

Materiali e metodologie innovative per il recupero dei paramenti in calcestruzzo faccia a vista

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Claudio Piferi,

Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, Italia

claudio.piferi@unifi.it

Abstract. Il contributo presenta parte dei risultati di una ricerca più ampia condotta sui calcestruzzi faccia a vista. Se le conoscenze e i materiali contemporanei utilizzati nei recuperi di opere in cemento armato garantiscono le prestazioni meccaniche iniziali con significativi miglioramenti della durabilità delle opere, quando l'intervento si prefigge il ripristino della qualità architettonica originaria, per esempio ridisegnando le venature del legno impresse sulla facciate o ricalibrando le tonalità di colorazione originarie sulle superfici lisce e levigate, le competenze e i prodotti a nostra disposizione non sempre appaiono adeguati. La ricerca è, tra l'altro, finalizzata alla sistematizzazione di materiali e metodologie innovative nel ripristino dei paramenti in calcestruzzo faccia a vista di qualità.

Parole chiave: Calcestruzzo faccia a vista; Ripristino; Innovazione; Decadimento architettura moderna; Patologia edilizia.

Introduzione

È agli inizi del 1900 e nel dopoguerra che la tecnologia costruttiva del cemento armato raggiunge l'apice del suo successo¹: i progettisti stringono un legame fortissimo con questo materiale e non solo per le rilevanti proprietà meccaniche, in grado di rivoluzionare le tecniche costruttive tradizionali, ma anche perché il materiale viene identificato come lo strumento ideale per definire un nuovo stile architettonico (Piferi, 2006). Il Movimento Moderno e i Brutalisti lo utilizzeranno per sottolineare gli aspetti formali ed espressivi del proprio linguaggio e i progettisti contemporanei se ne servono per dare forma a visioni organiche e complesse, difficilmente realizzabili con altri materiali. Le Corbusier, Wright, Nervi, Scarpa, Ando, Hadid, sono alcuni dei maestri che, consci delle proprietà meccaniche, ne hanno sperimentato ed esaltato le potenzialità formali (Piferi, 2014). Nella rapida ascesa del materiale, però, vanno in parte rintracciate le ragioni della sua parziale sconfitta: gravi situazioni di decadimento edilizio contraddistinguono, a pochi anni dalla loro costruzione, molte opere architettoniche, ponendone in crisi la

stabilità meccanica e i valori formali dell'immagine architettonica. L'estrema fiducia riposta nel materiale è andata scemando, obbligando comunità scientifiche, professionisti e produttori a indagare non solo su come migliorarne le proprietà meccaniche, ma anche sulle modalità di messa in opera, sulla durabilità e sugli interventi di manutenzione e ripristino. Se da un lato le sperimentazioni e le innovazioni di prodotto permettono oggi di superare alcuni difetti endogeni del materiale, dall'altro sono ancora limitate le indicazioni di metodo su come realizzare paramenti in calcestruzzo faccia a vista di qualità e su come intervenire nel caso in cui tali paramenti necessitino di un intervento di recupero prettamente architettonico.

Obiettivi e metodologia della ricerca

L'attività di ricerca si propone di indagare la qualità di un materiale caratteristico della cultura architettonica moderna e contemporanea, nella sua componente del faccia a vista, e si inserisce all'interno di un contesto culturale caratterizzato dalle problematiche del decadimento dell'architettura moderna e contemporanea, del restauro e della nascita di nuove competenze e discipline.

La ricerca è stata svolta su tre linee principali di indagine: una più specifica sul materiale, attraverso lo studio delle proprietà e delle caratteristiche chimico-fisiche dei componenti e della miscela, una di tipo diretto sui cantieri, per valutare metodologie specifiche e criticità ricorrenti nelle fasi di messa in opera, e una di approfondimento e analisi su una serie di casi studio di edilizia corrente, ma anche su edifici rilevanti per localizzazione geografica, periodo storico e riconoscibilità del progettista.

La possibilità di ottenere superfici geometricamente perfette e

Materials and innovative methodologies for restoring fair faced concrete

Abstract. This paper presents a part of the results of broader research conducted on exposed concrete. While the knowledge and contemporary materials used in the restoration of reinforced concrete works guarantee the initial mechanical performances with significant improvements in terms of the durability of the works, when the project involves reinstating the original architectural quality, for example by redesigning the veining of the wood impressed into the façade or by adjusting the original color tones on smooth and polished surfaces, the expertise and products available to us do not always appear adequate. The research, moreover, seeks to systematize the materials and innovative methodologies used in the renovation of quality exposed concrete facings.

Keywords: Exposed concrete; Fair faced concrete; Restoration; Innovation; Modern architecture decline; Building pathology.

Introduction

Reinforced concrete construction technology reached the height of its success in the early 1900s and in the postwar period¹: designers forge a strong bond with this material not only due to its significant mechanical qualities, capable of revolutionising traditional construction techniques, but also because the material is identified as the ideal tool with which to define a new architectural style (Piferi, 2006). The Modern Movement and the Brutalists used it to highlight the formal and expressive aspects of their language, and contemporary designers use it to give shape to organic and complex visions which are difficult to achieve with other materials. Le Corbusier, Wright, Nervi, Scarpa, Ando and Hadid are some designers who, aware of its mechanical properties, tested and exalted its formal potential (Piferi, 2014). The

rapid rise of the material, however, can also be partly traced to the reasons for its partial failure: many architectural works developed serious situations of building deterioration just a few years after they had been constructed, plunging the mechanical stability and formal values of the architectural image into crisis. The extreme confidence placed in the material has waned, forcing scientific communities, professionals and manufacturers to investigate not only how to improve its mechanical properties but also how it is installed, its durability, as well as maintenance and renovation work. While on the one hand testing and product innovation now allow us to overcome some endogenous defects of the material, on the other there is still limited guidance on how to create quality exposed concrete facings and what to do when these facings require purely architectural restoration.

prive di difetti che mantengano inalterate nel tempo le proprie caratteristiche cromatiche, oppure irregolari e imprecise che invecchino naturalmente, rappresenta uno dei punti di forza architettonici del materiale.

Ciò che distingue le differenti tipologie di superfici è la pelle, ovvero lo strato superficiale di cemento e sabbia che si diversifica al variare della cassaforma utilizzata, del colore della sabbia e dei cementi impiegati e dell'uso di additivi pigmentatosi e di inerti da applicare alla facciata (Fig. 1). Il tipo di materiale utilizzato per le casseforme (legno naturale o rivestito, metallo, gomma, ecc.), così come la morfologia e le dimensioni degli elementi impiegati, possono dare risultati molto differenti tra loro (superfici ruvide, lisce, disegnate, con inerti a vista, ecc.) (Fig. 2).

Sebbene, però, si possa definire il calcestruzzo a vista come una superficie strutturata, con un risultato che può essere previsto in anticipo, nella sua realizzazione intervengono una serie di fattori che possono influenzare il risultato finale e che non possono essere previsti o controllati.

L'approccio metodologico ha permesso l'approfondimento di quei fattori che determinano la qualità e i difetti dei paramenti definendone la durabilità, e che vanno dalla fase progettuale (morfologia e dimensione degli elementi), passando attraverso la progettazione della miscela (il calcestruzzo e i suoi componenti), le fasi di messa in opera (tipologia e materiali delle casseforme, disarmanti, altezza, posizione sequenza dei getti, ecc.) fino agli agenti esterni (agenti atmosferici, inquinamento, ecc.).

Di particolare importanza ai fini della ricerca è stata l'identificazione delle patologie che possono interessare le differenti tipologie di faccia a vista, in quanto gli interventi di recupero possono differire molto non solo in relazione al tipo di finitura superficia-

le, ma anche in funzione del tipo di patologia riscontrata (Fig. 3). L'approfondimento di casi studio, attraverso esame visivo, raccolta dei dati storici, prove in situ e prove in laboratorio, è servito per lo studio diretto delle patologie più frequenti e per la formulazione della diagnosi del degrado, per l'individuazione di un repertorio di soluzioni idonee al ripristino dei paramenti in calcestruzzo faccia a vista e per la conferma e la sistematizzazione dei dati teorici della ricerca (Fig. 4).

Tipologie di finiture e patologie, infatti, sono state opportunamente classificate e sistematizzate per poter individuare, grazie ad un quadro conoscitivo chiaro ed esaustivo, prodotti e interventi di recupero specifici e possibili soluzioni innovative.

Non potendo affrontare in questo contributo tutti gli aspetti indagati nella ricerca, la trattazione riguarda una parte della stessa, ovvero quella legata alle metodologie e ai materiali utilizzati per il ripristino dei paramenti a vista con accenni ad alcuni casi studio.

Il ripristino dei paramenti in calcestruzzo faccia a vista

Il restauro delle facciate in calcestruzzo faccia a vista ha spesso come conseguenza quella di restituire alle città edifici più sicuri, ma diversi da quelli originali, nei quali le scelte estetiche originarie dei progettisti spariscono sotto strati coprenti di vernici o intonaci.

L'operazione si presenta complessa soprattutto per la difficoltà di riprodurre le texture originarie sia per disegno che per colorazione: una facciata generata da assi di legno trattate con ammoniacca per evidenziarne le venature o un paramento con inerti a vista, ad esempio, non possono essere restaurati facendo riferimento

	SUP. GREZZE	SUP. LISCE	SUP. DISEGNATE	SUP. CON INERTI RIPORTATI	SUP. COLORATE/ PIGMENTATE	SUP. LAVATE	SUP. BOCCIARDATE	SUP. SABBiate	SUP. RIGATE	SUP. BUGNATE	SUP. SCALPELLATE/ SBOZZATE	SUP. BRUCIATE	SUP. LEVIGATE/L UCIDATE	SUP. RIVESTITE/ VERNICIATE
CASSEFORME IN LEGNO														
CASSEFORME METALLICHE														
CASSEFORME IN PLASTICA														
CASSEFORME IN GOMMA														
CEMENTI BIANCHI														
CEMENTI GRIGI														
AGGREGATI TONDI														
AGGREGATI ANGOLOSI														
AGGREGATI TENERI														
AGGREGATI DURI														
AGGREGATI COLORATI														
ATTACCO MECCANICO FORTE														
ATTACCO MECCANICO LEGGERO														
PIGMENTI														

02 |

SUPERFICI RUVIDE			
QUALITÀ DEI MATERIALI	<ul style="list-style-type: none"> • Inerti: tipi correnti • Leganti: tipi correnti. Cementi più scuri accentuano le parti chiare dovute all'assorbimento dell'acqua da parte delle tavole. • Dosaggio: normale. Impasto troppo ricco di acqua può danneggiare le casseforme assorbenti • Casseforme: in legno o in gomma. Permeabili, pulite, eventualmente irruvidite 		
INDICAZIONI PER LA MESSA IN OPERA E IL TRATTAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Seguire le indicazioni per un buon calcestruzzo faccia a vista • Giunti tra le tavole devono essere ben studiati 		
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Costo moderato per legni "standard" • Mano d'opera ormai specializzata • Scarsa manifestazione di bolle 		
SVANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie permeabile e ruvida che assorbe meglio lo sporco e l'acqua • Difficile da lavare • Costosa se si vogliono utilizzare essenze particolari • Frequente formazione di nidi di ghiaie tra i giunti delle tavole non ben eseguiti 		
			
Casseforme: tavole in legno Cemento: grigio	Casseforme: tavole in legno piallato Cemento: grigio	Casseforme: tavole in legno di dimensioni ridotte Cemento: grigio	Casseforme: tavole in legno lisciate e trattate Cemento: grigio
			
Casseforme: tavole in legno non trattate Cemento: bianco	Casseforme: tavole in legno curvate irregolarmente Cemento: grigio	Casseforme: tavole in legno di abete rosso Cemento: bianco	Casseforme: tavole in legno trattato con ammoniacca Cemento: grigio
			
La scelta di tavole corte e di dimensioni variabili permette di avere giunti frequenti e sfalsati che mascherano eventuali imperfezioni		La scelta della finitura superficiale attenua molti difetti altrimenti inaccettabili	Superficie ruvida realizzata con assi di dimensioni ridotte ed evidenziazione dei giunti verticali

EFFLORESCENZE		
CAUSE	<ul style="list-style-type: none"> • Morfologia e dimensione degli elementi: assenza o errata progettazione di scossaline, davanzali di protezione e coronamento • Il calcestruzzo e i suoi componenti: eccesso d'acqua nel calcestruzzo, un calcestruzzo poroso, la cui rete capillare permette il trasporto rapido dell'acqua, aggregati contenenti argilla o materie organiche • Messa in opera: scarico del calcestruzzo da una altezza eccessiva, gli schizzi vanno ad investire la parte alta delle casseforme e induriscono prematuramente, il disarmante è trascinato verso il basso dagli schizzi di malta, evaporazione irregolare dell'umidità, scarsa protezione del getto ancora fresco, maturazione insufficiente • Agenti esterni: acqua piovana, condizioni climatiche (variazione igrometrica) più sfavorevoli soprattutto nelle stagioni fresche e umide (primavera ed autunno). 	
MISURE PREVENTIVE	<ul style="list-style-type: none"> • Morfologia e dimensione degli elementi: uso e corretta progettazione di elementi accessori quali scossaline e gocciolatoi, prevedere un trattamento di superficie, come la fluosilicatizzazione, protezione delle parti interrate, allo scopo di evitare la penetrazione dei sali contenuti nel terreno. • Il calcestruzzo e i suoi componenti: limitare la concentrazione d'acqua, con l'eventuale utilizzo di un additivo riduttore d'acqua, utilizzare aggregati puliti (senza argilla, né materie organiche), comporre un calcestruzzo di buona granulometria, compatto, aggiungere nella massa del calcestruzzo un prodotto idrofugo. • Messa in opera: Utilizzare scarico del calcestruzzo tramite scivoli, Favorire una evaporazione regolare dell'umidità, procedere ad una maturazione idonea, nebulizzazione di acido fluoridrico diluito al 10%, dopo la formatura 	
RIMEDI	<p>Analisi delle cause, della natura e della consistenza delle formazioni cristalline.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se le formazioni superano il 15% della superficie interessata, è consigliabile l'intervento correttivo. Conviene trattare tempestivamente il calcestruzzo colpito, poiché l'idrossido di calce è solubile in acqua, mentre dopo carbonatazione, il carbonato di calce formatosi non lo è più. • Lavaggio con acqua corrente e spazzolatura con una spazzola di gramigna (le cui setole sono ottenute a partire da rizomi naturali) o di nylon morbido, per efflorescenze poco aderenti al momento della loro apparizione. • Spazzolatura con acqua contenente il 10% di acido cloridrico (seguito da un risciacquo con acqua chiara) nel caso di efflorescenze di carbonato di calcio più aderenti, più dure. • Spazzolatura con candeggina (soluzione acquosa di ipoclorito e di cloruro di sodio) per alcune efflorescenze giallastre e brunastre (presenza di umati alcalini...) • Applicazione di un idrofugo di superficie per evitare l'apparizione dopo il trattamento di nuove efflorescenze 	
		
Efflorescenza causata probabilmente da una evaporazione irregolare	Efflorescenze brunastre causate probabilmente da evaporazione irregolare o da aggregati inquinati	Efflorescenze causate dalla costante presenza di acqua a contatto con la superficie

04 |

ESAME VISIVO	
<i>Fessurazioni</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Irregolari/regolari • Frequenza (lunghezza cumulativa in mm/m²) • Geometria (ampiezza, lunghezza e profondità) • Estensione delle aree coinvolte • Posizione delle aree coinvolte in relazione all'ambiente (interno/esterno), ed alle condizioni micro-climatiche, geografiche e strutturali (intradosso, estradosso, ecc.) 	
<i>Ferri di armatura</i>	
Ferri scoperti	Macchie di ruggine
<ul style="list-style-type: none"> • Estensione delle aree coinvolte • Posizione delle aree coinvolte • Frequenza • Aspetto della corrosione (generalizzata/localizzata) • Riduzione del diametro dei ferri • Tipo di ruggine (compatta/porosa) • Spessore del copriferro 	<ul style="list-style-type: none"> • Estensione delle aree coinvolte • Posizione delle aree coinvolte • Frequenza • Forma delle macchie (circolare, oblunga, irregolare)
<i>Delaminazioni superficiali del calcestruzzo</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Estensione delle aree coinvolte • Posizione delle aree coinvolte • Frequenza • Spessore • Aspetto del calcestruzzo delaminato (duro/incoerente) • Presenza di efflorescenze, sub-florescenze, incrostazioni 	
<i>Distacchi del calcestruzzo</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Spessore • Localizzazione (spigoli, superfici, ecc.) • Estensione delle aree coinvolte • Posizione delle aree coinvolte • Aspetto del calcestruzzo danneggiato (duro/incoerente) • Frequenza 	

Research objectives and methodologies

The research aims to investigate the quality of a characteristic material of the modern and contemporary architectural culture, and specifically its exposed component, and is part of a cultural context characterized by problems arising from the deterioration of modern and contemporary architecture, restoration and the emergence of new skills and disciplines.

The research followed three main lines of inquiry: a more specific one on the material, through the study of the chemical and physical properties and characteristics of the components and the mix; a more direct one on construction sites, to assess specific methodologies and recurring criteria in the installation phases; and a more in-depth one that analyses a series of case studies concerning current con-

structions, but also buildings that are relevant for their geographic location, historical period and the identity of the designer.

The possibility of obtaining geometrically perfect surfaces free of defects, that maintain their colour characteristics over time, or irregular and imprecise ones that age naturally, is one of the architectural strengths of the material.

What distinguishes the different types of surfaces is the skin, that is the cement and sand surface layer which varies according to the different formwork used, the colour of the sand and cement selected, and the use of pigmented additives and aggregates to be applied to the façade (Fig. 1). The type of material used for the formworks (natural or coated wood, metal, rubber, etc.), like the morphology and dimensions of the elements used, can

produce very different results (surfaces that are rough, smooth, designed, with visible aggregates, etc.) (Fig. 2).

Yet although exposed concrete can be defined as a structured surface, with a result that can be planned in advance, its creation involves a series of factors that can influence the final result and that cannot be envisaged or controlled. The methodological approach enabled us to conduct an in-depth study of the factors that determine the quality and defects of the facings defining their durability, and that range from the design phase (morphology and size of the elements), through to the design of the mix (the concrete and its components), the installation phases (type and materials of the formworks, release agents, height, position, sequence of the castings, etc.), up to the external agents (atmospheric agents, pollution, etc.).

For research purposes the identification of pathologies that can affect the different types of exposed surfaces is particularly important, as the restoration works can differ greatly not only in relation to the type of surface finish but also the type of pathology detected (Fig. 3).

The in-depth analysis of case studies, through visual examinations, and the collection of historical data, on-site tests and lab tests was required for a direct study of the most common pathologies and to make a diagnosis of the degradation, in order to come up with a repertory of suitable solutions to restore the exposed concrete facings and to confirm and systematise the theoretical data of the research (Fig. 4). The types of finishes and pathologies, in fact, have been appropriately classified and systematised in order to identify specific products and restoration

soltanto a prodotti che si occupano dell'adeguamento strutturale degli elementi degradati e della futura durabilità (Fig. 5).

Variazioni di colore, macchie, efflorescenze, insudiciamenti, fessure e distacchi sono solo alcune delle problematiche che rendono qualitativamente inaccettabile un paramento di questo genere.

Proprio per la molteplicità di difetti, endogeni e esogeni, che caratterizzano questo tipo di facciate oggi si può parlare di una vera e propria patologia² (Fig. 6).

Nel caso di difetti cromatici si interviene prima con la pulitura e successivamente con la protezione: la scelta di pulire le superfici utilizzando prodotti che asportano la pellicola superficiale, così come l'uso di prodotti protettivi non adeguati, però, può stravolgere l'aspetto originario del paramento. Anche l'intervento di pulizia e protezione più accurato, infatti, difficilmente può essere mimetizzato, in quanto solitamente rimane caratterizzato da un colore differente ancor più evidente se localizzato in piccole e definite porzioni di facciata. Per la pulizia delle facciate de l'Unité d'Habitation di Marsiglia di Le Corbusier, anche parzialmente alterate da un successivo strato di rivestimento plastico impermeabilizzante, è stato utilizzato un decapaggio chimico. I lavaggi con acqua calda sono stati alternati con l'applicazione a spazzola di un prodotto alcalino a base di soda caustica (pH 14), fino a far riapparire la superficie originaria.

La successiva applicazione di un film sottile di prodotti polimeri a base silossanica, acrilica, fluorurata (sia a base di acqua sia a solvente) consente di proteggere il materiale dalla penetrazione dell'acqua e dagli agenti aggressivi in essa contenuti, favorendo contemporaneamente la lenta fuoriuscita dell'umidità verso l'esterno, grazie al passaggio delle molecole del vapore attraverso i

actions and possible innovative solutions thanks to a clear and thorough cognitive framework.

As it is not possible in this paper to address all the aspects investigated in the research only some of them shall be examined, and specifically those linked to the methodologies and materials used to renovate the exposed facings with references to some case studies.

The renovation of fair faced concrete

The restoration of exposed concrete facings often marks the return of more secure buildings to cities, though they differ from the original ones as the designers' original aesthetic choices disappear under covering layers of paint or plaster.

The work is complex above all due to the difficulty of reproducing the original textures, in terms of both design

and colouring: a façade created by planks of wood treated with ammonia to highlight the veining or a facing with visible aggregates, for example, cannot be restored using products that only deal with structural adjustment, the degraded elements or future durability (Fig. 5).

Changes to the colour, marks, efflorescence, soiling, cracks and detachments are just some of the problems that make a facing of this type qualitatively unacceptable.

It is precisely due to the many endogenous and exogenous defects characterising this type of facing that we can now talk about a genuine pathology² (Fig. 6).

Where colour defects occur, an initial cleaning is carried out and then protection is applied: the choice to clean the surfaces using products that remove the surface film, and likewise

pori. L'efficacia dell'intervento viene valutata in base alla variazione cromatica indotta dalla loro applicazione (Raccomandazione NorMal 43/93) e alla capacità di inibire l'assorbimento di acqua misurato attraverso il metodo della spugna di contatto (UNI EN 16085:2012). Le varie sperimentazioni effettuate evidenziano risultati ottimi in merito alla riduzione dell'assorbimento di acqua ma, tranne rari casi, deludenti in merito alle variazioni cromatiche: quasi tutti i prodotti, infatti, generano alterazioni di colore ben visibili (Fig. 7).

Gli interventi di ripristino di paramenti fessurati sono sicuramente più invasivi e complessi.

Tralasciando la descrizione delle operazioni di preparazione del sottofondo e dei ferri di armatura, oramai consolidate nel recupero dei cementi armati ammalorati, occorre concentrarsi sulle metodologie e i materiali utilizzati per il ripristino volumetrico e la finitura superficiale.

Una prima distinzione può essere fatta tra i materiali utilizzabili: quelli a base cementizia (malte o calcestruzzi) e quelli a base polimerica (resine epossidiche, poliuretaniche, ecc).

I prodotti cementizi risultano più idonei per i recuperi dei facciate a vista in quanto coinvolgono porzioni di facciata e spessori che permettono di lavorare anche sulla finitura superficiale. Poiché questi prodotti devono presentare un'ottima aderenza al calcestruzzo originale (a causa del ritiro igrometrico subiscono una contrazione differenziale rispetto al calcestruzzo originale) vengono utilizzati degli agenti espansivi (Coppola, 2015).

Per il ripristino di superfici ruvide con venature in vista possono essere utilizzati vari procedimenti: il primo consiste nel ricreare un nuovo sistema di casseforme quasi in aderenza al paramento esistente, realizzato con tavole delle stesse dimensioni e della

the use of inadequate protection products, can however alter the original appearance of the facing. Even more careful cleaning and protection work is difficult to conceal as the resulting colour is usually different, which is even more evident if localized in small and defined parts of the façade. To clean the façades of Le Corbusier's Unité d'Habitation in Marseille, also slightly altered by a subsequent layer of waterproof plastic coating, chemical pickling was carried out. Hot water washes were alternated with brush applications of a caustic soda-based alkaline product (pH 14), until the original surface reappeared.

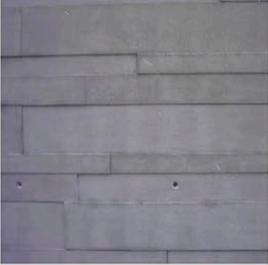
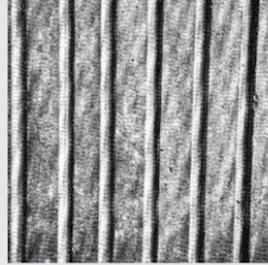
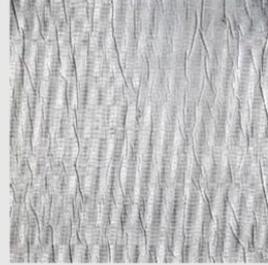
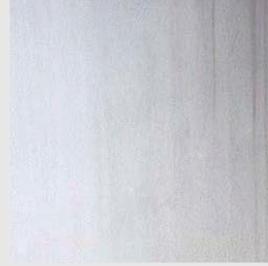
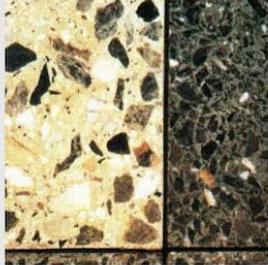
The subsequent application of a thin film of siloxane, acrylic and fluoride-based polymer products (both water- and solvent-based) protects the material from water penetration and from the aggressive agents contained in it, at

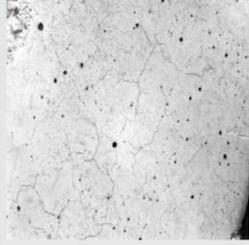
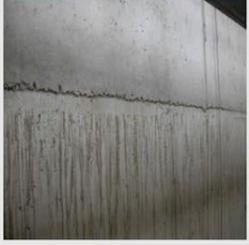
the same time permitting the slow release of moisture to the outside due to vapour molecules moving through the pores. The effectiveness of this work is assessed on the basis of the colour change caused by their application ("NorMal" recommendation 43/93) and the capacity to inhibit water absorption measured using the contact sponge method (UNI EN 16085:2012). The various tests carried out show excellent results in terms of reduced water absorption, however, except in rare cases, they were disappointing as regards colour change: almost all the products, in fact, produced clearly visible colour alterations (Fig. 7).

Work to restore cracks in the facings was certainly more invasive and complex.

Leaving aside a description of the operations to prepare the base and rebars, now consolidated in the restoration of

05 |

ABACO DELLE SUPERFICI			
			
<p>Superficie disegnata Cassaforma: tavole di legno Finitura: liscia con bassorilievi Cemento: grigio Miscela: SCC</p>	<p>Cassaforma: matrici in gomma Finitura: pietra Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: tavole di legno Finitura: liscia rigata verticalmente Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: matrici fogli di plastica raggrinziti Finitura: ruvida Cemento: grigio</p>
			
<p>Superfici lisce Cassaforma: in pannelli di legno rivestiti in formica Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: in tavole di legno piallato e trattato Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: in tavole di legno piallato e trattato Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: in pannelli di legno rivestiti in formica Cemento: bianco</p>
			
<p>Superfici ruvide Cassaforma: tavole in legno curvate irregolarmente Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: tavole in legno grezzo Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: tavole in legno trattato con ammoniaca Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: tavole in legno di abete rosso Cemento: bianco</p>
			
<p>Superfici lavorate Inerti: di dimensioni ridotte Cemento: grigio</p>	<p>Inerti: brenta Cemento: bianco</p>	<p>Inerti: ininfluenti Cemento: bianco</p>	<p>Inerti: di frantumazione Cemento: bianco e grigio (ds)</p>

ABACO DELLE PATOLOGIE			
			
Distacchi causati dallo scarso spessore del copriferro e dalle tensioni generate dall'armatura curvilinea	Distacchi causati dalla deformazione dei ferri	Distacchi causati da una scarsa qualità del calcestruzzo eccessivamente esposto agli agenti atmosferici che ha portato alla corrosione delle armature (parapetto senza copertura)	Distacchi causati da uno spessore inadeguato del copriferro anche in relazione alla esposizione alle polveri inquinanti
			
Cavillature causate probabilmente da un rapporto a/c troppo elevato	Calcinari causati da aggregati caratterizzati dalla presenza di grumi di pirite di ferro	Marcatura dovuta a casseforme non rigide.	Marcatura evidenziata sia dal getto superiore discostato rispetto a quello inferiore che dalla relativa colatura di boiaccia cementizia a causa di casseforme non rigide
			
Cavità superficiali diffuse nella parte bassa del getto non adeguatamente vibrato. Il paramento è anche caratterizzato da nidi di ghiaia nelle zone di giuntura delle tavole	Cavità superficiali causate da una vibrazione inadeguata	Cavità superficiali diffuse nella parte bassa del getto non adeguatamente vibrata	Cavità superficiale su superfici lisce causate da casseforme eccessivamente impermeabili
			
Nidi di ghiaia causati da un diametro massimo eccessivo degli aggregati rispetto alle dimensioni del getto	Nidi di ghiaia causati da riprese di getto inadeguate e da casseforme non rigide	Nidi di ghiaia causati da una segregazione del calcestruzzo (messa in opera inadeguata e scarsa qualità della miscela)	Nidi di ghiaia causati da una scarsa presenza di cemento e di fini nella miscela

stessa specie delle originali, e colare, all'interno dell'intercapedine che si è creata, la malta o il calcestruzzo di composizione e colorazione identica all'originale (solitamente per riparare spessori maggiori di 5 cm). È indispensabile che il supporto esistente sia ruvido, eventualmente corredato di sistemi di aggrappo, e che il nuovo prodotto sia di tipo superfluido o autocompattante per poter raggiungere con facilità tutti gli interstizi. Questo procedimento evita l'individuazione di rattoppi localizzati e conferisce al paramento l'immagine originaria, ma, oltre a risultare particolarmente complesso e costoso, modifica lo spessore delle pareti con tutte le problematiche che ne derivano soprattutto in prossimità delle aperture.

Un altro sistema è quello di usare le tavole come "stampi", sulla malta utilizzata per il ripristino volumetrico applicata a spruzzo o a cazzuola (per superfici di grande estensione e di spessore inferiore ai 5 cm). In questo modo la pressione manuale delle tavole può generare quelle imperfezioni che contraddistinguono questa tipologia di finitura superficiale. Nel recupero delle facciate della Cité Radieuse sono state utilizzate varie tecniche: la malta di tipo tixotropico, confezionata con l'utilizzo di un additivo plastificante riduttore d'acqua a base di lignosulfonati, con una granulometria e una tipologia dell'inerte (per aspetto e colore) simile al calcestruzzo originario, è stata in una zona colata all'interno di nuove casseforme, mentre in un'altra è stata applicata a cazzuola a strati successivi. In entrambi i casi lo spessore del paramento è stato incrementato di circa 5 cm, modificando di fatto le proporzioni originarie basate sul Modulor. In un'altra zona, sullo strato superficiale ancora fresco della malta, sono stati impressi pannelli costituiti da tavole in legno d'abete, sabbiate per evidenziarne le venature e facilitare la riproduzione dell'im-

reinforced concrete in need of repair, we should concentrate on the methodologies and materials used for the volumetric renovation and surface finish. A first distinction can be made between the usable materials: those with a cement base (mortar or concretes) and those with a polymer base (epoxy resins, polyurethanes, etc.).

Cement products are more suitable for restoring exposed faces as they involve portions of the façade and thicknesses that also allow work on the surface finish. Since these products must have excellent adherence to the original concrete (due to hygro-metric shrinkage they undergo differential contraction with respect to the original concrete) expansion agents are used (Coppola, 2015).

Various procedures can be used to renovate uneven surfaces with visible veining: the first consists of recreat-

ing a new system of formwork almost attached to the existing facing, created with boards of the same size and type as the original ones, and pouring mortar or concrete of a composition and colouring identical to the original into the gap created (usually for repairs larger than 5 cm). It is essential for the existing support to be uneven, and if necessary to have gripping systems, and for the new product to be superfluid or self-compacting in order to reach all the crevices easily. This procedure avoids localized patches being identified and restores the original appearance of the façade, but in addition to being particularly complex and costly it changes the original thickness of the walls with all the ensuing issues, above all close to the openings.

Another system is to use the boards as "presses" on the mortar used in volumetric renovation applied by spray or



pronta originaria; inoltre sono stati riprodotti anche piccoli difetti, colature, irregolarità nei giunti, affinché questa particolare finitura superficiale riproducesse l'aspetto poco curato dei getti a vista dell'epoca (De Caroli, 1992).

Nel restauro delle facciate delle Residenze universitarie di De Carlo ad Urbino la malta di ripristino calibrata sulle caratteristiche delle superfici esistenti partendo da un mix di cemento bianco e materiali locali nella proporzione di 1:2 e una granulometria di sezione inferiore degli inerti rispetto al calcestruzzo originario è stata applicata sia come strato di riempimento che di finitura (in un caso addizionata con una resina acrilica per il 3% che non ha portato significativi miglioramenti) sia soltanto per la finitura superficiale di 1 cm.

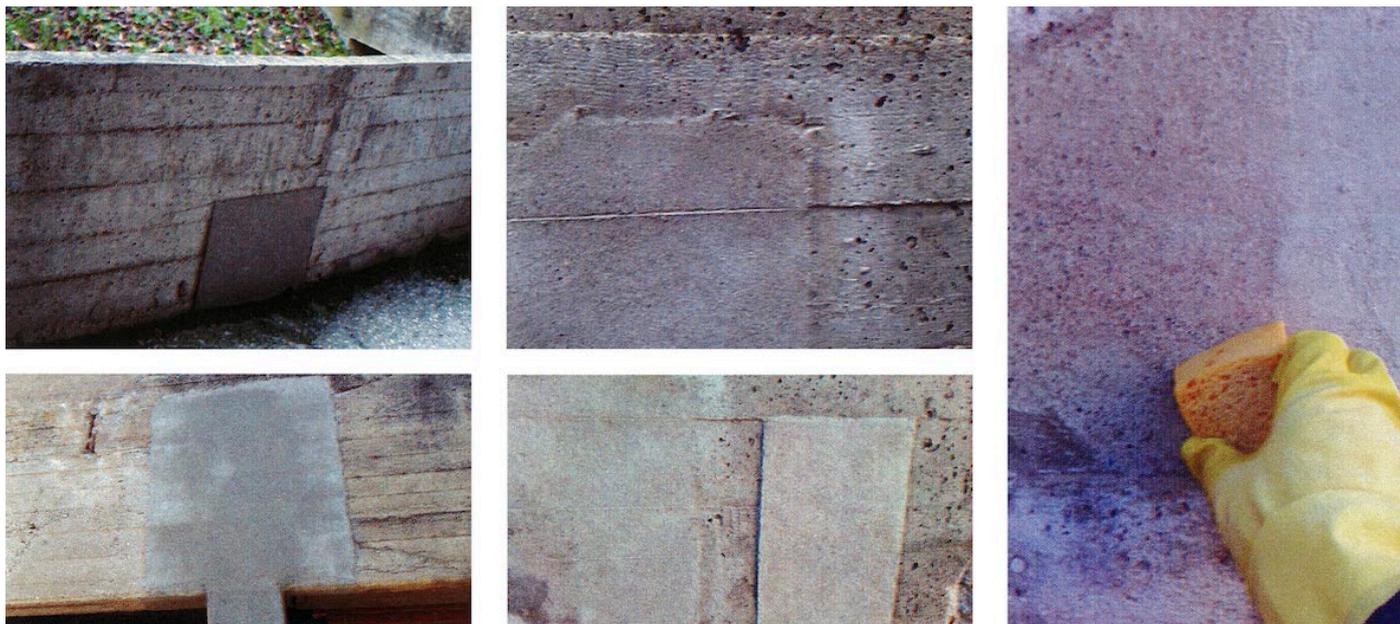
Le integrazioni e i ripristini, però, secondo le volontà di De Car-

trowel (for large surfaces less than 5 cm thick). This way the manual pressure of the boards can create the imperfections that distinguish this type of surface finish. Various techniques were used to restore the façades of Cité Radieuse: thixotropic mortar, packed with the use of a lignosulfonate-based water-reducing plasticizing additive, with a granulometry and aggregates similar (in terms of appearance and colour) to the original concrete, was poured into new formwork in one area, while in another it was applied in subsequent layers using a trowel. In both cases the thickness of the facing was increased by around 5 cm thereby altering the original proportions based on Modulor. In another area, fir-wood panels, sandblasted to highlight the veining and facilitate reproduction of the original impressions, were pressed into the still fresh surface layer of

mortar; moreover, even small defects, drips and irregularities in the joints were reproduced so that this particular surface finish would recreate the rough appearance of the former exposed castings (De Caroli, 1992).

In the restoration of the façades of the "De Carlo" university residences in Urbino the repair mortar adjusted to fit the characteristics of the existing surfaces, starting with a mix of white cement and local materials in a 1:2 ratio and the particle size of the aggregates smaller than in the original concrete, was applied as both a filling and finishing layer (in one case with a 3% addition of acrylic resin which did not lead to significant improvements) and for just a surface finish of 1 cm.

The integrations and repairs, however, according to De Carlo's wishes, do not reproduce the original grain of the wooden boards: the work can



lo, non riproducono le trame originarie delle tavole lignee: la riconoscibilità dell'intervento è garantita dalla granulometria di sezione inferiore degli inerti del materiale utilizzato e dall'inserimento di linee orizzontali in corrispondenza delle tracce esistenti. La scelta di non portare in rilievo le integrazioni (come invece fatto nei primi interventi di recupero sotto la direzione dello stesso De Carlo) garantisce una maggiore durabilità riducendo i rischi di ristagno e infiltrazioni d'acqua. Per garantire una colorazione simile a quella originaria è stata utilizzata una spugnatura, prima della completa asciugatura della malta (Fig. 8).

be recognized by the smaller particle size of the aggregates in the material used and the insertion of horizontal lines corresponding to the existing traces. The choice not to highlight the integrations (as was in fact done in the first restoration works directed by De Carlo himself) ensures greater durability, thereby reducing the risks of stagnation and water infiltration. To ensure similar colouring to the original appearance a sponging technique was used, before the mortar dried completely (Fig. 8).

When restoring surfaces with visible aggregates a distinction must be made: those with aggregates inside the mixture are damaged less frequently as the skin of the concrete has already been removed and during construction particular attention has been paid to the thickness of the concrete cover, while those containing aggregates that are

stuck on deteriorate more easily as the aggregates fall off with greater ease due to endogenous or exogenous causes. The first difficulty with the renovation lies in the preparation of the support: sandblasting should be used with great caution as it can cause even good aggregates to fall off or compromise their chromatic stability. To avoid this it is advisable to use micro-sandblasting, hammering and manual hydro cleaning with water and acids, or expansive mortar which is injected under the skin of the facing and, by increasing in volume, causes the damaged facing to come away. The repair mortar should be packed using aggregates from the same quarry or the same river.

For surfaces with visible aggregates it is advisable to spray the new mixture with continuous low-pressure jets to avoid time differentiation becoming apparent on the façade with stripes

Per il ripristino delle superfici con inerti a vista bisogna fare un distinguo: quelle con inerti interni al composto si danneggiano con meno frequenza, in quanto la pelle del calcestruzzo è già stata asportata e in fase di realizzazione è stata posta particolare attenzione allo spessore del copriferro, mentre quelle con inerti riportati si deteriorano più facilmente, in quanto gli aggregati saltano con maggiore facilità per cause endogene o esogene. La prima difficoltà nel ripristino consiste nella preparazione del supporto: la sabbiatura va utilizzata con molta cautela, poiché può far saltare anche gli inerti buoni o comprometterne la sta-

that are more or less straight and different colouring.

For surfaces with larger aggregates manual operations produce better results, even if they take longer and cost more. It is always advisable to accompany even small touch-ups with a general cleaning of the entire façade as if the restoration is not done well, or the work concerns small areas of the façade, the retouch will be visible even if the original mixture is used as the aggregates have not yet been attacked by external agents.

In the restoration of the facings with visible aggregates in Wright's Unity Temple in Oak Park, the new mixture, which included the addition of accelerating agents to ensure immediate adhesion with the base, was applied using the Shotcrete technique (concrete sprayed through a hose at high velocity), which is capable of ensuring high

mechanical resistance in a short time, and obtaining a homogeneous and compact surface, with a finish similar to the original one without the use of formwork (Piferi, 2014).

Conclusions

The results of the research demonstrate that even the most innovative materials, if not accompanied by an adequate technological culture, are not sufficient to restore quality facings. To ensure that the restoration work and choice of materials are adequate, the skilled workers and professionals involved in the restoration must also be aware of all the processes that led to the creation of the specific facing and the pathologies that afflict it. The collection of historical data on the project, the composition of the original concrete, the techniques used for the packing and the application of the mixture,

bilità cromatica. Per evitare ciò è consigliabile l'uso della micro sabbatura, delle martellinatura e dell'idro pulitura manuali con acqua e acidi, oppure l'utilizzo di malte espansive che vengono iniettate sotto la pelle del paramento e, aumentando di volume, fanno saltare il paramento danneggiato. Il confezionamento della malta di ripristino va fatto utilizzando inerti provenienti dalla stessa cava o dallo stesso fiume.

Per superfici con inerti di piccole dimensioni è consigliabile progettare il nuovo composto con getti continui, a bassa pressione, per evitare che la differenziazione di tempi appaia in facciata con strisce più o meno rettilinee e di differente colorazione.

Per superfici con inerti più grandi le operazioni manuali sono quelle che danno risultati migliori, anche se richiedono tempi e costi elevati. È sempre consigliabile accompagnare anche i piccoli ritocchi con una pulizia generale dell'intera facciata in quanto se il restauro non è ben eseguito, o se l'intervento riguarda piccole parti di facciata, il ritocco sarà visibile anche utilizzando il composto originale in quanto gli aggregati non sono ancora stati attaccati dagli agenti esterni.

Nel recupero dei paramenti con inerti a vista dello Unity Temple a Oak Park di Wright, la nuova miscela, additivata con prodotti acceleranti di presa per garantire l'aggrappo immediato con il sottofondo, è stata messa in opera con la tecnica dello Shotcrete (calcestruzzo spruzzato con lancia ad aria compressa), in grado di garantire resistenze meccaniche elevate in tempi ridotti, e di ottenere una superficie omogenea e compatta, con una finitura simile all'originale, senza l'utilizzo di casseforme (Piferi, 2014).

combined with accurate visual and instrumental diagnostic examinations, make it possible to identify the appropriate materials and methodologies for each specific project and if necessary to test new ones. It should be remembered, however, within certain limits, that some pathologies of exposed concrete must be accepted as inevitable and that their correction is sometimes more aesthetically evident than the defects themselves. To achieve this an adequate regulatory instrument would be appropriate which defines admissible and non-admissible defects in the completed work (guaranteed aesthetic performances) and describes the implementation process and the quality of the raw materials to be used.

NOTES

¹ The French Minister for Public Works, Mr Pineau, at the opening cer-

Conclusioni

Gli esiti della ricerca dimostrano che anche i materiali più innovativi, se non accompagnati da un'adeguata cultura tecnologica, non sono sufficienti per ripristinare paramenti di qualità. Perché le operazioni di ripristino e la scelta dei materiali siano adeguate, c'è bisogno che le maestranze e i professionisti coinvolti nel ripristino abbiano conoscenza anche di tutti i processi che hanno portato alla realizzazione dello specifico paramento e delle patologie che lo affliggono. La raccolta dei dati storici del progetto, della composizione del calcestruzzo originario, delle tecniche utilizzate per il confezionamento e la messa in opera del composto, abbinate ad accurati esami diagnostici visivi e strumentali, permettono di identificare materiali e metodologie opportune per ogni specifico intervento ed eventualmente di sperimentarne di nuovi. Occorre comunque ricordare che, entro certi limiti, alcune patologie dei calcestruzzi faccia a vista devono essere accettate come inevitabili e che la loro correzione diventa a volte più evidente, esteticamente, degli stessi difetti. Per fare ciò sarebbe opportuno uno strumento normativo adeguato che definisse difetti ammissibili e non ammissibili ad opera ultimata (prestazioni estetiche garantite) e descrivesse il processo di realizzazione e la qualità delle materie prime da utilizzare.

emony of "Le journées du Centenaire" in Paris on 8 November 1949, declared «Reinforced concrete has played an immense role in this reconstruction work! We cannot even imagine what it would have been without it, or how many years or decades it would have taken to complete the same reconstruction work using traditional materials and construction techniques» (Mezzina e al., 2003).

² «The condition for the activation of a pathological state always involves the presence of defects deposited within a phase of the phases in which the building process develops». We can talk about pathology «when the deterioration, the decline in performances [...] manifests earlier and not in line with the average expected duration» (Croce, 2003).

NOTE

¹ Il Ministro dei Lavori pubblici francese Pineau alla cerimonia inaugurale de "Le journées du «Centenaire» a Parigi l'8 novembre del 1949, dichiarerà In questa opera di ricostruzione il cemento armato ha giocato un ruolo immenso! Noi non possiamo nemmeno immaginare cosa ci sarebbe stato senza di esso, di quanti anni o decenni ci sarebbe stato bisogno per compiere lo stesso lavoro di ricostruzione adoperando materiali e tecniche costruttive tradizionali» (Mezzina e al., 2003).

² «La condizione di attivazione di uno stato patologico è sempre costituita dalla presenza di difetti depositati all'interno di una fase delle fasi in cui si sviluppa il processo edilizio» si può parlare di patologia «quando il deterioramento, lo scadimento prestazionali [...] si manifesta con temporizzazioni anticipate e non in linea con le attese medie di durata» (Croce, 2003).

REFERENCES

- AA.VV. (2016), *Architectures de béton*, Dunod, Malakoff.
- Andriani, C. (2016), *Cemento futuro. Una materia in divenire*, Skira, Milan.
- Baratta, A., Masciullo, A. (2014), "La durabilità delle strutture in calcestruzzo a vista. Il caso studio delle superquadras di Brasilia", in Catalano, A. and Sansone C. (Eds.), *Progetto e tecnologia per il costruito*, Imready, Galazzano (RSM), pp. 33-44.
- Bardelli, P.G. (1992), "Conoscenze strategiche per il restauro dell'architettura moderna. Il caso de l'Unité d'Habitation di Marsiglia", in Gimma, M.G. (Eds.), *Il restauro dell'architettura moderna*, BetaGamma, Viterbo, pp. 125-134.
- Blanchard, R., Bouichou, M., Congar, T., Marie-Victoire, E. (2015), "Concrete cultural heritage in France. Inventory and state of conservation", in AA.VV. (Eds.), *Concrete repair, rehabilitation and retrofitting IV*, Leipzig, DE, pp. 343-350.
- Buttner, T. and Raupach, M. (2014), *Concrete repair to EN 1504: diagnosis, design, principles and practice*, CRC Press, London.
- Chirag, P. and Poonami, M. (2016), *Repair and rehabilitation of concrete structures*, PHI, Delhi.
- Coppola, L. and Buoso, A. (2015), *Il restauro dell'architettura moderna in cemento armato*, Hoepli, Milan.
- Croce, S. (2003), "La patologia edilizia", in Gottfried, A. (Ed.), *La qualità edilizia nel tempo*, Hoepli, Turin.
- De Caroli, F. (1992), "Conoscenze tecniche per le scelte di intervento su edifici significativi dell'Architettura moderna", in Gimma, M.G. (Ed.), *Il restauro dell'architettura moderna*, BetaGamma, Viterbo, pp. 219-227.
- Dessy, P. and Galimberti, V. (2001), "Sistemi e prodotti per il ripristino del calcestruzzo", *l'Edilizia*, No. 1, Milan, p. 44.
- Dimitrijevic, B., Guida, A. and Pagliuca, A. (2011), *Reinforced concrete condition assessment in architectural heritage. The Lion Chambers (Glasgow, UK) and the Theatre E. Duni (Matera, Italy)*, CUES, Fisciano (SA).
- Faresin, A. (2012), *Architettura in calcestruzzo. Soluzioni innovative e sostenibilità*, Utet, Turin.
- Kupiers, M. (2003), "Restaurare l'edificio e non la sua immagine", *Il Giornale dell'Architettura*, No. 10, pp.13-18.
- Marino, R. and Piferi, C. (2005), "Il calcestruzzo faccia a vista", *In Concreto*, No 66, pp. 40-44.
- Mezzina, M. and Uva, G. (2003) "Degradamento e riabilitazione strutturale dell'architettura in cemento armato: la crisi della modernità", *d'Architettura*, No. 20, Milan, pp. 176-181.
- Picchione, M.G. (2004), "La tutela delle opere di architettura contemporanea", *L'Architetto Italiano*, No. 4, pp. 44-46.
- Piferi, C. (2006), "Quality and deterioration of the architectural concrete facades", in AA.VV. (Eds.), *Construction in XXI century: local and global challenges*, Edizioni Scientifiche Italiane, pp. 408-409.
- Piferi, C. (2014), "Il ripristino architettonico dei paramenti in calcestruzzo a vista: lo Unity Temple di Wright-Oak Park (Illinois)", in Catalano, A. and Sansone, C. (Eds.), *Progetto e tecnologia per il costruito*, Imready, Galazzano (RSM), pp. 245-255.
- Pretelli, M. and Ugolini, A. (2012), "I calcestruzzi di Urbino", in Catalano, A. and Sansone, C. (Eds.), *Il Calcestruzzo per l'edilizia del nuovo millennio. Progetto e tecnologia per il costruito*, Arti Grafiche La Regione, Ripalimosani (CB).