XX secolo, per quanto lacunosa, è in MACDONALD, OSTERGREN 2011, 2013; si segnalano inoltre: BISCONTIN 1993; «MONUMENTAL» 1997; DE JONGE, DOOLAR 1998; ICOMOS FRANCE 1999; BI-

SCONTIN, DRIUSSI 2004; JOSHI 2005; IENTILE 2008; BOŞTENARU DAN, PŘIKRYL, TÖRÖK 2010; «QUADERNI DI ANANKE» 2010; «LES NOUVELLES DU PATRIMOINE » 2011; MECHTCHERINE, SCHNECK, GRANTHAM 2012; LES CONSERVATEURS DU PATRIMOINE DES CANTONS ROMANDS 2012; «CONTINUITÉ'» 2014.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- ACI 1997: ACI (American Concrete Institute) 364 I.R (92)-1997, *Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service*, 1997
- ACI 2014: ACI 117.1R-14. *Guide for Tolerance Compatibility in Concrete Construction*, 2014
- BERKELEY 1992: K.G.C. Berkeley, *Protection - A. Cathodic Protection*, in G. MAYS (ed), *Durability of Concrete Structure. Investigation, repair, protection*, Spon Press, London 1992, pp. 130-165
- BERTOLINI, ELSENER, PEDEFERRI, POLDER 2004: L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedeferrri, R.B. Polder, *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*, 2004 (2nd edition 2013)
- BISCONTIN 1993: G. Biscontin (a cura di), *Calcestruzzi antichi e moderni: Storia, Cultura e Tecnologia*, atti del convegno di studi (Bressanone, 6-9 luglio 1993), Libreria Progetto, Padova 1993
- BISCONTIN, DRIUSSI 2004: G. Biscontin, G. Driussi (a cura di), *Architettura e materiali del Novecento: Conservazione, restauro, manutenzione*, atti del convegno di studi (Bressanone, 13-16 luglio 2004), Arcadia Ricerche, Venezia 2004
- BOȘTENARU DAN, PŘIKRYL, TÖRÖK 2010: M. Boștenaru Dan, R. Příklad, Á. Török (eds.), *Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures*, Springer, New York 2010
- BRE DIGEST 444 2000: BRE Digest 444, *Corrosion of Steel in Concrete: Part 1. "Durability of Reinforced Concrete Structures" - Part. 2. "Investigation and Assessment"*, Bracknell, UK, BRE 2000
- CAR 2006: CAR (CAMBRIDGE ARCHITECTURAL RESEARCH) Conservation Development Strategy, CAR LTD 2006 <https://www.uea.ac.uk/polopoly_fs/1.50472!conservation_strategy.pdf> [10/10/2015]
- CHAMPION 1961: S. Champion, *Failure and Repair of Concrete Structures*, John Wiley & Sons Inc., New York 1961
- CHRISTOPHE 1899, 1900: P. Christophe, *Le Béton Armé et ses applications*, in «Le Béton Armé», I, 1899, nn. 14, 16, 17, 19 (jul, sep, oct, dec.); II, 1900, nn. 20, 21, 22, 23 (jan, feb, mar, apr)
- CHRISTOPHE 1902: P. Christophe, *Le Béton Armé et ses applications*, 1902, cap. V, «Avantages et Inconvénients», pp. 701, 702 (durabilité), pp. 705, 706, 720 (durée), Librairie polytechnique C. Béranger, Paris 1902
- CIRCULAIRE DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS 1906: Circulaire du Ministre des travaux publics, *Instructions Ministérielles relatives a l'emploi du ciment armé*, 20 octobre 1906
- CONSERVATEURS DU PATRIMOINE DES CANTONS ROMANDS 2012: Conservateurs du patrimoine des cantons romands (sous la direction), *Pierre et Béton*, Journées européennes du patrimoine – 19^e édition, 8 et 9 septembre 2012, n. 12, <https://www.ge.ch/patrimoine/jep/pdf/2012/jep2012_ch_brochure_romande.pdf> [10/10/2015]
- CONTINUITÉ' 2014: «Continuité», Le magazine du Patrimoine du Québec, Dossier "Béton et Patrimoine", n. 142, 2014
- CS TR 2 1985: CS (Concrete Society) TR 2 – *Repair of Concrete Damaged*, Technical Report, Concrete Society, UK, 1985
- CS TR 32 1989: CS (Concrete Society) TR 32 – *Analisis of Hardened Concrete, by Reinforcement Corrosion*, Technical Report, Concrete Society, UK, 1989
- CS TR 73 2011: CS (Concrete Society) TR 73, *Cathodic protection of steel in concrete including model specification for cathodic protection of steel in concrete*, Technical Report, Concrete Society, UK, 2011

- COURARD 2006: L. Courard, *Durabilité des réparations du béton: entre théorie et pratique*, Septième édition des Journées scientifiques du Regroupement francophone pour la recherche et la formation sur le béton (RF) 2B, Toulouse 2006
- CUSTANCE-BAKER, MACDONALD 2015: A. Custance-Baker, S. Macdonald, *Conserving Concrete Heritage Experts Meeting* (Los Angeles, June 9-11 2014), J. Paul Getty Trust, Los Angeles 2015
- DAVIS 1930: R.E. Davis, *A Summary Investigation of Volume Change in Cements, Mortars and Concretes produced by Causes other than Stress*, ASTM (American Society for Testing and Materials) Proceedings, v. 30, Philadelphia, PA 1930, Part. I. pp. 668
- DE FRANCESCO 1930: D. De Francesco, *L'Emploi du béton armé dans les travaux de réparation, de consolidation et de transformation d'immeubles*, in *First International Congress for Concrete and Reinforced Concrete*, Maison Desoer, Liège 1930, pp. 5-7
- DE JONGE, DOOLAR 1998: W. De Jonge, A. Doolar, *The Fair Face of Concrete. Conservation and Repair of Exposed Concrete*, Preservation Technology Dossier 2, Eindhoven, Do.co.mo.mo. International, Eindhoven University of Technology, 1998
- DELHUMEAU, GUBLER, LEGAULT, SIMONNET, PARENT 1993: G. Delhumeau, J. Gubler, R. Legault, C. Simonnet, C. Parent, *Le béton en représentation: La mémoire photographique de l'entreprise Hennebique: 1890-1930*, Hazan, Institut Français d'Architecture, Paris 1993
- EMPERGER 1905: F.V. Emperger, *Zur Geschichte des Eisenbetons in Belgien*, in «Beton und Eisen», vol. 4, n. 1, 1905, pp. 1-2
- FREYSSINET 1930: E. Freyssinet, «Etude sur les déformations lentes des ciments ou retraits», in *First International Congress for Concrete and Reinforced Concrete*, Maison Desoer, Liège 1930, IV-4.
- GARGIANI, ROSELLINI 2013: R. Gargiani, A. Rosellini, *La découverte du béton brut avec malfaçons: chronique du chantier de l'Unité d'habitation à Marseille*, in *Le Corbusier et la question du brutalisme*, Parenthèses, Marseille 2013, pp. 152-179
- GUBLER 1991: J. Gubler, *La restauration du pont routier de Gueuroz sur la gorge du Trient*, in «Ingénieurs et architectes suisses», 7, 20 mars 1991, pp. 64-71
- GUBLER 1992: J. Gubler, *Le Bellezze del cemento armato*, in «Rassegna», 49, 1992, pp. 84-88
- HEINEMANN, HEES, NIJLAND 2008: H.A. Heinemann, R.P.J. van Hees, T.G. Nijland, *Concrete: Too young for conservation?*, D'Ayala e Fodde (eds.), *Structural Analysis of Historic Construction*, Taylor & Francis, London 2008, pp. 151-159
- HORNAIN 2013: H. Hornain (Entretien avec), «La durabilité des bétons, 25 ans d'expérience...», Lerm Infos n. 25: spéciale 25 ans - 25 juin 2013, «<http://doc.lerm.fr/la-durabilite-des-betons-25-ans-dexperience/>» [10/10/2015]
- ICOMOS FRANCE 1999: ICOMOS France, *Béton et Patrimoine*, Cahier n. 18, 1999
- ICRI 2012: ICRI (International Concrete Repair Institute), Guideline No. 320.3R-2012 (*Guideline for Inorganic Repair Material Data Sheet Protocol*)
- IENTILE 2008: R. Ientile (a cura di), *Architetture in cemento armato. Orientamenti per la conservazione*, FrancoAngeli, Milano 2008
- JOHNSON 1965: S.M. Johnson, *Deterioration, Maintenance and Repair of Structures*, McGraw-Hill, New York 1965, in particolare, capp. 3-6
- JOSHI 2005: K. Joshi (ed.), *Corbusier's Concrete: Challenges of Conserving Modern Heritage*, proceedings of seminar on Conservation of Le Corbusier's Work in Concrete (Chandigarh, 11-13 February 2002), Chandigarh Perspectives, Chandigarh 2005

- LABORATORIO PER LE PROVE DELLE RESISTENZE DEI MATERIALI (presentazione), in "R. Istituto Tecnico Superiore di Milano. *Programma. Anno 1899-1900*", p. 34
- LANDINI 1914: A. Landini, *Le costruzioni in cemento armato*, Stabilimento Poligrafico emiliano, Bologna 1914, p. 278
- «LES NOUVELLES DU PATRIMOINE» 2011: «Les Nouvelles du Patrimoine», *Béton et Patrimoine*, n. 132, 2011
- LCPC 1996: LCPC, SETRA CENTRE DES TECHNIQUES D'OUVRAGES D'ART, *Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton. Guide technique*, 1996
- MACDONALD, OSTERGREN 2013: S. Macdonald, G. Ostergren, *Conserving Twentieth-Century Building Heritage. A Bibliography*, 2nd ed., The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2011, 2013, e più in particolare, Chapter 4.3. "Concrete and Cast Stone", pp. 44-54
- MAYS 1992: G. Mays (ed), *Durability of Concrete Structure. Investigation, repair, protection*, Spon Press, London 1992
- MECHTCHERINE, SCHNECK, GRANTHAM 2012: V. Mechtcherine, U. Schneck, M. Grantham (eds), *Concrete Solutions*, proceedings of 4th International Conference on Concrete Repair (Dresden, Germany, 26-28 September 2011), Boca Raton: CRC Press, Leiden 2012
- MICHEL, COURARD 2003: F. Michel, L. Courard, *Energies libres de surface des solides et liquides: une approche pour la compréhension des phénomènes interfaciaux*, Journées scientifiques du Regroupement Francophone pour la Recherche et la Formation dans le domaine du béton, Sherbrooke (Québec) 2003
- MIHASHI, NISHIWAKI 2012: H. Mihashi, T. Nishiwaki, *Development of Engineered Self-Healing and Self-Repairing Concrete-State-of-Art report*, in «Journal of Advanced Concrete Technology», vol. 10, May 2012, pp. 170-184
- «MONUMENTAL» 1997: «Monumental», *Le béton et les monuments historiques*, n. 16, 1997
- MORGAN 1999: D.R. Morgan, *Service Life: Lessons Learned from Existing Structures*, Keynote Paper, 8th International Conference on Durability of Building Materials and Components (Vancouver, 30th May - 3rd June 1999), 1999, CIB W78 Workshop «<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB2317.pdf>» [10/10/2015]
- PALLOT-FROSSARD 2009: I. Pallot-Frossard, *Préface*, in *Le nettoyage des bétons anciens. Guide des techniques et aide à la décision*, Cahier technique du Cercle des Partenaires du Patrimoine, 2009
- PANASYUK, MARUKHA, SYLOVANYUK 2014: V.V. Panasyuk, V.I. Marukha, V.P. Sylovanyuk, *Injection Technologies for the Repair of Damaged Concrete Structures*, Springer, Dordrecht 2014
- POWERS 1945: T.C. Powers, *A working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete*, ACI «Journal Proceedings», vol. 41, February 1945, pp. 245-272
- «QUADERNI DI 'ANANKE» 2010: «Quaderni di 'ANANKE», *La conservazione del calcestruzzo armato nell'architettura moderna e contemporanea. Monumenti a confronto*, n. 2, 2010
- REDAZIONALE 1901: Redazionale, *La durée du béton armé*, in «Le Béton Armé», III, 1901, n. 33, pp. 1-2
- ROSELLINI 2013: A. Rosellini, *Le Corbusier e la superficie. Dal rivestimento d'intonaco al béton brut*, Aracne, Roma 2013
- SILFWERBRAND 2012: J. Silfwerbrand, *Concrete as a functional Material*, International Workshop on Concrete Conservation & Preservation (Göteborg, December 6, 2012) «http://www.cbi.se/bilder/Int_Workshop_Concrete_Conservation_2012_sm.pdf» [10/10/2015]

- STANTON 1940: T.E. Stanton, *Expansion of Concrete through Reaction between Cement and Aggregate*, ASCE (American Society of Civil Engineers) Proceedings, vol. 66, n. 10, 1940, pp. 1781-1811
- TABOR 1992: L. Tabor, *Repair materials and Techniques*, in G. MAYS (ed), *Durability of Concrete Structure. Investigation, repair, protection*, Spon Press, London 1992, pp. 82-129
- TILLY, JACOBS 2007: G.P. Tilly, J. Jacobs, *Concrete repairs: Observations on performance in service and current practice*, CONREPNET Project Report, IHS BRE Press, Watford (UK), 2007
- TREMPER 1947: N. Tremper, *The Corrosion of Reinforcing Steel in Cracked Concrete*, ACI «Journal Proceedings», vol. 43, n. 10, 1947, pp. 1137-1144
- U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR, BUREAU OF RECLAMATION TECHNICAL SERVICE CENTER, Report No. MERL-2014-87, *Compatibility Issues in Design and Implementation of Concrete Repairs and Overlays*, Project ID: 0385, 2014
- VALENTA 1962: O. Valenta, *Durability of Concrete and Concrete structures RILEM Working Group*, RILEM Conference on *The Durability of Concrete*, Prague 1962, pp. 610-12.
- WICTOR, THIJSSSEN, JONKERS 2012: V. Wictor, A. Thijssen, H.M. Jonkers, *Development of a liquid bio-based repair system for aged concrete structures*, in M.G. Alexander, H.-D. Benschhausen, F. Dehn, P. Moyo Eds., *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III: 3rd International Conference (Cape Town, South Africa, 3-5 September 2012)*, CRC Press, Cape Town 2012, pp. 345-348
- YOUNG 1928: R.B. Young, *The requirements for a durable concrete as observed from structures in services*, «Engineering Journal», vol. 11, n. 3, 1928, pp. 161-173



Tav. I. Saggi di pulitura con impiego di laser (L1, L2, L3, L4) e sabbiatura fine (Q1, Q2); in basso, saggio di pulitura con impacchi di attapulgitte [Cahier technique du Cercle des Partenaires du Patrimoine 2009].



Tav. II. Saggio di pulitura con impiego di pasta di latex e successiva esfoliazione [Cahier technique du Cercle des Partenaires du Patrimoine 2009].