

L A FACCIATA DELLA CHIESA DI SANTO SPIRITO IN URBINO: DALLE INDAGINI SCIENTIFICHE AL RESTAURO

Maria Letizia Amadori, Elena Gramegna, Francesca Schillaci, Filippo Mangani
Istituto di Scienze Chimiche, Università degli Studi di Urbino “Carlo Bo”, Urbino (PU)

Giuliana Raffaelli

Istituto di Geodinamica e Sedimentologia, Università degli Studi di Urbino “Carlo Bo”,
Urbino (PU)

Isidoro Bachiocca

Libero professionista, Ditta Bachiocca srl, Urbino (PU)

1. Introduzione

La chiesa di Santo Spirito (fig. 1) è situata in Via Bramante, all'interno dell'antica Contrada di Santa Lucia, nei pressi della piazza principale del centro storico di Urbino. La chiesa è collocata in prossimità di una strada aperta al traffico e alla sosta di veicoli di vario tipo, pubblici e privati.

La sua costruzione, documentata dal 1554, è avvenuta in due periodi distinti. La severa facciata e il caratteristico portale ad edicola risalgono alla fine del XVI secolo; in origine, tale portale apparteneva alla chiesa di Sant'Agata, che nel 1703 fu demolita per essere incorporata nel Palazzo degli Scolopi [1]. Il finestrone che grava sul timpano curvilineo del portale, impreziosito dal ricco motivo dei putti, è stilisticamente attribuibile ad un periodo successivo, databile alla metà del XVIII secolo

La chiesa è realizzata prevalentemente in laterizi, mentre l'uso della pietra è limitato al basamento, alle cornici che corrono lungo la facciata e agli elementi che compongono il portale ad edicola, il finestrone, la struttura del frontone triangolare, le basi e i capitelli delle paraste laterali.

Prima del restauro lo stato di conservazione della facciata era piuttosto variabile in funzione del tipo di materiale considerato e della sua posizione. Le tipologie di degrado [2] riscontrate più frequentemente sulle superfici protette dal dilavamento erano i depositi più o meno compatti, di spessore variabile e di colore dal grigio al nero (fig. 2). In particolare, i basamenti di entrambe le colonne erano caratterizzati dall'alternanza di aree nere e bianche. Sulla superficie lapidea annerita erano presenti dei “crateri” in corso di sollevamento e distacco e delle lacune, formatesi in seguito alla caduta delle croste, alle quali si associava



Figura 1. Facciata della chiesa di Santo Spirito.

la decoesione del substrato. Nelle aree in cui i depositi erano assenti o presentavano minore spessore, si notavano sottili pellicole dal colore giallo-bruno, tenacemente aderenti al substrato. La parte inferiore della facciata, fino all'altezza di circa tre metri, era interessata da fenomeni di risalita capillare. In tale area molti laterizi mostravano un substrato disgregato, avendo perso la superficie esterna in seguito a processi di sollevamento e distacco.

Il finestrone era completamente ricoperto da depositi grigi incoerenti, di colore più scuro e di spessore più elevato nella parte superiore rispetto a quella inferiore. Anche in questo caso, nella formazione dei depositi appare determinante la geometria del manufatto che assicura maggiore protezione dalla pioggia battente alla parte superiore, protetta dalla mensola che sostiene il motivo dei putti. Le volute e le figure degli angeli, che arricchivano il finestrone, apparivano alquanto erose e ricoperte da alveari abbandonati (fig. 3) costruiti con materiale terrigeno ed organico e da depositi polverulenti. Sul timpano curvilineo del portale erano presenti incrostazioni licheniche e stuccature grigiastre, mentre le superfici rampanti del frontone erano ricoperte da una copertura cementizia.



Figura 2. Croste nere sui capitelli del portale.



Figura 3. Alveari sulle figure dei putti.

2. Campionamento e metodologie di indagine

Sono stati prelevati trentanove campioni, rappresentativi dei diversi prodotti di degrado e dei differenti materiali lapidei naturali ed artificiali, seguendo le indicazioni fornite

dalla Raccomandazione Normal 3/80 [3]. I campioni, di seguito elencati, sono stati prelevati dai vari elementi architettonici dell'intera facciata, a diverse quote fino al tetto.

- Basamento colonna sinistra (crosta e scaglia di pietra): SS1, SS1a
- Basamento colonna destra (croste nere): SS2, SS3
- Plinto colonna destra (scaglie di pietra): SS2a, SS2b, SS3a, SS3b
- Fusto colonna destra (scaglia di pietra): SS4
- Lesena sinistra portale (crosta nera): SS5
- Lesena destra portale (malta): SS5a
- Fusto colonna sinistra (scaglia di pietra): SS6, SS6a
- Lato sinistro muratura (laterizi): SS7, SS8, SS9
- Capitello sinistro (crosta nera e scaglia di pietra): SS10, SS10a
- Stuccatura architrave (malta): SS11
- Architrave (scaglie di pietra e croste nere): SS11a, SS11b, SS12, SS12a
- Lunetta (scaglie di pietra): SS13, SS13a
- Capitello destro (crosta nera e scaglia di pietra): SS14, SS14a
- Cornice finestrone centrale (scaglia di pietra): SS15
- Voluta sinistra del finestrone (croste nere e scaglia di pietra): SS16, SS16a, SS16b
- Fregio a putti alati e colomba (scaglie di pietra e crosta nera): SS17, SS17a, SS17b
- Frontone (scaglie di pietra): SS18, SS19, SS19a, SS19b, SS19c
- Colonna destra (efflorescenze): SS20
- Lesena destra (efflorescenze): SS21

Sui campioni sono state eseguite le seguenti indagini:

- osservazioni minero-petrografiche in luce trasmessa con un microscopio ottico Nikon (Nikon, Japan), Mod. TK-1270E;
- osservazioni morfologiche e strutturali utilizzando un microscopio elettronico a scansione (SEM) Leika, Mod. Cambridge Stereoscan 360 (Leika, UK) e micro-analisi elementari con un sistema micro-analitico a dispersione di energia (EDS) Link Analytical Oxford, modello 6103 (Link, UK);
- identificazione delle fasi mineralogiche per mezzo di un diffrattometro a raggi X Philips (Philips, UK), Mod. PW 1830, con anticatodo in rame;
- determinazione degli anioni e dei cationi, mediante cromatografo ionico Dionex DX 120 (Dionex Co., Sunnyvale, CA, USA);
- analisi in spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier per mezzo di uno spettrofotometro Shimadzu 8-300 (Shimadzu, Japan).

3. Risultati e discussione

Osservazioni al microscopio ottico

In base alle osservazioni minero-petrografiche risulta che i materiali lapidei naturali impiegati nella facciata della chiesa di Santo Spirito sono riconducibili a due formazioni geologiche di provenienza locale: Calcere Massiccio e Bugarone.

Nei campioni di Calcere Massiccio sono state identificate due differenti facies riferibili alla parte alta del Calcere Massiccio, un litotipo molto diffuso nell'Appennino Umbro-Marchigiano, storicamente chiamato Travertino di Piobbico, le cui cave sono ubicate sul versante nord orientale del Monte Nerone, nella Val d'Abisso, a circa 1,5 km a sud dell'abitato di Piobbico [4, 5, 6].

La prima facies è classificabile come un grainstone, ovvero un calcare costituito da piccoli peloidi (diametro medio variabile tra 50-150 μm , più rari gli individui di 300 μm), da rari intraclasti e piccoli ossidi, tenuti insieme da cemento carbonatico spatico, accresciutosi intorno ai granuli a spese della matrice. La sparite ha, in genere, dimensioni molto ridotte (alcune decine di μm), ad eccezione di alcuni casi in cui riempie completamente la porosità intergranulare della roccia raggiungendo un diametro massimo di circa 100 μm . Gli elementi architettonici realizzati con questa facies sono la cornice, la voluta sinistra e il fregio dei "putti" del finestrone, l'architrave, la lunetta, il fusto e il capitello della colonna sinistra del portale (SS4, SS6a, SS10a, SS11a, SS11b, SS12a, SS13a, SS15, SS16b, SS17, SS17b).

La seconda facies (fig. 4), comprendente campioni prelevati in prossimità del fusto e del capitello della colonna destra (SS3b, SS14a), è ascrivibile anch'essa ad un grainstone simile al precedente, ma con granulometria maggiore, con granuli di dimensioni comprese tra 100 e 600 μm , rappresentati da ooidi spesso fortemente micritizzati, tanto da celare, nella maggior parte dei casi, l'originaria struttura interna concentrica. Sono inoltre presenti, in quantità meno

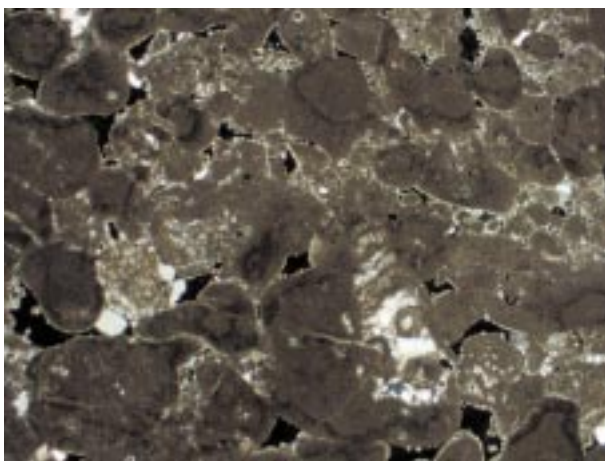


Fig. 4. Campione SS14a, Calcere massiccio (2,5x N+).

abbondanti, intraclasti, bioclasti e piccoli ossidi. Anche in questo caso si osserva un legante carbonatico costituito da calcite spatica.

L'altro litotipo utilizzato nel basamento e nei plinti della colonna destra e nel timpano (SS2a, SS2b, SS3a, SS19a, SS19b, SS19c) è un wackestone, ovvero un calcare micritico (fig. 5) costituito da abbondanti bioclasti (lamellibranchi, echinodermi, spicole di spugna, ecc.), i cui gusci risultano spesso riempiti di calcite spatica. Sono inoltre presenti piccoli cristalli cubici di pirite. Questo litotipo è riferibile alla formazione del Bugarone Inferiore, le cui cave storicamente note sono ubicate nelle zone del Monte Nerone e del Furlo [4]. Tuttavia, le caratteristiche microscopiche permettono di attribuire questi campioni al settore nord-occidentale del Monte Pietralata.

Le croste nere presenti sulle superfici lapidee (SS6a, SS10a, SS12a, SS13a, SS14a, SS15, SS16b, SS17b, SS18) hanno spessori massimi fino ad 1 mm e sono costituite da cristalli di calcite e gesso, piccole particelle sferoidali di particolato atmosferico, cristalli di quarzo detritico e minerali opachi (fig. 6). In alcuni casi, nella zona di contatto fra crosta e calcare, è presente un fitto intreccio di cristalli di gesso. Sotto la crosta il substrato risulta, talvolta, molto decoeso ed interessato da una fitta microfessurazione fino ad una pro-

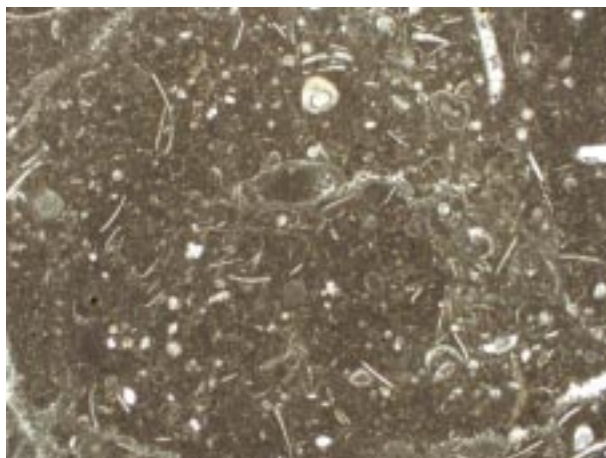


Figura 5. Campione SS2a, Bugarone (2,5x N+).

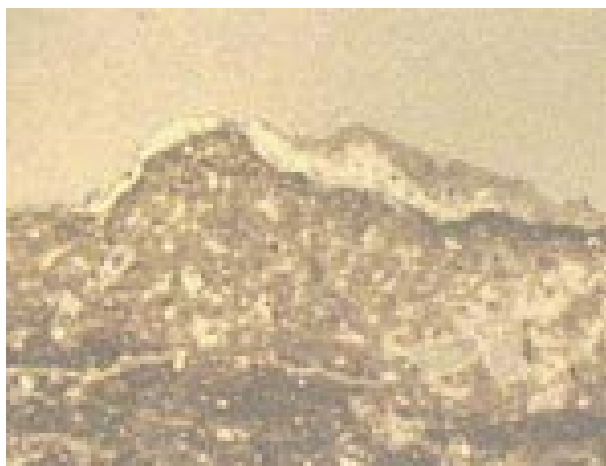


Figura 6. Campione SS14a, deposito superficiale (10x N//)

fondità di circa 3,5 mm; le fessure perpendicolari alla superficie esterna sono talvolta riempite da gesso di neoformazione. Le superfici di alcuni campioni (SS14a, SS15, SS17b) presentano un livello continuo di colore nocciola, dello spessore massimo di 300 µm riconducibili a pellicole ad ossalati (fig. 6) la cui presenza è stata più volte individuata nei monumenti marchigiani [7, 8]. I campioni prelevati nelle aree bianche mostrano talvolta sottili livelli di calcite neogenica [9]

Per quanto riguarda i materiali lapidei artificiali, sono state eseguite osservazioni su due campioni di laterizi (SS7, SS8) e due di malta (SS5a, SS11). Il campione SS7 presenta una massa di fondo disomogenea, da anisotropa a parzialmente isotropa, con colore variabile da nocciola a marrone scuro. Il campione SS8, invece, presenta massa di fondo prevalentemente isotropa, di colore variabile dal bruno al rossiccio (fig. 7). La porosità è in entrambi i casi bassa (circa 10-15%), con pori di forma da arrotondata ad irregolare. Sono presenti numerose fratture, sia parallele che perpendicolari alla superficie esterna, alcune delle quali sono riempite da gesso. In entrambi i casi lo smagrante è abbondante (circa 15-20%) ed è costituito principalmente da quarzo monocristallino, da angoloso a subarrotondato, con sfericità medio-alta. Sono, inoltre, presenti minor quantità di feldspato potassico, plagioclasio, miche (muscovite e più rara biotite), pirosseni e dolomite. La morfologia dei clasti è variabile, da arrotondata a sub-angolosa, con sfericità da bassa ad alta e dimensioni massime di circa 300 µm.

I campioni SS5a e SS11 sono due malte molto simili con legante di colore nocciola formato da gesso. L'aggregato è scarso ed è costituito da frammenti di quarzo monocristallino, da sub-arrotondati ad angolosi, con sfericità medio-alta e diametro, in genere, di poche decine di micron (solo un cristallo di quarzo raggiunge diametro di 0,7 mm).

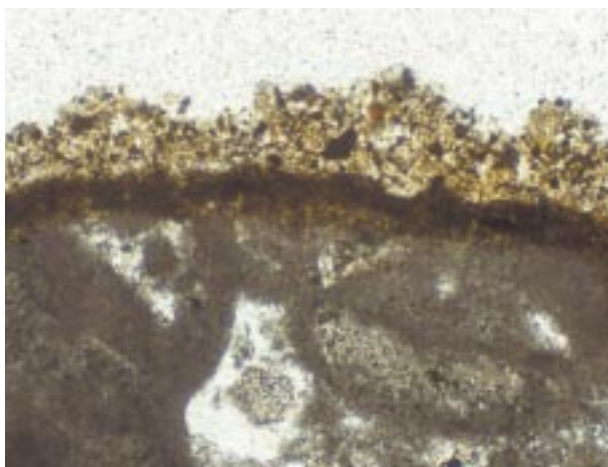


Figura 7. Campione SS7, laterizio (2,5x N//).

Osservazioni al microscopio elettronico a scansione e analisi in microsonda EDS

Le osservazioni al SEM hanno permesso di conosce-

re la morfologia di croste nere e scaglie, mentre l'analisi tramite microsonda EDS ha fornito informazioni sulla loro composizione chimica elementare.

Le croste risultano costituite da cristalli a morfologia variabile (fig. 8), composti principalmente da zolfo e calcio, riconducibili a gesso, e secondariamente da silicio, alluminio, potassio; magnesio e ferro.

Il gesso è considerato il principale prodotto di degrado antropogenico e si forma sulle superfici lapidee in seguito alla trasformazione del carbonato di calcio in solfato di calcio, grazie alla presenza di composti a base di zolfo di origine atmosferica. Come noto, il processo di solfatazione avviene in seguito all'ossidazione della SO_2 e della sua trasformazione in H_2SO_4 . L'acido solforico, prodotto sia in atmosfera, sia direttamente sulla pietra, è responsabile dell'attacco al carbonato di calcio ($CaCO_3$) e della conseguente formazione di cristalli di gesso [10]. La variabilità riscontrata nella forma di tali cristalli è determinata dallo spessore del film di soluzione presente sulla superficie lapidea, dal quale essi si sono accresciuti: al diminuire di tale spessore si passa da cristalli larghi e globulari a cristalli sempre più sottili come barrette, cristalli aciculari e filiformi [11, 12].

Sono stati, inoltre, individuati cristalli ad abito cubico, composti da sodio e cloro, riconducibili all'halite. Tale minerale è uno dei componenti dello spray marino [13] ed è già stato rilevato nel centro storico di Urbino [14]. Anche il bromo, individuato in tracce in due diversi campioni, potrebbe avere origine marina [15].

Fra i cristalli di gesso sono presenti particelle sferiche dalla superficie liscia (fig. 9) costituite principalmente da ferro, con tracce di silicio, alluminio, calcio, magnesio, sodio, cloro, zolfo e potassio. Si tratta di prodotti di origine industriale che provengono sia da processi di combustione del carbone e derivati del petrolio, sia dai fumi di scarico dei veicoli diesel [16].

Nelle croste sono stati identificati numerosi cristalli, costituiti principalmente da silicio ed alluminio, dalla forma più o meno geometrica, riconducibili a minerali allumo-silicatici che sono componenti caratteristici del pulviscolo atmosferico, risollevato dai suoli [17].

Analisi in diffrazione dei raggi X

Le analisi diffrattometriche effettuate hanno messo in evidenza la composizione mineralogica semi-quantitativa dei campioni (tab. 1). Scaglie, croste nere e depositi polverulenti mostrano generalmente la calcite quale componente mineralogico principale in quanto è il costituente primario della pietra.

Il quarzo è stato rilevato in tutti i campioni, ma in quantità estremamente variabili: da abbondante a tracce; illite/miche, montmorillonite, clorite, feldspati e plagioclasti sono stati individuati in quantità variabili da scarse a tracce. Tutti questi minerali sono presenti nel-

l'aerosol atmosferico in quanto costituenti della polvere e si trovano inglobati negli strati alterati [18]. Tra le fasi di neoformazione, il gesso è il minerale riscontrato con maggiore frequenza e abbondanza. L'halite è stata rilevata in quantità scarse in soli tre campioni (SS1, SS2, SS16). Tracce di thermonatrite sono presenti nel campione SS14.

La weddellite è quasi sempre presente in quantità da discrete a tracce, mentre la whewellite è stata individuata in sette campioni, sempre in minime quantità. Si tratta di ossalati di calcio, in forma mono e biidrata, la cui formazione è attribuibile principalmen-

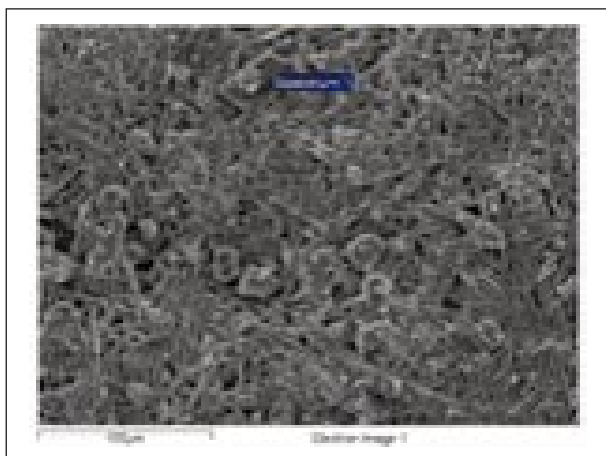


Figura 8. Campione SS2, cristalli di gesso (400x).

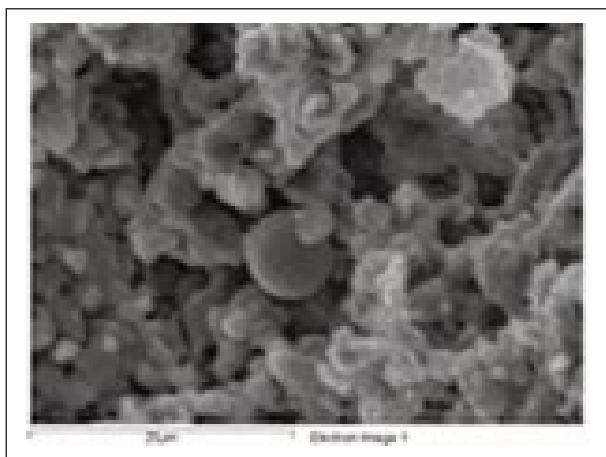


Figura 9. Campione SS10, particelle sferiche di ferro (3000x).

te all'azione metabolica di bioteteriogeni o alla trasformazione di prodotti organici, soprattutto proteici, impiegati nei trattamenti di pulitura, lucidatura e protezione delle superfici lapidee [19]. Altra ipotesi prevede la derivazione degli ossalati di calcio dall'ossidazione di idrocarburi o di altre sostanze organiche presenti in ambienti inquinati [20].

Due campioni di laterizi (SS7 e SS9) risultano composti principalmente da quarzo e calcite e secondariamente da gesso, illite, feldspati, montmorillonite, dolomite, ematite, thermonatrite, weddellite e whewellite. Un terzo campione (SS8) è simile agli altri, ma è privo di calcite e mostra tracce di pirosseno. Probabilmente i due campioni con calcite sono stati sottoposti ad una temperatura di cottura infe-

Tabella 1. Composizione mineralogica semi-quantitativa (XRD).

Campioni	C	Q	Mo	I/M	Cl	K-F	Pl	D	Em	P	G	A	Wd	Wh	Th	Ha
SS1	xxxxx	±	±								x		±			±
SS1a	xxxx	x		±			tr				xxxx		xx	tr		
SS2	xxxxx	±	tr													x
SS2a	xxxxx	±	tr				tr				tr					
SS2b	xxxxx	±	tr					±			x					
SS3a	xxxxx	x	±					±								
SS5	xxxxx	±	tr	tr			tr				xxx			±		
SS5a		±		tr							xxxx	xxx				
SS6	xxxx	±									xxxx		xx			
SS7	xxxx	xxxxx		xx		x	x				xx		±			
SS8		xxxx		x		±	±			tr	xx		tr	tr		
SS9	xxxx	xxx	x	x		±	±	±	tr		tr			tr	tr	
SS10	xxxxx	x	tr	tr							xxx		x			
SS11		tr		tr	tr						xxxxx		tr	±		
SS12	xxx	±									xxxx		x			
SS12a	xxxxx		tr								xx					
SS13	xxxxx	±	±								xxx		±			
SS14	xxxx	±		tr	tr						xxx		±		tr	
SS16	xxxx	xxx		x	tr		x				xxxx		xx	tr		±
SS17a	x	xx	tr	±		±	±				xxxxx		x	±		

C=Calcite, Q=Quarzo, Mo=Montmorillonite, I/M=Illite/Miche, Cl=Clorite, K-F=K-Feldspati, Pl=Plagioclasti, D=Dolomite, Em=Ematite, P=Pirosseni, G=Gesso, A=Anidrite, Wd=Weddellite, Wh=Whewellite, Th=Thermonatrite, Ha=Halite
xxxxx, xxxx = molto abbondante, xxx = abbondante, xx = discreto, x = poco abbondante,
± = scarso, tr = tracce.

riore a 750 °C, mentre nell'altro caso la temperatura superiore ha provocato la decomposizione dei carbonati e la comparsa di fasi di neoformazione, quali il pirosseno [21]. I suddetti minerali sono quasi tutti tipici costituenti dei laterizi, mentre gesso, thermonatrite e ossalati sono riconducibili a processi di degrado [22]. Il campione di malta SS11 risulta costituito prevalentemente da gesso, come già evidenziato al microscopio ottico e secondariamente da quarzo, minerali argillosi, weddellite e whewellite.

Tabella 2. Contenuto in cationi e anioni (% peso).

Campioni	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	C ₂ O ₄ ²⁻
SS1	0,05	0,04		3,58		0,08		0,18	5,96	0,09
SS1a	0,45	0,20		16,46	0,02	0,42	0,02	0,98	27,17	0,10
SS5	0,17	0,14		7,59		0,20	0,02	0,55	19,26	0,05
SS6	0,35	0,32	0,03	9,85		0,39	0,03	1,27	22,01	
SS7	0,53	0,28		4,24		0,68		3,22	5,58	0,06
SS8	0,37	0,41	0,06	3,56		0,47		2,36	7,15	0,05
SS9	0,24	0,38	0,10	1,68	0,03	0,51		2,07	1,45	0,10
SS10	0,26	0,10		11,16	0,02	0,3	0,02	0,29	18,11	0,10
SS11	0,16	0,12		21,13	0,02	0,20		0,25	52,30	0,07
SS12	0,21	0,19	0,02	13,67	0,02	0,21	0,02	0,35	34,37	0,09
SS13	0,02	0,02		11,23	0,02	0,08		0,26	15,11	0,09
SS14	0,25	0,19	0,03	8,14		0,30	0,02	0,31	17,39	
SS16	0,39	0,15		11,80		0,43	0,03	0,36	18,77	0,10
SS17a	0,37	0,18		19,60	0,04	0,47	0,02	0,31	33,18	0,08

Analisi in cromatografia ionica

La cromatografia ionica, condotta su quattordici campioni, ha permesso di individuare e quantificare il tenore dei sali solubili presenti nei materiali costitutivi e nei prodotti di degrado. Tale indagine riveste un ruolo estremamente importante dal momento che i sali solubili rappresentano una delle cause principali di deterioramento delle superfici architettoniche.

I risultati analitici, espressi come contenuto percentuale di ioni comparato al peso secco del campione sono riportati in tab. 2.

In tutti i campioni i solfati sono sempre gli anioni più abbondanti, seguiti da nitrati e cloruri, ad eccezione di un campione di laterizio (SS9) in cui il contenuto in nitrati supera quello in solfati. La spiegazione di tale risultato potrebbe essere legata alla quota di prelievo di questo campione, più elevata di circa tre metri rispetto ai precedenti. I sali trasportati per risalita capillare provengono principalmente dalle soluzioni saline presenti nel terreno. Nelle zone più basse sono presenti i sali meno solubili e meno igroscopici, come i solfati; al contrario, nelle zone più alte si accumulano i sali più solubili e più igroscopici, come nitrati e cloruri [11]. I nitrati presenti nelle croste nere e nelle scaglie di pietra prelevati nelle parti superiori della facciata potrebbero essere collegati alla presenza di guano di piccioni [23] che trovano riparo tra le volute del timpano. Ossalati, fluoruri e

fosfati sono presenti solo in tracce. Tra i cationi il calcio è il più abbondante; secondariamente si rilevano potassio e sodio, mentre il magnesio è presente solo in tracce.

Analisi in spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier (FTIR)

Gli spettri IR effettuati sulle pellicole giallastre mostrano principalmente la presenza di gesso (banda IR compresa tra 1141 e 1118 cm^{-1}) ed ossalati, sia nella forma monoidrata (whewellite), individuata attraverso i due picchi a 1626 e 1319 cm^{-1} , sia nella forma bii-drata (weddellite), nei picchi a 1647 e 1323 cm^{-1} [24]. Secondariamente, si evidenzia una banda larga a circa 1000 cm^{-1} , attribuibile a silicati non ben identificabili [25, 26]. Tale indagine conferma quindi quanto evidenziato dalle altre tecniche analitiche.

4. Intervento di restauro

In accordo con la direzione dei lavori e sulla base dei risultati ottenuti dalle indagini diagnostiche, nella primavera 2003 sono iniziati i lavori di restauro della facciata della chiesa di Santo Spirito.

In primo luogo, per garantire una maggiore stabilità al tetto, le tegole presenti sono state rimosse per poter ancorare delle lastre metalliche, assicurate con perni in acciaio inox filettati e in vetroresina, a loro volta fissati con resine epossidiche. Tutti i conci in pietra a rischio sono stati smontati e reinseriti in un secondo momento, fissandoli con perni di acciaio e resine epossidiche. I vecchi agganci metallici sono stati sostituiti con perni nuovi, laddove possibile, mentre quelli rimasti sono stati trattati con convertitore di ruggine. Le malte cementizie applicate per proteggere le superfici rampanti del frontone sono state rimosse per azione meccanica, utilizzando micro-scalpelli, microsabbatrice e vibro-incisori.

Sulla lunetta del timpano curvilineo del portale, essendo presenti numerose e diffuse incrostazioni licheniche, è stato applicato un trattamento biocida non aggressivo nei confronti della pietra. Dopo aver rimosso tali incrostazioni, sulla parte superiore della lunetta è stata fissata una lastra in piombo, allo scopo di impermeabilizzare la superficie e far confluire l'acqua piovana lontano dalle colonne, a fianco del portale.

Gli elementi maggiormente decoesionati sono stati preconsolidati con una resina acril-siliconica.

I paramenti lapidei ricoperti da depositi e croste nere sono stati puliti per mezzo di impacchi con polpa di carta, addizionata con carbonato di ammonio e, solo sull'architrave, sulle lesene e sulle colonne del portale, dove lo sporco era più resistente, è stata utilizzata AB 57. Gli impacchi sono stati ripetuti più volte e sono stati intervallati a lavaggi

Tabella 3. Contenuto in sali solubili dopo la pulitura (% peso).

Campioni	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
SS20	34,59	1,04	0,05	1,32		0,05		0,08	62,43
SS21	14,97	0,12	0,02	1,26	0,22	0,06	0,02	0,16	26,29

con acqua deionizzata, per garantire una completa asportazione dei sali solubili presenti nel substrato. Dove la crosta non era stata completamente rimossa è stata utilizzata una microsabbiatrice con ossido di alluminio in polvere con granulometria inferiore a 180 µm. Le pellicole ad ossalati presenti sulle superfici lapidee non sono state asportate, in quanto proteggono il substrato sottostante dall'aggressione degli agenti atmosferici. I laterizi sono stati lavati solo con acqua deionizzata.

Sulle colonne e sulle lesene del portale sono comparse efflorescenze saline biancastre. A distanza di qualche giorno dall'applicazione di ulteriori impacchi e lavaggi con acqua deionizzata, le efflorescenze sono comparse nuovamente. Sono state in entrambi i casi campionate ed analizzate in cromatografia ionica (tab. 3). I sali rilevati sono solfati di calcio e di sodio e, come era prevedibile, il campione SS20, prelevato dopo la prima pulitura, aveva un contenuto in calcio e solfati quasi doppio rispetto al campione SS21, prelevato qualche giorno dopo (rispettivamente circa 62% e 26% rispetto al peso secco del campione).

La presenza delle efflorescenze non ha consentito di effettuare operazioni di protezione e allo stato attuale l'intervento non è ancora terminato per permettere la fuoriuscita dei sali solubili.

La provenienza dei solfati è certamente collegata all'utilizzo di malte di allettamento gessose, che sono state eliminate e sostituite utilizzando malte a base di calce con basso tenore di sali solubili e sabbia carbonatica. La stessa malta, addizionata ad una resina acrilica, è stata utilizzata per ricreare le parti mancanti e per stuccare le fessure presenti.

5. Conclusioni

Le osservazioni al microscopio ottico hanno permesso di identificare i litotipi impiegati e di valutare il loro stato di conservazione. È stato, inoltre, possibile caratterizzare la struttura e la composizione di laterizi e malte, onde individuarne le tecnologie di fabbricazione.

I materiali lapidei impiegati nella facciata della chiesa di Santo Spirito sono il Calcare Massiccio, noto con il nome di Travertino di Piobbico, e il Bugarone, noto come Pietra del

Furlo, entrambi provenienti dall'Appennino Umbro-Marchigiano.

Entrambi i litotipi mostravano un buono stato di conservazione in corrispondenza delle aree bianche e sotto le pellicole ad ossalati, mentre risultavano piuttosto deteriorati sotto le croste nere. La presenza dei vari prodotti di neoformazione, costituiti principalmente da gesso, associata ai processi atmosferici e ai cicli di dissoluzione e cristallizzazione salina, ha certamente contribuito alla formazione di microfessure e alla disgregazione del substrato lapideo.

Per quanto riguarda i laterizi campionati, due di essi risultano cotti a temperatura inferiore a 750 °C, mentre l'altro a temperatura superiore a 800-850 °C. Il loro stato di conservazione era molto variabile in funzione sia della loro ubicazione, sia della cottura alla quale sono stati sottoposti. I due laterizi che si trovavano entro l'area interessata dai fenomeni di risalita capillare risultavano maggiormente degradati; quello cotto a temperatura inferiore, risultava ancora più compromesso.

Le operazioni di restauro effettuate nella chiesa di Santo Spirito hanno restituito alla facciata il suo aspetto originario, eliminando i depositi e le croste nere e conservando le pellicole ad ossalati.

La fase successiva prevede sia la protezione degli elementi maggiormente a rischio, attraverso l'applicazione di un idoneo protettivo, sia il risanamento dall'umidità attraverso un sistema di canalizzazione delle acque presenti alla base della struttura e un'adeguata impermeabilizzazione, al fine di bloccare la risalita capillare che altrimenti comprometterebbe ulteriormente la muratura in laterizi.

Ringraziamenti. Si ringrazia la dott.ssa Claudia Caldari della Soprintendenza per il Patrimonio Storico Artistico e Demoetnoantropologico delle Marche – Urbino per la proficua collaborazione.

Bibliografia

- [1] MAZZINI F. 1982, *I mattoni e le pietre di Urbino*, Urbino, Argalia Ed. delle Arti Grafiche Editoriali.
- [2] C.N.R.-I.C.R. 1990, Normal 1/88 - *Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: Iessico*, Roma, C.N.R.-I.C.R. Comas Grafica.
- [3] C.N.R.-I.C.R. 1980, Normal 3/80- *Materiali Lapedei: Campionamento*, Roma, C.N.R.-I.C.R. Comas Grafica.
- [4] DUNHAM R. J. 1962, *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*, in *Classification of carbonate rocks*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir Number 1, 235-239.
- [5] RODOLICO F. 1953, *Le pietre delle città d'Italia*, Firenze, Ed. Le Monnier.

- [6] SELLI R. 1954, *Il bacino del Metauro*, Fano, Edito dalla Cassa di risparmio di Fano.
- [7] AMADORI M.L., BURRAGATO F., LAZZARINI L. 1989, *Analisi delle patine presenti su elementi lapidei del Palazzo Ducale di Urbino*, in G. Alessandrini (ed.), I International Symposium Proceedings on the "The oxalate films: origin and significance in the conservation of works of art" (Milan, 25-26th october 1989), Milano, Vega Ed., 233-243.
- [8] AMADORI M.L., AMADORI M. 1996, *Le patine ad ossalato sulle superfici lapidee dei monumenti pesaresi*, in M. Realini, L. Toniolo (ed.), II International Symposium Proceedings on the "The oxalate films in the conservation of works of art" (Milan, 25-27th march 1996), Castello d'Argile (BO), Editeam s.a.s., 3-14.
- [9] CAMUFFO D., DEL MONTE M., SABBIONI C., VITTORI O. 1982, *Wetting, deterioration and visual features of stone surfaces in an urban area*, Atmospheric Environment, 16, 9, 2253-2259.
- [10] SABBIONI C. 1995, *Contribution of atmospheric deposition to the formation of damage layers*, Science of Total Environment, 126, 35-48.
- [11] ARNOLD A., ZEHNDER K. 1990, *Salt weathering on monuments*, in F. Zezza (ed.), Proceedings of the 1st International Symposium on "The conservation of monuments in the Mediterranean Basin" (Bari, 7-10 giugno 1989), Brescia, Grafo Ed., 31-58.
- [12] PANTANI M., SABBIONI C., GHEDINI N., GOBBI G., ZAPPIA G. 2002, *Heavy metals in stone damage layers due to environmental deposition*, in Galán and Zezza (ed.), "Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities", Lisse, Swets & Zeitlinger, 55-60.
- [13] ALAIMO R., DEGANELLO S., DI FRANCO L., MONTANA G. 1990, *Caratteristiche composizionali del particolato solido atmosferico e chimismo delle acque di precipitazione nell'area urbana di Palermo*, in F. Zezza (ed.), Proceedings of the 1st International Symposium on "The conservation of monuments in the Mediterranean Basin" (Bari, 7-10 giugno 1989), Brescia, Grafo Ed., 369-377.
- [14] AMADORI M.L. 1986, *Studi e Ricerche sulle Pietre del Palazzo Ducale*, in M.L. Polichetti (ed.), *Il Palazzo di Federico da Montefeltro - Restauri e Ricerche*, Urbino, Quattroventi Ed, 1, 709-725.
- [15] TORFS K., VAN GRIEKEN R. 1997, *Chemical relations between atmospheric aerosols, deposition and stone decay layers on historic buildings at the Mediterranean coast*, Atmospheric Environment, 31, 15, 2179-2192.
- [16] SABBIONI C. 2002, *Multipollutants: evidence in stone and mortar decay*, in Galán and Zezza (ed.), "Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities", Lisse, Swets & Zeitlinger, 19-21.
- [17] DELALIEUX F., CARDELL C., TODOROV V., DEKOV V., VAN GRIEKEN R. 2001, *Environmental conditions controlling the chemical weathering of the Madara Horseman monument*, NE Bulgaria, "Journal of Cultural Heritage", 2, 43-54.
- [18] DEL MONTE M., SABBIONI C. 1986, *Chemical and biological weathering of an historical building: Reggio Emilia Cathedral*, "The Science of the Total Environment", 50, 165-182.

- [19] MARIOTTINI M., LAURENZI TABASSO M., BIACHETTI P. 1989, *Indagine sulle possibilità di formazione degli ossalati di calcio sulle superfici lapidee esposte all'aperto*, in G. Alessandrini (ed.), Proceedings of the I International Symposium on "The oxalate films: origin and significance in the conservation of works of art" (Milan, 25-26th october 1989), Milano, Vega Ed., 53-73.
- [20] ALUNNO ROSSETTI V., LAURENZI TABASSO M. 1973, *Distribuzione degli ossalati di calcio mono e 2,25 idrato nelle alterazione delle pietre di monumenti esposti all'aperto*, in G. Urbani (ed.), Problemi di conservazione, Bologna, Ed. Compositori, 375-386.
- [21] DONDI M., MARSIGLI M., VENTURI I. 1998, *Comportamento in cottura delle argille italiane per laterizi*, "L'industria dei laterizi", 54, 382-394.
- [22] IEDEL H., KLEMM W. 2000, *Evaluation of the environmental influence of sulphate salt formation at monuments in Dresden (Germany) by sulphur isotope measurements*, in V. Fassina (ed.), Proceedings of the 9th International Congress on "Deterioration and Conservation of Stone", (Venice, 19-24th June 2000), Amsterdam, Elsevier, 1, 401-409.
- [23] BURSI, E., GELATI, A., FERRARESI, M., ZANNETTI G. 2001, *Impiego della nicarbazina nel controllo della riproduzione del colombo randagio di città*, "Annali della Facoltà di Medicina Veterinaria", Università di Parma, XXI, 97-115.
- [24] ADROVER GRACIA I. 2001, *Applicazioni della spettrofotometria IR allo studio dei Beni Culturali*, Collana I Talenti 9, Padova, Il Prato Ed.
- [25] BRUNI S., CARIATI F., POZZI A., TONIOLO L. 1996, *Calcium oxalate films on the façade stones of S. Paolo Converso church in Milan*, in M. Realini, L. Toniolo (ed.), Proceedings of the II International Symposium on "The oxalate films in the conservation of works of art", (Milan, 25-27th march 1996), Castello d'Argile (BO), Editeam s.a.s., 149-163.
- [26] BELLAMY L. J. 1966, *The infra-red spectra of complex molecules*, 2nd ed., New York, J. Willey & Sons Inc.

Riassunto

Lo stato di avanzato degrado della chiesa di Santo Spirito di Urbino ha indotto la Soprintendenza per il Patrimonio Storico Artistico e Demoetnoantropologico delle Marche-Urbino e la Curia Arcivescovile a programmare un intervento di restauro. Prima del restauro, iniziato nella primavera del 2003, la facciata era ricoperta da croste nere, depositi grigi e pellicole giallastre. Il paramento murario in laterizi, fino ad un'altezza di circa tre metri dal basso, era interessato da processi di decoesione, disgregazione e scagliatura; in tale area era piuttosto evidente la presenza di umidità attribuibile a fenomeni di risalita capillare. Allo scopo di identificare i materiali costitutivi e di valutare il loro stato di conservazione sono state condotte indagini scientifiche i cui risultati hanno permesso di fornire utili indicazioni per l'intervento stesso.

Abstract

The state of advanced deterioration of the church of Saint Spirito of Urbino has induced the Superintendence for the Historical Artistic and Demoetnoanthropological Heritage of the Marches-Urbino and the Archiepiscopal Curia to program an intervention of restoration. Before that, the facade was covered from black crusts, grey deposits and yellowish films. The bricks of the wall, until to a height

of approximately three meters from the bottom, moreover they were interested from processes of detachment, disintegration and exfoliation. In such area the presence of humidity was rather obvious and was attributable to phenomena of rising damp. In order to identify the constituent materials and to estimate of the state of conservation they have been carry out scientific investigations, whose it turns out have supplied profits indications for the restoration.

Résumé

L'état de dégradation avancée de l'église du Saint Esprit d'Urbino a amené la Surintendance pour le Patrimoine Historique Artistique et Demoethnoantropologique des Marches-Urbino et la Curie Archiépiscope à programmer une intervention de restauration. Avant l'intervention, la façade était, en effet, recouverte de croûtes noires, de dépôts gris et de pellicules jaunâtres. En outre les briques de la maçonnerie, jusqu'à une hauteur de trois mètres environ à partir du bas, étaient intéressées par les procès de décohesion, de désagrégation et d'exfoliation; dans cette zone il était plus plutôt évident la présence d'humidité attribuable à des phénomènes de remontée capillaire. Dans le but d'identifier les matériaux constitutifs et d'en évaluer l'état de conservation on a conduit des investigations scientifiques, dont les résultats ont fourni des indications utiles pour le restauration.

Zusammenfassung

Die ernste Beschädigung der Kirche des Heiligen Geistes in Urbino war der Grund, warum die Oberintendanz für die geschichtlichen, künstlerischen und demoethnoantropologischen Schätze der Region Marche – Stadt Urbino und die erzbischöfliche Kurie einen Restaurierungseingriff programmiert haben. Vor der Restaurierung, die im Spring 2003 anfang, war die Fassade von schwarzen Krusten, grauen Ablagerungen und gelblichen Filmen bedeckt. Die Wandfläche aus Ziegelsteinen war von Phänomenen von Dekohäsion, Zersetzung und Schuppenbildung gekennzeichnet. Das konnte man bis zu einer Höhe von drei Metern feststellen, in diesem Teil war Feuchte klar zu sehen, das hing vom kapillaren Aufstieg ab.

Um die Baumaterialien zu identifizieren und um ihren Konservierungsstand zu beurteilen, wurden wissenschaftliche Untersuchungen ausgeführt, ihre Ergebnisse gaben nützliche Hinweise für den Eingriff selbst.

Resumen

La condición de deterioro avanzado de la iglesia de Santo Espíritu de Urbino ha inducido la Superintendencia del Patrimonio Histórico Artístico y Demoethnoantropológico de la Región Marcas-Urbino y la Curia Arzobispal, a programar una intervención de restauración. Antes de la restauración, empezada en la primavera de 2003, la fachada estaba cubierta de costras negras, depósitos grises y películas amarillentas. El paramento mural de ladrillos, hasta la altura de tres metros aproximadamente desde abajo, sufría de un proceso de descohesión, disgregación y descamado; en dicha área era más bien evidente la presencia de humedad debida a fenómenos de propagación capilar. Con la finalidad de identificar los materiales de construcción y de evaluar su estado de conservación han sido efectuadas investigaciones científicas cuyos resultados han proporcionado útiles indicaciones para la intervención misma.

резюме

Состояние прогрессирующего разрушения урбинской церкви Святого Духа побудило Управление по историческому, художественному и демоэтноантропологическому наследию области Марке (Урбино) и Архиепископскую курию к программированию операций по реставрации. До реставрации, начавшейся весной 2003 года, фасад был покрыт чёрной коркой, серым налётом и желтоватой плёнкой. Стенное украшение из кирпича снизу до высоты приблизительно трёх метров было подвержено процессу распада, разложения и отпадания кусков; на данном участке достаточно

заметно было присутствие сырости, объясняемое феноменом капиллярного повышения влажности. С целью определения составных материалов и оценки их состояния было проведено научное исследование, результаты которого позволили предоставить полезные для реставрации предписания.