

# FILM DI SILICE SOL-GEL PER LA PROTEZIONE DELLA CERAMICA NELL'ARCHITETTURA DI GIO PONTI A MILANO

Claudia Bortolussi<sup>1-2</sup>, Michele Cecchin<sup>1</sup>, Daniela Lattanzi<sup>3</sup>, Mari Mapelli<sup>3</sup>, Fabiola Mischiatti<sup>1</sup>, Elena Munerato<sup>1</sup>, Marta Righetti<sup>1</sup>, Renzo Bertonecello<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SILTEA srl, via della Croce Rossa 112, 35129 Padova, info@siltea.eu

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Chimiche, Università degli Studi di Padova, via Marzolo 1, 35131 Padova, renzo.bertonecello@unipd.it

<sup>3</sup> MiBAC- Direzione regionale per i beni culturali e paesaggistici della Lombardia, Corso Magenta 24, 20123 Milano, daniela.lattanzi@beniculturali.it

## ABSTRACT

The church of Santa Maria Annunciata in Milan was built between 1964 and 1967 by Gio Ponti. The restoration project highlighted a complex situation connected to contemporary art. The processes of surface alteration show phenomena that cannot be found in historical buildings. Particular attention was devoted to the external ceramic facing, made of glazed porcelain stoneware tiles. The critical conservation status of the ceramic elements required an intervention for the consolidation of diffuse micro-cracking in the glassy coating and the protection of the still intact material. Silica thin films synthesized by sol-gel process, according to the technology developed at the University of Padova, was used to perform an innovative protective treatment. The method involves a new synthetic path to obtain highly pure glassy silica thin films operating at low temperatures and in neutral pH, avoiding degradation of objects sensitive to acid environment and heat treatment. Phenomena involved in weathering, as well as chemical and morphological characteristics of the ceramic materials, were analyzed in order to plan the intervention. Compatibility with the substrate, stability to UV radiation, chemical corrosion and biological degradation resistance, inalterability of the optical characteristics are all features in accordance with the restoration needs. The encouraging results show that this technology can be widely used as an alternative to traditional methods based on organic polymers.

**Parole chiave/Key-words:** Sol-gel, Gio Ponti, glazed ceramics, silica coating.

## **La chiesa di Santa Maria Annunciata: cenni storici e artistici**

La chiesa di Santa Maria Annunciata all'Ospedale San Carlo Borromeo a Milano è stata progettata dall'architetto milanese Gio Ponti tra il 1960 ed il 1963 su incarico della Direzione degli Istituti Ospitalieri di Milano. La genesi progettuale della chiesa - che Ponti concepisce come opera d'arte totale (*Gesamtkunstwerk*) disegnandone i dettagli architettonici, gli arredi, le suppellettili e stabilendo il programma iconografico delle opere d'arte - risulta coerente con l'opera costruita, la quale fin dall'inizio viene riconosciuta dalla stessa committenza di altissimo valore artistico. Le particolari caratteristiche architettoniche di questo edificio di Ponti sono riconducibili ad una chiara intenzionalità dell'autore di concretizzare nella costruzione quelli che egli descrive come «universali», «perenni e immutabili termini di pensiero» per «giudicare l'architettura». Quasi in modo programmatico, la struttura della chiesa è costituita da un sistema puntiforme di venti pilastri di cemento armato faccia a vista che ritmano i prospetti principali lungo il fronte settentrionale e meridionale, mentre altri due pilastri a forma di incudine costituiscono le cuspidi dei prospetti laterali. Le facciate sono rivestite di piastrelle ceramiche a punta di diamante; in corrispondenza delle aperture o di rientranze, dove era necessario eseguire il taglio della piastrella, sono stati utilizzati elementi piani della medesima dimensione. Questo paramento esterno, nell'alternanza di formelle diamantate e lisce, crea una superficie cangiante alle diverse condizioni atmosferiche e al variare delle stagioni: una pelle mutevole alle differenti condizioni di luce che riverbera di riflessi «sul giro del sole»<sup>1</sup>. I pilastri in cemento armato sono lasciati faccia a vista sia all'interno che all'esterno, dove sono resi più snelli rispetto alla sezione reale dalla parziale sovrapposizione del rivestimento ceramico.

L'evidenza architettonica della copertura verderame, determinata dall'intersezione del piano di falda col prisma poligonale del volume edilizio, esalta con la linea di gronda inclinata che corona le facciate il dinamismo prospettico del volume e la sua "illusività" ad altre forme (il cristallo, il diamante, il monolite, la nave) e superfici (la pelle di uno storione) che qui vengono trasposte poeticamente nella costruzione. La ricerca di una superficie cangiante e mutevole da parte dell'autore ha portato alla scelta della ceramica come materiale di rivestimento. Nonostante il valore estetico e la convinzione della incorruttibilità dei materiali impiegati, negli anni si sono manifestate serie problematiche dal punto di vista conservativo. Nel 2005 la Direzione regionale per i beni culturali e paesaggistici della Lombardia, ufficio periferico del Ministero per i beni e le attività culturali, ha attivato un cantiere sperimentale allo scopo di effettuare le necessarie indagini preliminari,

studiare i materiali, comprendere le forme di degrado in atto e sperimentare adeguate metodologie di intervento. Tra il 2011 e il 2012 questi studi si sono concretizzati in un primo lotto di lavori di manutenzione e restauro che ha riguardato i corpi bassi dell'edificio, ovvero le cappelle, i protiri di ingresso e il tunnel di collegamento all'ospedale.

### **Stato di conservazione del rivestimento ceramico delle facciate**

L'unità di base del rivestimento ceramico è la piastrella a punta di diamante (14,5 x 7 cm). In corrispondenza delle aperture sono stati impiegati elementi piani della medesima dimensione. Le mattonelle sono di «tipo a Storione» ed erano prodotte dalla ditta Joo Gresite di Milano: una produzione utilizzata da Ponti in molte delle sue architetture coeve. La facciata meridionale presenta un degrado rilevante rispetto al prospetto nord. Le dilatazioni termiche generano *microcracking* delle piastrelle e la perdita di efficacia delle fugature che sono sottili (< 1 mm), come su specifica indicazione di Ponti. Il fenomeno interessa circa il 70% delle ceramiche rivolte a sud e costituisce il primo stadio per l'innescare di altre forme di degrado. Con l'innalzamento della temperatura le piastrelle sono sottoposte ad uno stato di coazione reciproca che genera uno sforzo di trazione in corrispondenza della cuspidi, microfessurando orizzontalmente lo smalto. Gli stati tensionali sono accentuati dalla presenza di materiali caratterizzati da moduli elastici molto diversi tra loro (calcestruzzo armato, ceramica, vetromattone, alluminio, rame, ecc.).

Il fenomeno è accompagnato da cavillature (o *craquelure*), che rendono il materiale più attaccabile dalle infiltrazioni di acque meteoriche. Altrettanto diffuse sono le efflorescenze bianche di natura silicatica, attribuibili al discioglimento di componenti della mattonella, dell'impasto di fugatura o dell'intonaco (fig. 1). Le lacune originano progressivamente dalle microfessurazioni e sono innescate dal fiorire di subefflorescenze immediatamente sotto la vetrina. Il processo di cristallizzazione tende a scagliare l'invetriatura, lasciando esposto agli agenti atmosferici il corpo ceramico che diventa nel tempo decoeso e pulverulento (fig. 2). Alcuni difetti di cottura determinano *pitting*, cioè la presenza sulla superficie di fori ciechi di forma emisferica e di diametro variabile dal millimetro al micron. Il degrado sopra descritto è aggravato dall'infiltrazione di acqua piovana proveniente dai giunti delle gronde, dalla sconnessione delle imboccature corrose dei pluviali. Il rivestimento ceramico presenta inoltre vere e proprie fessurazioni localizzate all'innesto dei corpi edilizi minori (cappelle, tunnel), ed in corrispondenza delle aperture e delle velette di copertura. Il quadro fessurativo non è attribuibile a dissesto strutturale, quanto piuttosto alla presenza di elementi portanti (travi e

pilastrini) e portati (tamponamenti in laterizio forato) tra loro non collegati e alla interazione tra corpi di fabbrica e/o parti dell'edificio caratterizzati da rigidità diverse. In taluni casi la fessurazione ha comportato il distacco della piastrella, dando luogo a mancanze localizzate. Molto diffusa è la presenza di macchie di ossido di rame che tende a fermarsi sulle superfici più porose (fugature, lacune, cavilli); analogamente vengono veicolati ossidi di ferro dalle armature delle strutture in cemento armato e da altri elementi in ferro incongrui applicati nel tempo. I depositi superficiali sono in genere molto coerenti e tenaci; più consistenti e spessi sulle superfici non sottoposte al dilavamento. Le facciate sono state parzialmente colonizzate da vegetazione rampicante (vite americana), la cui asportazione determina frequentemente il distacco della vetrina sottostante.



Figura 1: Efflorescenze in corrispondenza della fessurazione dello smalto ceramico.

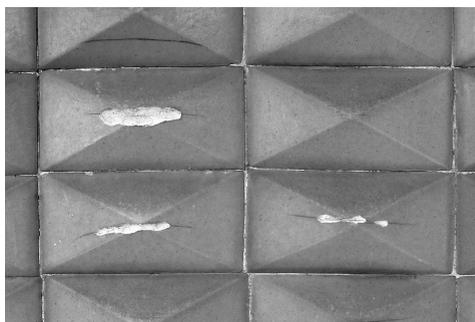


Figura 2: Distacco della parte sommitale della piastrella a punta di diamante.

### **Il trattamento protettivo**

L'incidenza dei fenomeni di degrado può sembrare anomala se relazionata all'epoca di costruzione della chiesa che è, infatti, relativamente recente. La diffusione e l'intensità dei fenomeni sono perciò imputabili alle caratteristiche intrinseche (forma, composizione, produzione) del materiale ceramico di rivestimento scelto da Ponti. Il restauro è finalizzato alla massima permanenza del materiale originario in opera ed è pertanto orientato a ricercare metodologie idonee alla sua conservazione, sia per evitare in futuro ulteriori perdite del materiale originale, sia per garantire la durabilità dell'intervento e l'integrità dell'edificio. La forma più diffusa di degrado è la microfessurazione. Risolvere pertanto la vulnerabilità agli agenti atmosferici da essa derivante è perciò fondamentale per preservare il rivestimento originale ed evitare la sostanziale sostituzione del rivestimento. A questo scopo, l'intervento di restauro (pulitura, sostituzione degli elementi rotti e/o fessurati, sigillatura) si conclude con un trattamento protettivo compatibile con la vetrina superficiale degli elementi ceramici. Il *coating* non deve

apportare alcun cambiamento alle caratteristiche ottiche ed estetiche del materiale originale, non deve perciò indurre alterazioni cromatiche dovute all'irraggiamento solare. Inoltre, il protettivo per svolgere la propria funzione, deve garantire durabilità ed essere meno attaccabile – rispetto ai protettivi più tradizionalmente impiegati nel restauro - dagli agenti di degrado biologici e dagli agenti atmosferici. Le ricerche effettuate in questo settore dal gruppo di Chimica per i Beni Culturali dell'Università di Padova hanno permesso la messa a punto di tecnologie innovative per la protezione e la conservazione di manufatti in vetro, ceramica ed altri materiali affini. Si tratta dell'impiego di film sottili di silice sintetizzati con processo sol-gel, materiali di nuova generazione con caratteristiche di purezza, funzionalità, resistenza e compatibilità superiori ai sistemi di protezione tradizionale. Il metodo consente di ottenere film sottili di natura inorganica, operando a bassa temperatura e in ambiente neutro, in modo tale da evitare danni alle superfici storiche sensibili a pH acido ed a trattamenti termici (Dal Bianco et al. 2008). L'applicazione dei *coating* sol-gel per la conservazione di materiale ceramico esposto all'aperto è particolarmente indicata in presenza di forte stress chimico-fisico sulle superfici e di irraggiamento solare diretto. Il trattamento risponde perciò ai requisiti ricercati per la protezione delle piastrelle in grès della Chiesa di Santa Maria Annunciata. E' stato dunque elaborato un opportuno protocollo, finalizzato alla sintesi ed alla scelta del migliore metodo di applicazione, così strutturato:

1. analisi diagnostiche: studio del materiale originale integro e degradato; studio del materiale di sostituzione<sup>2</sup>;
2. formulazione e test di deposizione del protettivo;
3. invecchiamento ed analisi di verifica.

#### *Analisi diagnostiche*

La formulazione del protettivo è stata elaborata a partire da una fase diagnostica che ha permesso la caratterizzazione del materiale. Si è ricorsi alla microscopia a scansione elettronica ed analisi chimica in microsonda (ESEM-EDS modello FEI Quanta 200). La morfologia e la stratigrafia dei campioni sono state studiate con i microscopi digitali Dino Lite AM211 (ingrandimento variabile 50x-200x) e AM313T5 (ingrandimento fisso 500x). Per l'indagine microstratigrafica sono state allestite sezioni lucide trasversali, secondo Raccomandazione NorMal 14/83 con resina epossidica Araldite 2020 Huntsmann A+B (10:3).

L'osservazione al microscopio digitale dei materiali originali ha evidenziato caratteristiche comuni in tutti i campioni. Il corpo ceramico ha un impasto

compatto di colore bianco rosato con inclusi neri e ocre. Il rivestimento vetroso è di colore grigio ed è poroso, contraddistinto dalla presenza di numerose bolle ed inclusi neri dispersi nella matrice. L'osservazione in luce riflessa della sezione lucida ha rilevato la presenza di due strati distinti ma ben coesi. La vetrina ha uno spessore di 350 micron con inclusi di granulometria pari a 10 micron e porosità interne con diametro medio di 100 micron. La superficie analizzata all'ESEM mostra irregolarità dovute a concrezioni, depositi superficiali ed alveoli. Dall'analisi chimica semiquantitativa in microsonda si è riscontrata la natura silicatica della vetrina, realizzata con una salatura a base di cloruro di sodio e di composti alcalini piombiferi, secondo la tecnica di produzione tradizionale (Maltese 1973). Risultati analoghi sono stati ottenuti dall'analisi morfologica del materiale di sostituzione. Rispetto al materiale posto in opera si evidenzia una sola differenza nella composizione chimica dello smalto, dove non è presente il piombo, in accordo con i processi odierni di fabbricazione del gres.

	Elementi in peso percentuale (wt%)										
	O	Na	Mg	Al	Si	Pb	K	Ca	Fe	Zn	Tot.
C. originale	46.19	2.23	0.85	3.24	35.27	3.83	1.85	3.22	1.44	1.87	100
C. di sostituzione	44.39	-	1.03	8.55	30.69	-	3.60	7.91	-	3.83	100

Tabella 1: Microanalisi EDS su campione di ceramica originale e su campione ceramico di sostituzione.

La superficie delle piastrelle, che ad occhio nudo appare liscia ed omogenea, presenta invece a livello microscopico una porosità diffusa del rivestimento vetroso. Si tratta di una caratteristica del materiale che si manifesta in fenomeni di alveolazione e *pitting corrosion*. La forma e la distribuzione degli alveoli ha suggerito che la loro formazione sia correlata all'espulsione di bolle d'aria in fase di cottura. L'attribuzione è stata avvalorata dalla presenza degli stessi fenomeni anche sul materiale di nuova produzione. Queste discontinuità, pur non dovute ad agenti di degrado, indeboliscono il materiale e lo rendono più suscettibile a stress meccanici.

#### *Formulazione e test di deposizione del protettivo*

In base alle analisi condotte, è stato formulato un sol a base TEOS<sup>3</sup>. La natura e la quantità di catalizzatore sono state selezionate in modo tale da evitare la migrazione del piombo in superficie, che è causa di iridescenze (Bertoncello et al. 2004). Prima dell'applicazione, le superfici sono state accuratamente pulite, poiché

le eventuali impurità residue possono compromettere la formazione dei legami chimici con il substrato. Il protettivo è stato depositato su campioni di prova testando due metodi: a pennello piatto a setole corte e con aerografo alimentato ad aria compressa. Il pennello produce film omogenei e con ottimo potere coprente. Tuttavia la quantità di materiale depositata genera un film di spessore eccessivo, che risulta poco elastico. Inoltre sono percettibili i segni della stesura lasciati dalle setole (fig. 5). L'applicazione a spray con aerografo ad aria compressa si è dimostrato il metodo migliore per il trattamento, poiché assicura una deposizione uniforme ed uno spessore adeguato. La rapida evaporazione del solvente presente nella formulazione garantisce la reticolazione quasi istantanea del film. La pistola aerografo è inoltre funzionale e rapida per l'applicazione su grandi superfici all'aperto. Sia a livello macroscopico che microscopico il film ottenuto risulta omogeneo e privo di iridescenze, mantenendo inalterate le caratteristiche cromatiche ed estetiche del materiale sottostante. Per verificare la capacità del film di sigillare le fessurazioni e il *pitting*, due campioni rappresentativi dei diversi fenomeni sono stati analizzati pre e post trattamento. Lo stesso *iter* è stato seguito per i due campioni delle piastrelle di sostituzione. L'analisi ESEM-EDS del campione con fessurazione ha evidenziato concrezioni di natura silicatica lungo la discontinuità dello smalto e la presenza di rame, ferro e fosforo all'interno della frattura. Gli elementi estranei alla composizione del corpo ceramico derivano da percolamenti di acque meteoriche, che trovano nelle fessurazioni una via di scorrimento preferenziale. Ferro e rame provengono dalla copertura e dalle grondaie, mentre il fosforo è ascrivibile a residui organici (guano di piccione). Dalle immagini ESEM del campione con *pitting* si sono individuate diverse fasi di sviluppo di questo fenomeno. Le fratture concentriche evolvono fino a portare alla perdita di materiale con formazione dell'alveolo. All'interno di quest'ultimo si nota un piccolo foro attraverso il quale è degassata l'aria in fase di cottura. Le stesse immagini acquisite dopo il trattamento hanno confermato l'efficacia del film nel livellamento della rugosità e dei difetti superficiali della vetrina, arrestando l'evoluzione dei fenomeni di degrado già innescati. Il protettivo, come previsto, si rivela inadatto per riparare le fratture profonde, le cui dimensioni micrometriche non sono comparabili a quelle nanometriche del film. Le piastrelle che presentano questo tipo di degrado sono state perciò sostituite prima del trattamento. Il protettivo si è dimostrato compatibile anche con la vetrina delle piastrelle di sostituzione. A seguito del buon esito dei test, le prove di deposizione sono state condotte anche in situ.

### *Invecchiamenti ed analisi di verifica*

Per valutare il comportamento del film nel tempo e nell'ambiente i campioni trattati in laboratorio sono stati sottoposti ad invecchiamento accelerato. Il materiale in situ è stato analizzato dopo 60 giorni per verificare l'interazione tra il film ed il contesto reale nel quale è stato applicato. L'invecchiamento accelerato è stato realizzato con camera climatica ATLAS SUNSET CPS+ ed ha previsto tre cicli. La prima fase ha riprodotto l'irraggiamento solare con cicli di 12 ore di illuminazione/buio per testare la resistenza alle escursioni termiche giornaliere ed assicurare l'inalterabilità del film ai raggi UV. Nella seconda fase è stata simulata l'umidità di condensa mentre nell'ultima è stato valutato l'effetto di dilavamento da precipitazioni con cicli di immersione ed emersione. Tutti i materiali trattati ed invecchiati artificialmente e in situ, non sono stati alterati dalle sollecitazioni imposte. Le immagini in microscopia ottica ed ESEM hanno mostrato un comportamento stabile del film che non presenta lacune né sollevamenti del *coating*. La funzione di sigillante delle *crack* persiste, senza alcuna variazione cromatica ed estetica. Il trattamento ha effetti positivi anche sul materiale di sostituzione. Le analisi ESEM rilevano una consistente diminuzione del fenomeno di *pitting* in presenza del *coating*, dimostrando che il film è in grado di arginarne gli effetti. I campioni non trattati sottoposti ad invecchiamento sono invece soggetti ad un'alveolazione diffusa.

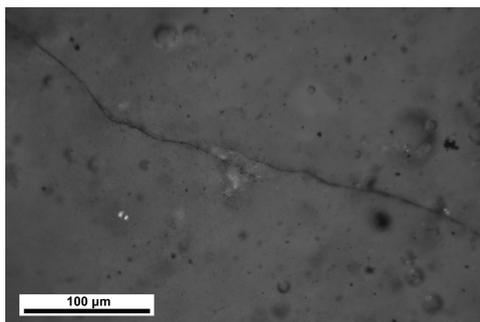


Figura 3: Foto al microscopio ottico in luce bianca riflessa della superficie dello smalto microfessurata, sottoposta ad invecchiamento.

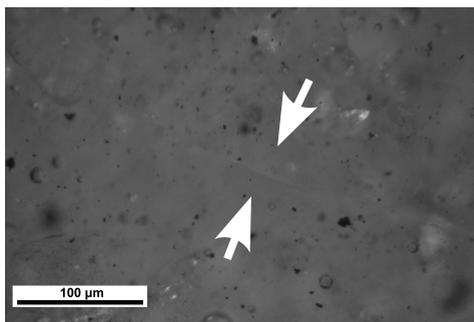


Figura 4: Foto al microscopio ottico dopo invecchiamento artificiale della superficie trattata. Le frecce indicano la sigillatura delle microfessurazioni.

### *Le fasi lavorative di cantiere*

Il trattamento protettivo completa un intervento di restauro che è stato eseguito sulle superfici ceramiche delle cappelle e del protiro nord nel primo lotto dei lavori (2011-2012). L'applicazione del film è stata preceduta da una fase di pulitura della superficie, secondo un protocollo messo a punto durante le ricerche eseguite per lo

sviluppo dei sistemi sol-gel. Il pre-trattamento rimuove le sostanze organiche dalle superfici favorendo contemporaneamente una rapida asciugatura e ha previsto:

1. pulitura con soluzione di acqua deionizzata e tensioattivo (10:1) per la rimozione di sostanze organiche residue;
2. risciacquo abbondante con acqua deionizzata per eliminare il tensioattivo in eccesso;
3. pulitura con alcol isopropilico per eliminare il carbonio di contaminazione.

Questi passaggi sono stati realizzati immediatamente prima dell'applicazione del film, per evitare contaminazioni ambientali. Le operazioni hanno interessato porzioni continue del rivestimento ceramico, intervallando pre-trattamento e deposizione in funzione dei piani del ponteggio. In questo modo si sono evitate sovrapposizioni di più strati di film.

La deposizione spray è stata eseguita per mezzo di aerografo con ugello da 1.5 mm alimentato ad aria compressa (fig. 6). La pistola aerografo è stata impostata per ottimizzare le condizioni di deposizione, valutando pressione in uscita, quantità di prodotto, distanza minima tra ugello e superficie, larghezza della rosa del getto e velocità di stesura. Per eliminare l'acqua di condensa ed eventuali impurità all'interno del tubo collegato al compressore è stato utilizzato un opportuno filtro.

Il trattamento ha interessato un'area totale di circa 300 mq sui quali è stato possibile verificare l'aumento di idrorepellenza, come diretta conseguenza dell'abbattimento della rugosità superficiale. Una minore superficie specifica esposta si traduce in un minor numero di gruppi ossidrilici in grado di interagire e di fare da ponte con l'acqua. Questa caratteristica è fondamentale nel rallentare i processi di degrado che, sono nella maggior parte dei casi causati, veicolati o intensificati dalla persistenza dell'acqua sulle superfici.

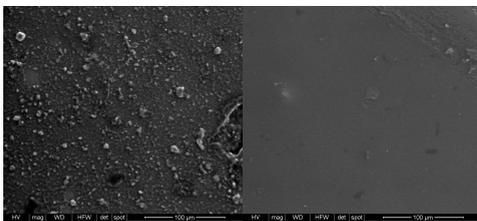


Figura 5: Immagini ESEM della superficie ceramica prima del trattamento (a sinistra) e dopo trattamento, con deposizione del film a pennello (a destra).



Figura 6: Applicazione del film di silice sol-gel con tecnica spray.

## Conclusioni

I film protettivi in silice sintetizzati con metodo sol-gel hanno dimostrato la loro compatibilità con le esigenze di restauro di un'opera architettonica con problematiche conservative particolari. Il materiale scelto da Gio Ponti per il rivestimento esterno della chiesa, pur rivelandosi per sua natura e per la modalità di posa non del tutto adeguato allo scopo, è ciò che caratterizza la superficie dell'architettura e deve perciò essere preservato. Le *performance* del *coating* testate in laboratorio ed *in situ* sono state ritenute idonee al trattamento protettivo della ceramica invetriata esposta all'aperto, non solo per prevenire ulteriore degrado ma anche per arrestare i meccanismi già innescati. Si è constatato un notevole aumento dell'idrorepellenza delle superfici trattate che garantirà nel tempo una migliore resistenza alle sollecitazioni date dagli agenti atmosferici, oltre a un prolungamento degli intervalli di tempo tra interventi di manutenzione e restauro.

Sotto il profilo architettonico e conservativo è significativo che l'intervento di restauro del rivestimento ceramico abbia consentito alla superficie originaria di tornare a riverberare «il giro del sole» assicurando la massima durabilità col minimo sacrificio di materia, limitato agli elementi lacunosi, rotti o fessurati.

## Note

<sup>1</sup> La ceramica, scrive Ponti, «è un materiale meraviglioso / è fra i materiali incorruttibili / rivestiamo l'architettura con mosaico di ceramica, anche la costruzione ha una pelle / rivestiamo l'architettura con elementi a diamante: non simulano il muro costruito, come il paramano, ma denunciano di essere un rivestimento: danno alla superficie un valore plastico e giocano con la luce sul giro del sole: sono bellissimi». (in Gio Ponti, *Amate l'architettura*, Società editrice cooperativa CUSL, 1957 p. 148).

<sup>2</sup> Le piastrelle di sostituzione sono state prodotte dalla ditta TeamWork S.r.l. di Rubiera (RE) su incarico della Direzione regionale per i beni culturali e paesaggistici della Lombardia.

<sup>3</sup> TEOS è acronimo di tetraetil ortosilicato,  $\text{SiO}_4\text{C}_8\text{H}_{20}$ .

## Bibliografia

K. Ambrogio, A. Conforti, R. Fabbri, "Il consolidamento dei materiali moderni tra conservazione e sostituzione. Un problema di restauro o di manutenzione

ordinaria?”, in *Il consolidamento degli apparati architettonici e decorativi. Conoscenze, orientamenti, esperienze*, Atti del convegno di studi (Bressanone, 10-13 luglio 2007), (a cura di Guido Biscontin e Guido Driussi), Marghera (VE), 2007, pp. 303-312.

R. Bertoncetto, L. Milanese, A. Bouquillon, J. C. Dran, B. Mille, J. Salomon, *Leaching of lead silicate glasses in acid environment: compositional and structural changes*, Applied Physics A - Materials Science & Processing, 79, 193–198 (2004).

B. Dal Bianco, R. Bertoncetto, *Sol-gel silica coatings for the protection of cultural heritage glass*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 266, 2358–2362 (2008).

C. Di Francesco, D. Lattanzi, M. Mapelli, “Un progetto di ricerca per il restauro: il cantiere di studio della chiesa di Santa Maria Annunciata all’ospedale San Carlo Borromeo”, in: *Gio Ponti e l’architettura sacra. Finestre aperte sulla natura, sul mistero, su Dio* (a cura di M. A. Crippa, C. Capponi), Silvana Editoriale, 2005, pp. 103-116.

C. Maltese (a cura di), *Le tecniche artistiche*, Mursia Editore, 1973, pag. 123.