

RECENZE

Il libro di Cristina Sabbioni, Alessandra Bonazza, Nadia Ghedini, Carlo Riontino, Giuseppe Zappia, Orlando Favoni e Giancarlo Gobbi, "Il Palazzo dell'Archiginnasio. Diagnostica del degrado dei materiali lapidei e degli arredi architettonici", è un volume di grande interesse per gli studiosi di architettura e di restauro, in quanto fornisce una serie di dati e di informazioni che possono essere di grande utilità per la diagnosi del degrado dei materiali lapidei e degli arredi architettonici.

CRISTINA SABBIONI - ALESSANDRA BONAZZA - NADIA GHEDINI
CARLO RIONTINO - GIUSEPPE ZAPPIA - ORLANDO FAVONI
GIANCARLO GOBBI

Il Palazzo dell'Archiginnasio

Diagnostica del degrado dei materiali lapidei e degli arredi architettonici

Il libro di Cristina Sabbioni, Alessandra Bonazza, Nadia Ghedini, Carlo Riontino, Giuseppe Zappia, Orlando Favoni e Giancarlo Gobbi, "Il Palazzo dell'Archiginnasio. Diagnostica del degrado dei materiali lapidei e degli arredi architettonici", è un volume di grande interesse per gli studiosi di architettura e di restauro, in quanto fornisce una serie di dati e di informazioni che possono essere di grande utilità per la diagnosi del degrado dei materiali lapidei e degli arredi architettonici.

Compendio

Il libro di Cristina Sabbioni, Alessandra Bonazza, Nadia Ghedini, Carlo Riontino, Giuseppe Zappia, Orlando Favoni e Giancarlo Gobbi, "Il Palazzo dell'Archiginnasio. Diagnostica del degrado dei materiali lapidei e degli arredi architettonici", è un volume di grande interesse per gli studiosi di architettura e di restauro, in quanto fornisce una serie di dati e di informazioni che possono essere di grande utilità per la diagnosi del degrado dei materiali lapidei e degli arredi architettonici.

INDICE

Introduzione	p. 3
Campionamento	p. 3
Metodologie analitiche	p. 8

RISULTATI

PARTE I

Caratterizzazione dei materiali e diagnostica del degrado	p. 10
Aerosol atmosferico depositato sulle superfici	p. 20

PARTE II

Arcata 16, lato est	p. 25
Arcata 17, lato sud	p. 62
Arcata 18, lato sud	p. 66
Arcata 20, lato sud	p. 71
Lesena fra le arcate 5-6, lato nord	p. 75
Lesena fra le arcate 6-7, lato nord	p. 79
Lesena fra le arcate 7-8, lato nord	p. 81
Arcata 8, lato nord	p. 84
Arcata 9, lato nord	p. 87
Lesena fra le arcate 9-10, lato nord	p. 89
Arcata 13, lato est	p. 93

Lavoro svolto dall'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Bologna nell'ambito dei Progetti promossi da Bologna 2000 Città Europea della Cultura.

Introduzione

Al fine di ottenere un quadro esaustivo relativo alle più importanti alterazioni superficiali, che i principali materiali (pietre e malte) utilizzati per le decorazioni parietali del loggiato inferiore dell'Archiginnasio presentano, sono stati prelevati ed analizzati, tramite differenti metodologie analitiche, una serie di campioni, scelti sulla base sia dell'importanza storico-artistica delle decorazioni parietali, sia dello stato di degrado riscontrato.

I dati ottenuti hanno permesso di caratterizzare i materiali e di valutarne il degrado in un ambiente esposto alla deposizione di inquinanti atmosferici.

Sono state inoltre identificate le componenti atmosferiche (gas o aerosol emessi da sorgenti antropiche o naturali) responsabili dei processi di degrado.

Nella Parte I di questa relazione vengono riportati i dati relativi alle differenti tipologie di materiali riscontrati unitamente ad una diagnosi del loro degrado, mentre nella Parte II i risultati sono riferiti alle singole arcate e lesene prese in esame.

La caratterizzazione dei materiali presenti nelle decorazioni parietali e negli elementi strutturali del loggiato inferiore del Palazzo dell'Archiginnasio e la valutazione dello stato di degrado intende fornire dati scientifici che si correlino e supportino sia il progetto *La storia sui muri* coordinato dal dott. Pierangelo Belletini, direttore della Biblioteca Comunale dell'Archiginnasio, dal prof. Gian Paolo Brizzi, dell'Università degli Studi di Bologna, e dal dott. Alessandro Zucchini, dell'Istituto per i Beni Artistici, Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna, sia il progetto di restauro in corso di studio presso il Settore Lavori Pubblici - Studi e Interventi Storico-Monumentali, del Comune di Bologna, coordinato dagli architetti Paolo Nannelli e Manuela Faustini Fustini.

Campionamento

Il campionamento ha riguardato sia i materiali strutturali (pietre e malte) che gli arredi architettonici (intonaci, statue lapidee, stucchi, fregi, etc.) con esclusione delle parti lignee (fig. 1).

La localizzazione e il numero di campioni prelevati sono stati scelti in modo da essere rappresentativi dell'area analizzata e/o dei prodotti di alterazione presenti (Tab. 1).

La quantità di materiale prelevato per ogni campione è stato ridotto al minimo necessario sia per la caratterizzazione del materiale sia per lo studio del degrado presente (Normal 3/80).

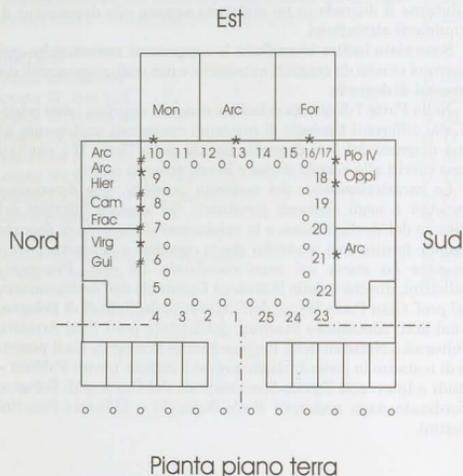


Fig. 1. Pianta del loggiato inferiore del Palazzo dell'Archiginnasio e localizzazione dei campionamenti effettuati (*: Arcata, #: Lesena)

Tab. 1. Descrizione e localizzazione dei campioni prelevati e analizzati

Campione	Localizzazione	Descrizione del materiale	Caratterizzazione
FOR 1	Arcata 16, lato est	Stuccatura della decorazione basale di sinistra, lato sinistro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Malta cementizia su calcarenite
FOR 2	Arcata 16, lato est	Decorazione basale di sinistra, lato sinistro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Calcarenite
FOR 3	Arcata 16, lato est	Decorazione basale di sinistra, lato sinistro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Calcarenite
FOR 4	Arcata 16, lato est	Decorazione basale di sinistra, lato sinistro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Calcarenite
FOR 5	Arcata 16, lato est	Decorazione basale di destra, lato destro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i> :	Calcarenite
FOR 6	Arcata 16, lato est	Decorazione basale di sinistra, lato sinistro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Calcarenite
FOR 7	Arcata 16, lato est	Stuccatura della decorazione basale di destra, lato destro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Malta cementizia su calcarenite
FOR 8	Arcata 16, lato est	Stuccatura della decorazione basale di destra, lato destro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Non determinato
FOR 9	Arcata 16, lato est	Decorazione basale di sinistra, lato sinistro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Calcarenite
FOR 10	Arcata 16, lato est	Stuccatura dello stipe destro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Malta cementizia su arenaria
FOR 11	Arcata 16, lato est	Stuccatura dello stipe destro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Malta cementizia su arenaria
FOR 12	Arcata 16, lato est	Decorazione basale di sinistra, lato sinistro della porta del <i>Cubiculum Iuristarum</i>	Calcarenite
FOR 13	Arcata 16, lato est	Stucco dorato, prelevato da una delle statue dei Dioscuri	Malta di gesso
FOR 14	Arcata 16, lato est	Stucco dorato, prelevato dallo scudo sovrastante la statua di sinistra dei Dioscuri	Malta di gesso

FOR 15	Arcata 16, lato est	Intonaco affrescato, prelevato in corrispondenza della statua sinistra dei Dioscuri	Malta idraulica
FOR 16	Arcata 16, lato est	Intonaco affrescato, prelevato in corrispondenza della statua sinistra dei Dioscuri	Malta idraulica
FOR 17	Arcata 16, lato est	Stucco dorato, prelevato dalla statua sinistra dei Dioscuri	Malta di gesso
FOR 18	Arcata 16, lato est	Stucco dorato, prelevato dalla statua sinistra dei Dioscuri	Malta di gesso
FOR 19	Arcata 16, lato est	Frammento di un raggio del sole sormontante il globo	Malta di gesso
FOR 20	Arcata 16, lato est	Globo nero con iscrizione, colorato ad olio	Malta di calce
FOR 21	Arcata 16, lato est	Frammento prelevato nella volta del soffitto	Non determinato
FOR 22	Arcata 16, lato est	Intonaco affrescato, prelevato in corrispondenza della volta del soffitto	Malta di calce
FOR 30	Arcata 16, lato est	Frammento prelevato all'interno del globo nero con iscrizione	Lavagna
PIO IV 1	Arcata 17, lato sud	Stucco dorato, prelevato dalla statua della Giustizia	Malta di gesso
PIO IV 2	Arcata 17, lato sud	Stucco colorato, prelevato da uno dei blasoni a rilievo sopra la statua	Malta di gesso
OPPI 1	Arcata 18, lato sud	Strato superficiale di intonaco, prelevato a 120 cm da terra	Malta cementizia
OPPI 2	Arcata 18, lato sud	Strato interno di intonaco, sottostante OPPI 1	Malta cementizia
CAR 1	Arcata 20, lato sud	Malta di intonaco della parete sinistra alla porta	Malta di calce
ARC 20A	Arcata 20, lato sud	Strato superficiale di intonaco, prelevato a 150 cm da terra	Malta di calce
ARC 20B	Arcata 20, lato sud	Strato interno di intonaco, sottostante ARC 20A	Malta di calce
GUI 1	Lesena fra le arcate 5-6, lato nord	Corpo della statua angelica di sinistra	Calcare organogeno giallastro
GUI 2	Lesena fra le arcate 5-6, lato nord	Testa della statua angelica di sinistra	Calcare Rosso Verona
GUI 3	Lesena fra le arcate 5-6, lato nord	Mantello della statua angelica di sinistra	Calcare Rosso Verona
GUI 4	Lesena fra le arcate 5-6, lato nord	Ali della statua angelica di sinistra, dipinte ad olio	Terracotta policroma,
GUI 5	Lesena fra le arcate 5-6, lato nord	Ali della statua angelica di destra, dipinte ad olio	Terracotta policroma
GUI 6	Lesena fra le arcate 5-6, lato nord	Busto di Guicciardini, dipinto a tempera	Malta di gesso

FRAC 1	Lesena fra l'arcata 6-7, lato nord	Iscrizione su stucco, dipinta a tempera	Malta di gesso
FRAC 2	Lesena fra l'arcata 6-7, lato nord	Frammento lapideo del busto onorario	Calcare organogeno giallastro
HIER 2	Lesena fra le arcate 7-8, lato nord	Frammento lapideo della lesena	Calcarenite
ARC 5	Lesena fra le arcate 7-8, lato nord	Frammento di terracotta della decorazione inferiore a rilievo della cornice	Terracotta
CAM 1	Arcata 8, lato nord	Stuccatura della cornice in arenaria dell'iscrizione	Malta calce
ARC 4	Arcata 9, lato nord	Stucco dell'emblematica inferiore della cornice	Malta di gesso
ARC 6	Arcata 9, lato nord	Efflorescenze saline sulle decorazioni affrescate un tempo presenti sulla parete	Efflorescenze saline
ARC 3	Lesena fra l'arcata 9-10, lato nord	Frammento di malta della decorazione plastica inferiore dell'iscrizione, decorata a tempera	Malta di gesso e calce
ARC 1	Arcata 13, lato est	Stuccatura dello stipite calcarenico della porta	Malta di calce e cemento
ARC 2	Arcata 13, lato est	Frammento lapideo dello stipite della porta	Calcarenite

Metodologie analitiche

Lo studio dei campioni è stato condotto mediante diverse metodologie analitiche che hanno permesso di caratterizzare qualitativamente e quantitativamente non solo gli strati degradati, ma anche il materiale stesso.

Osservazioni macroscopiche e in microscopia ottica (stereomicroscopio) hanno fornito precise informazioni circa la struttura dei singoli campioni, risultando molto utili nella scelta delle analisi da effettuare.

Contributo preponderante è stato dato dallo studio petrografico al microscopio polarizzatore in sezione sottile, particolarmente adatto per l'osservazione di componenti cristallini o non cristallini. Da tali osservazioni sono state dedotte importanti informazioni sulla composizione mineralogica del materiale, sui rapporti tessiturati presenti, sulle dimensioni dei granuli, sulla presenza di pori e microfrazture, etc.

Le analisi diffrattometriche a raggi X (XRD), integrazione alle osservazioni microscopiche, hanno fornito informazioni semiquantitative, rilevando comunque fasi cristalline presenti almeno in qualche unità per cento (3-4%) nel campione finemente polverizzato. Le efflorescenze campionate in molti punti degradati del loggiato inferiore sono state studiate tramite tale metodologia analitica.

La quantificazione del gesso e dei carbonati presenti nei campioni è stata ottenuta mediante analisi termica differenziale (DTA) e gravimetrica (TGA) condotte simultaneamente in aria, permettendo inoltre di stimare il contenuto di ossalati di calcio e della rimanente frazione organica, nonché di individuare l'eventuale presenza di prodotti consolidanti e/o protettivi utilizzati in precedenti restauri.

Osservazioni in microscopia elettronica (SEM) abbinate a microanalisi EDX hanno consentito di osservare nel dettaglio (scala micrometrica) la morfologia superficiale degli strati di degrado e di identificare in maniera pressoché puntuale i singoli cristalli o le singole particelle di derivazione atmosferica individuate.

Nei campioni in cui è stato possibile effettuare un prelievo stratigrafico e in due campioni rappresentativi di arenaria e malta di gesso, due tipologie di materiali fra le più ricorrenti nel loggiato inferiore del Palazzo dell'Archiginnasio, sono state inoltre misurate le concentrazioni anioniche dei sali solubili mediante cromatografia ionica (IC) ed i dati ottenuti sono riportati in Tab. 2.

Tab. 2. Concentrazioni anioniche (mg/g) misurate negli strati superficiali di campioni prelevati nel loggiato inferiore.

Campione	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	HPO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Br ⁻	F ⁻	CHO ₂ ⁻	C ₂ H ₃ O ₂ ⁻	C ₂ O ₄ ²⁻
FOR 3	29011	6306	2	2	216	1	5	179	272	138
FOR 13	38466	354	-	3	82	2	3	215	465	173
FOR 20	2173	140	2	5	55	1	3	288	881	67
OPPI 1	6533	2854	2	7	140	3	5	10	19	191
OPPI 2	498	6936	2	2	115	2	2	120	166	86
ARC 20A	8310	3452	2	9	124	2	2	18	32	154
ARC 20B	1217	9531	3	3	133	3	3	98	124	98

Risultati

Parte I

Caratterizzazione dei materiali e diagnostica del degrado

Materiali litoidi

Le analisi effettuate hanno consentito di individuare nel loggiato inferiore dell'Archiginnasio due principali tipologie di materiale lapideo ad elevata porosità: un'arenaria di colore grigio piombo ed una calcarenite giallastra. Entrambi i litotipi presentano comunque analoghi prodotti di degrado superficiale.

In alcuni casi, inoltre, sono stati individuati materiali più compatti e meno porosi dei precedenti, identificati quali calcari organogeni di diversa tonalità cromatica, costituenti alcuni elementi decorativi parietali. Per questi litotipi sono state riscontrate scarse tracce di alterazione superficiale, principalmente riferibili a patine di deposito atmosferico incoerente.

Arenaria

I campioni analizzati riferibili a questa tipologia di materiale, di colore grigiastro, presentano una struttura clastica e una porosità piuttosto elevata, con cemento quarzoso-calcitico generalmente fine, raramente di tipo spatico. Granuli di quarzo con bordi subangolosi, arrotondati ed abbondanti feldspati potassici e plagioclasti costituiscono l'aggregato, cui si associano, disomogeneamente distribuiti, cristalli anedrali di glauconite. Si osservano inoltre minerali opachi ferrosi.

Lo strato superficiale dei campioni, a diretto contatto con l'atmosfera, si presenta decoeso, con porosità accentuata. In tali zone, la causa primaria dell'alterazione è dovuta alla dissoluzione del materiale carbonatico con conseguente perdita di coesione dell'aggregato. Agglomerati microcristallini di gesso hanno sostituito



Fig. 2. Esempio di strato superficiale degradato, con formazione di crosta nera su un substrato calcarenitico.

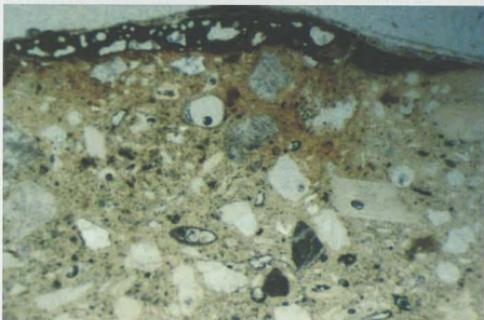


Fig. 3. Esempio di malta di gesso. All'interno della matrice gessosa microcristallina sono presenti numerosi inerti silicatici e carbonatici, entrambi a granulometria grossolana di tipo seriato. In superficie è identificabile lo strato di pellicola pittorica.

tuito la preesistente matrice carbonatica, per effetto della interazione fra i prodotti della deposizione atmosferica ed il materiale originale. In molti casi, inglobate nello strato degradato di gesso, sono state individuate numerose particelle carboniose di derivazione atmosferica, dal caratteristico aspetto spugnoso (fig. 2).

Il principale processo di degrado risulta essere la solfatazione, che avviene per reazione fra i composti dello zolfo di origine atmosferica e il carbonato di calcio (CaCO_3) del cemento.

Durante la sua formazione il gesso ingloba anche tutti i componenti della deposizione atmosferica; fra questi, particolare importanza assumono le particelle carboniose emesse dai processi di combustione, che giocano un ruolo importante nel processo di degrado. Le particelle carboniose sono in primo luogo responsabili dell'annerimento delle superfici; esse inoltre contribuiscono al processo di solfatazione del carbonato di calcio, sia perché contengono zolfo, sia perché contengono piccole quantità di metalli pesanti (ferro, nichel, vanadio, rame, ecc.), che catalizzano i processi di degrado. Inoltre, a causa della loro elevata superficie specifica ($10\text{-}100\text{ m}^2/\text{g}$) agiscono esse stesse come supporto catalitico per le medesime reazioni di degrado.

Sono state infine rilevate tracce di trattamenti conservativi pregressi, quali ad esempio resine isotrope consolidanti all'interno della matrice legante.

Calcarenite

I campioni, di colore giallastro, risultano generalmente costituiti da un materiale coerente a tessitura clastica e granulometria medio-fine, con granuli da angolosi ad arrotondati, e cemento da spatico a microspatico. La colorazione giallastra omogenea è dovuta alla presenza uniforme di materiale silico-clastico ed ossidi di ferro contenuti nel cemento. Considerando la frazione silico-clastica ed il numero di granuli carbonatici, il materiale può essere definito una calcarenite, con valori di cemento calcitico intorno al 25-30% ed un rapporto feldspati/plagioclasti inferiore rispetto al litotipo arenaceo precedentemente descritto.

La calcarenite risulta mineralogicamente costituita da cristal-

li di quarzo, feldspato alcalino, plagioclasio, calcite, biotite, muscovite, frammenti di rocce carbonatiche e metamorfiche e resti ricristallizzati di bioclasti. Questa tipologia litologica è riferibile alla *Arenaria di Varignana*.

Il quarzo si presenta sia in cristalli isolati che in numerosi aggregati policristallini. I singoli cristalli, con contorni subarrotondati, hanno estinzione ondulata per effetto delle tensioni cui sono stati sottoposti. Negli aggregati policristallini, invece, i contatti fra i granuli quarzosi sono saturati ed i granuli disomogeneamente allungati secondo una direzione preferenziale. Sono stati inoltre osservati abbondanti feldspati alcalini e plagioclasti subangolosi (in molti casi alterati), ed una discreta presenza di cristalli lamellari subparalleli di muscovite e biotite.

La calcite si presenta con granuli inequigranulari, sfaldature romboedriche subparallele alla geminazione polisintetica, indicanti una deformazione para e postcristallina.

I cristalli calcitici a granulometria inferiore costituiscono il cemento carbonatico.

Frammenti di rocce metamorfiche tipo *slates fillades* e di rocce carbonatiche sono stati inoltre osservati.

In analogia con le arenarie anche le calcarenite presentano fenomeni di degrado con formazione di gesso sia all'interno dei pori del materiale, che in superficie, con formazione di croste nere.

Anche in questo caso sono state osservate tracce di pregressi trattamenti, sia di pulitura (osservabili soprattutto sui cristalli carbonatici grossolani, ricoperti da una 'patina' di materiale di colore grigio-verde), sia consolidanti-protettivi, nelle porzioni più superficiali dei campioni, in cui, accanto a microcristalli di calcite è presente una matrice legante isotropa attribuibile all'utilizzo di idrorepellenti e/o consolidanti. Tali osservazioni sono state confermate dalle analisi termoponderali, grazie alla presenza di un picco esotermico intorno ai 350°C .

Calcari organogeni rosso-giallastri

Alcune decorazioni parietali sono costituite da materiale litoido carbonatico compatto, di colore variabile dal giallo al rosso. Si

tratta di un calcare contenente numerosi noduli organogeni carbonatici compatti ed intercalazioni marnose, riferibile commercialmente al *Calcare ammonitico veronese* (o *Rosso Verona*), in quanto caratterizzato da abbondanti ed evidenti resti di ammoniti di forma spirale camerata, la cui presenza è associata, in alcuni casi, ad un altro litotipo calcareo compatto, di aspetto variegato, differente per composizione e gradazione cromatica (decisamente più gialastro), attribuibile commercialmente al *Giallo di Torri del Benaco*.

Sono stati osservati strati di particolato atmosferico (di spessore a volte superiore ai due millimetri) omogeneamente distribuiti, e, solo in aree molto limitate, strati di degrado superficiale dovuti a formazione di croste nere.

Malte

Per quanto riguarda invece i materiali leganti, sono state rilevate differenti tipologie di malte e, in particolare: malte di gesso, malte di calce aerea e malte idrauliche.

Le *malte di gesso* sono risultate essere il principale costituente delle decorazioni plastiche a rilievo, quali statue (ricoperte da una pellicola pittorica dorata) e sono costituite da gesso microcristallino, con inerti sabbiosi e di tipo carbonatico (fig. 3). Quarzo e plagioclasti, con associati feldspati di tipo potassico, rappresentano infatti la frazione silicatica dell'inerte; cristalli di calcite subeudrali, distribuiti in maniera disomogenea nei campioni esaminati rappresentano invece la frazione carbonatica. Sono inoltre presenti numerose particelle carboniose dovute alla presenza di cenere utilizzata come aggregante.

I risultati delle analisi termiche effettuate mostrano che il contenuto di gesso varia intorno al 50%, mentre quello in calcite oscilla intorno al 10%. Non trascurabile la presenza di sostanza organica, con tenori variabili dal 5 al 10%, probabilmente da mettere in relazione a trattamenti consolidanti e/o protettivi effettuati in passato. Il picco esotermico a 352° C potrebbe essere infatti attribuito all'utilizzo di Primal.

Lo strato superficiale di finitura colorata è risultato disconti-



Fig. 4. Esempio di malta di calce con presenza di pellicola pittorica superficiale.

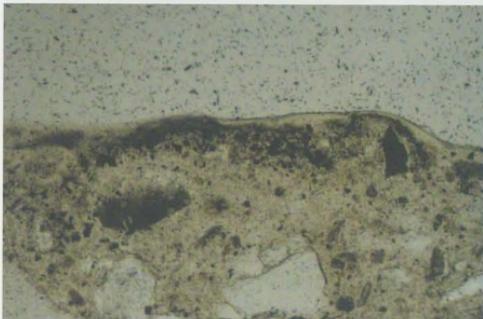


Fig. 5. Esempio di malta cementizia con strato superficiale di degrado costituito da gesso micristallino e particelle carboniose.

nuo, mancante completamente in molti casi. Evidenti segni di stuccature successive sono stati infine osservati (campione FOR 13, statua del Dioscuro del monumento ai fratelli Fornasari).

Le analisi hanno inoltre rilevato strati di degrado superficiale con formazione di croste nere, che presentano notevoli analogie con quelle osservate sui materiali calcarenitici.

Le *malte di calce* risultano mediamente composte da un impasto di colore grigio chiaro, con inerti di colore variabile dal giallo-bruno al grigio.

I clasti, discretamente classati, dispersi omogeneamente nella matrice carbonatica, hanno dimensioni riconducibili ad una arenaria medio-fine, con contorni da arrotondati a subangolosi.

L'addensamento dà un rapporto clasti/matrice medio-alto (45-50%).

I campioni non presentano fenomeni fessurativi importanti.

Il legante carbonatico ha tessitura omogenea, con cristalli di dimensioni micritiche (<4 micron). Microgranuli di quarzo, feldspati e materiale terrigeno rappresentano la frazione silicatica dell'aggregato (fig. 4).

Nello strato superficiale, a contatto con l'atmosfera, i campioni sono decoesionati e, talvolta, la matrice carbonatica risulta sostituita da gesso microcristallino per fenomeni di solfatazione, dovuti alla reazione fra i prodotti della deposizione atmosferica ed il materiale originale. Quantità notevoli di particelle di derivazione atmosferica (prevalentemente a matrice carboniosa, elevata superficie specifica e contenuto in metalli pesanti) sono state osservate in microscopia ottica ed elettronica. Tali particelle risultano inglobate nello strato superficiale di degrado e, in molti casi, sono state osservate anche negli strati interni dei campioni. Tali particelle, oltre ad essere responsabili della colorazione nera dello strato degradato, giocano un ruolo fondamentale nel processo di solfatazione, agendo da catalizzatori in tale processo di trasformazione del carbonato di calcio in gesso.

Le *malte idrauliche* e, in particolare le *malte cementizie*, sono state ampiamente usate per eseguire stuccature ed integrazioni di parti mancanti negli intonaci, affreschi e nelle decorazioni a

rilievo del loggiato inferiore del Palazzo dell'Archignasio.

In particolare, i campioni di malta cementizia risultano composti da un impasto di colore grigio, con inerti di colore variabile dal giallo al grigio.

L'aggregato risulta costituito da clasti, disomogeneamente distribuiti nella matrice, con granulometria estremamente variabile, da millimetrica a dimensioni riconducibili ad una arenaria medio-fine, e con contorni da arrotondati a subangolosi.

L'addensamento dà un rapporto clasti/matrice alto (60%).

Il campione presenta porosità marcata e fenomeni fessurativi importanti.

Il legante idraulico, a granulometria micritica, mostra una presenza prevalente di cristalli di alite rispetto a quelli di belite, consentendo in tal modo di identificare la malta quale malta cementizia.

Inoltre, sono stati identificati aggregati costituiti da cristalli di calcite fortemente alterati, clasti carbonatici micritici (contenenti vene calcitiche e microfossili), granuli di quarzo policristallino,

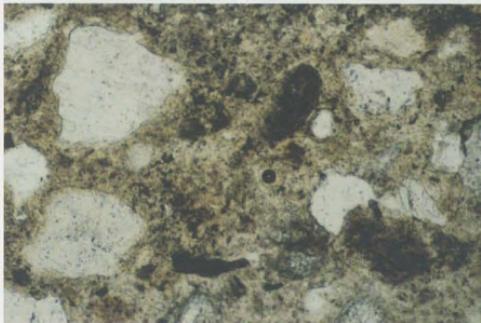


Fig. 6. Esempio di malta cementizia su substrato di arenaria. Nell'interfaccia tra i due materiali è visibile uno strato di gesso e particelle carboniose che indicano come l'intervento di restauro sia stato effettuato senza preventiva pulitura della superficie del materiale litoide.

feldspati alcalini, plagioclasti alterati e materiale terrigeno argiloso. In alcuni casi i cristalli di quarzo presentano inclusioni di carbonato di calcio, in probabile sostituzione del calcare da parte della silice.

Resti di microrganismi marini ricristallizzati sono stati inoltre osservati.

In alcuni casi è stato rilevato uno strato superficiale di degrado, che risulta costituito da una matrice gessosa microcristallina contenente particelle carboniose isotrope, dovute alla combustione incompleta di combustibili fossili (fig. 5).

Inoltre, nell'interfaccia fra lo strato di malta cementizia ed il substrato è stato in alcuni casi identificato uno strato di gesso e particelle carboniose, che indicano come l'applicazione della malta cementizia sia stata effettuata senza preventiva pulitura del substrato (fig. 6).

Nei casi in cui la malta cementizia è stata utilizzata quale intonaco superficiale (come ad esempio nel monumento a Sanuti Pellicani, arcata 18-lato sud), le analisi in diffrazione a raggi X effettuate sullo strato superficiale dell'intonaco (OPPI 1) confermano la presenza di quantità notevoli di gesso (quantificato dalle analisi termoponderali intorno al 10%), insieme a picchi di diffrazione dovuti alla carica inerte della malta. Nello strato interno della parete (OPPI 2), prelevato a circa 4-5 cm di profondità, la concentrazione di gesso diminuisce notevolmente, riducendosi a 0,7%, ad indicare che i processi di solfatazione del materiale si limitano allo strato superficiale.

Terrecotte

I campioni sono generalmente omogenei, di colore rosso chiaro-arancio. Presenti inclusioni di colore più scuro. La porosità chiusa è piuttosto bassa, con pori irregolari di dimensioni generalmente submillimetriche.

La frazione amorfa, omogeneamente distribuita, presenta una colorazione rossastra dovuta all'abbondanza di ossidi di ferro, responsabile poi del colore d'insieme del campione.

Numerose plaghe di ricristallizzazione calcifica (di tipo micro) sono concentrate all'interno dei pori del materiale. In corri-

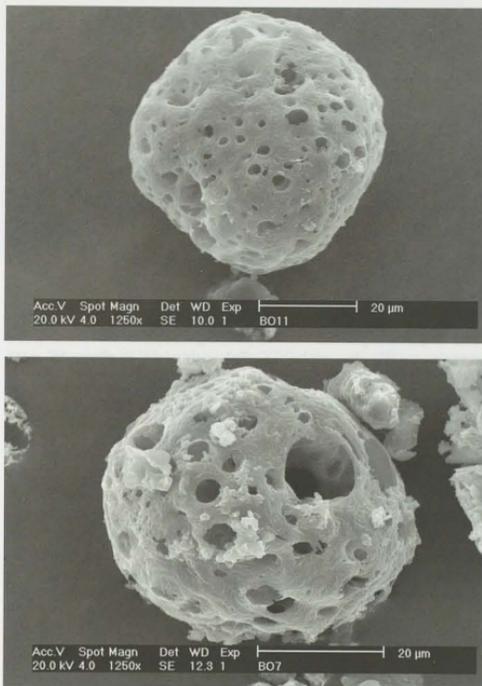


Fig. 7. Micrografie SEM relative a particelle carboniose, ad elevata porosità e superficie specifica (10-100 m²/g), contenenti piccole quantità di metalli pesanti (quali ferro, nichel, vanadio, rame, ecc.), emesse in atmosfera da specifiche sorgenti inquinanti quali riscaldamento domestico a nafta o gasolio

spondenza di tali pori, si possono altresì osservare fenomeni di degrado attribuiti alla deposizione atmosferica di gas ed aerosol, responsabili del processo di solfatazione, che trasforma il materiale carbonatico presente in solfato di calcio (gesso).

Presenti inerti sabbiosi fini, prevalentemente di tipo quarzoso feldspatico, utilizzati sia come smagrante sia per conferire un'elevata resistenza e compattezza alla struttura.

Data la presenza non trascurabile di minerali di neoformazione (i.e. pirosseni, essenzialmente augitici) e, soprattutto, per la presenza di alcune fasi silicatiche di tipo micaceo (muscovitico e biotitico) non collassate durante il processo di cottura, è presumibile ipotizzare una temperatura di cottura superiore agli 800° C. I prodotti di neoformazione sono comunque distribuiti disomogeneamente all'interno del campione e si presentano con morfologia cristallina di tipo microtabulare. In alcuni casi sono state osservate fasi mineralogiche silicatiche (ghelenite) tipiche di temperature di cottura più elevata di quella generalmente ricevuta dal campione nella sua globalità. Tale minerale si presenta sotto forma di cristalli aciculari, comunque di difficile risoluzione al solo microscopio ottico.

Superficialmente, è presente una patina millimetrica di alterazione, di colore nerastro, dovuta all'interazione fra i prodotti della deposizione atmosferica ed il materiale sottostante.

In alcuni casi sono stati infine osservati casi di integrazioni di parti danneggiate o mancanti, effettuate con malta di calce e gesso, ricoperta da una pellicola pittorica, al fine di un raggiungimento cromatico omogeneo con il materiale originale.

Aerosol atmosferico depositato sulle superfici

In molti casi le superfici dei materiali costituenti le decorazioni parietali del loggiato inferiore dell'Archiginnasio risultano ricoperte da uno strato di particelle, di composizione e dimensioni diverse, che appare assolutamente incoerente con il materiale sottostante.

Lo studio delle zone caratterizzate dalla presenza di tali depositi di origine atmosferica ha consentito di identificare tre categorie di particelle: nella prima risultano incluse le particelle solle-



Fig. 8. Micrografia SEM relativa a particelle lisce allumosilicatiche, parzialmente coperte da microcristalli di soil dust (a composizione prevalentemente silicatica e carbonatica), emesse in atmosfera da centrali termoelettriche a carbone. Generalmente sono trasparenti, con colorazioni variabili fra il bruno, il rosso ed il verde pallido.

vate dal suolo o dalle zone limitrofe al monumento (strade, palazzi, o monumenti adiacenti). Nella seconda categoria sono incluse le particelle dovute ad inquinamento industriale ed urbano, con particolare riguardo alle emissioni caratteristiche dei processi di combustione. Infine, le particelle di origine biologica rappresentano l'ultima tipologia di aerosol depositato sulle superfici.

Le particelle appartenenti al primo gruppo sono costituite da quarzo, feldspati, minerali micaceo argillosi, calcite e talvolta dolomite. Costituiscono depositi («soil dust») assolutamente incoerenti, al di sotto dei quali il materiale risulta inalterato, ovvero non avvengono fenomeni di dissoluzione del carbonato di calcio di cui il materiale stesso può essere costituito, né trasformazione in gesso.

Le particelle del secondo gruppo presentano una morfologia sferica e vengono emesse in atmosfera da diverse sorgenti inqui-

nanti: riscaldamento domestico a nafta o gasolio, centrali termoelettriche ad olio o carbone oppure traffico veicolare. Sulle superfici delle decorazioni plastiche del loggiato inferiore dell'Archiginnasio sono state identificate particelle porose a matrice carboniosa amorfa (fig. 7), particelle lisce allumosilicatiche (fig. 8) e particelle metalliche composte principalmente da ferro (fig. 9).

Le particelle di questo gruppo, ed in particolare quelle carboniose ad elevata porosità, oltre a produrre un danno estetico (essendo responsabili del colore nero degli strati di degrado entro i quali vengono inglobate) svolgono anche un ruolo attivo nella formazione della crosta di gesso, agendo come catalizzatori del processo di ossidazione dell' SO_2 ad acido solforico sulla superficie stessa del materiale.

Infine sono state identificate particelle di origine biologica come mostrato in fig. 10.

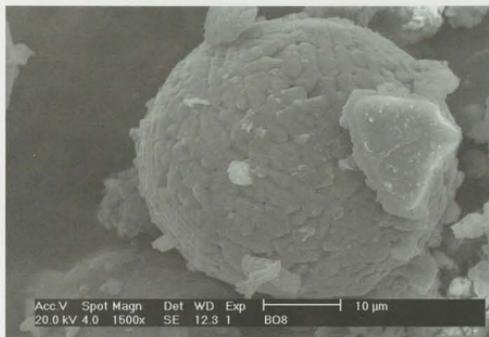


Fig. 9. Micrografie SEM relative a particelle metalliche, dall'aspetto rugoso e composte principalmente da ferro. Vengono emesse in atmosfera da centrali ad olio o carbone.

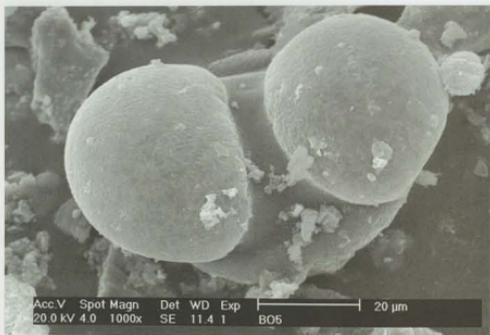
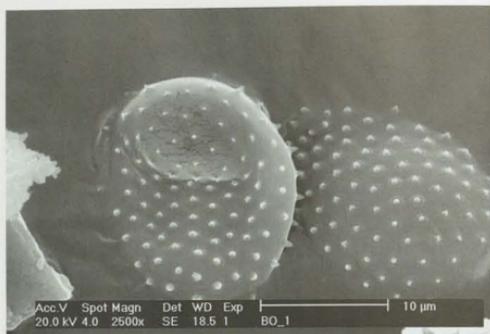


Fig. 10. Micrografie SEM relative a particelle biologiche.

Parte II

Arcata 16, lato est

Monumento ai fratelli Fornasari

Le analisi dei campioni prelevati sul monumento dei fratelli Fornasari, la cui localizzazione è riportata in fig. 11, hanno permesso di individuare diverse tipologie di materiali e di studiarne il degrado.

Materiali lapidei

Le analisi effettuate su numerosi campioni di materiale lapideo campionati sullo stipite e sulle decorazioni laterali della porta del *Cubiculum Iuristarum* (fig. 12-14) hanno evidenziato la presenza di due litotipi caratteristici, che risultano essere rispettivamente: un'arenaria di colore grigio piombo ed una calcarenite giallastra. Entrambi presentano processi di degrado relativi a fenomeni di polverizzazione e formazione di croste nere

Le analisi effettuate in diffrattometria a raggi X (XRD) hanno consentito di caratterizzare mineralogicamente i due litotipi. In particolare l'arenaria risulta costituita da: quarzo, calcite, plagioclasti e feldspati (fig. 15), mentre la calcarenite è prevalentemente costituita da calcite, quarzo e plagioclasti (fig. 16). La struttura dei due litotipi è ben evidenziata dalle analisi in sezione sottile: l'arenaria presenta una struttura clastica, con granuli discretamente arrotondati di quarzo, feldspati, plagioclasti (di tipo albitico), calcite, frammenti di roccia carbonatica e strutture biogeniche ricristallizzate (bioclasti), miche e materiale terrigeno fine; lo spazio interstiziale è occupato da cemento quarzoso-calcitico, generalmente fine (fig. 17). La calcarenite differisce dall'arenaria per un contenuto più elevato sia di cemento calcitico (con valori intorno al 25-30%), sia di materiale carbonatico in generale, nonché per un rapporto inferiore feldspati/plagioclasti (fig. 18). Questa tipologia litologica è riferibile alla *Arenaria di Varignana*.

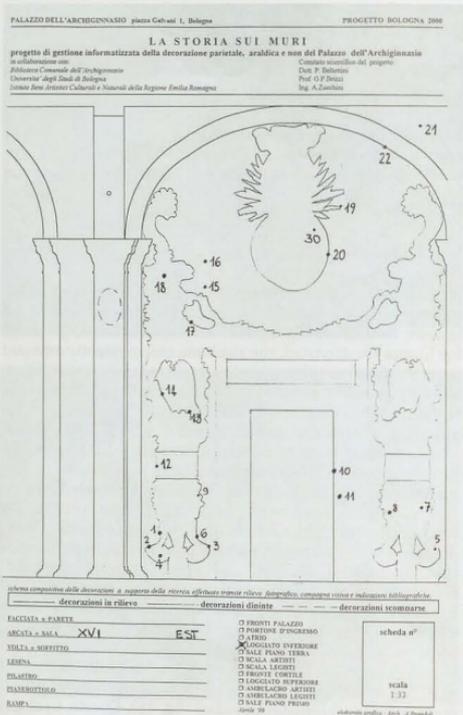


Fig. 11. Punti di prelievo dei campioni analizzati sul monumento ai fratelli Fornasari



Fig. 12. Particolare della decorazione a lato della porta del Cubiculum Iuristarum.



Fig. 13. Stipite della porta del *Cubiculum Iuristarum*.



Fig. 14. Porta del *Cubiculum Iuristarum* con evidenti fenomeni di alterazione superficiale.

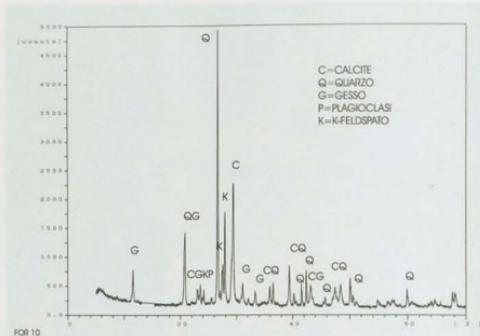


Fig. 15. Diffratogramma a raggi X di un campione (FOR 10) di arenaria.

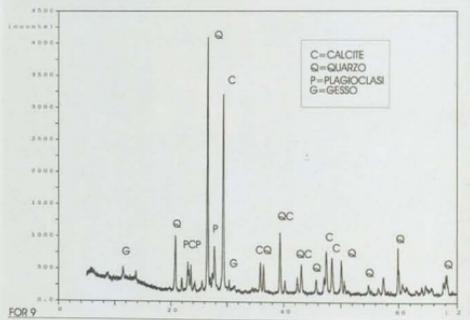


Fig. 16. Diffratogramma a raggi X di un campione (FOR 9) di calcarenite.

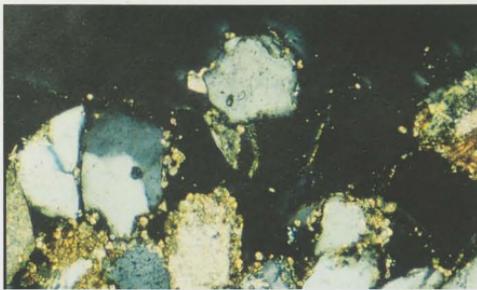


Fig. 17. Campione di arenaria (FOR 10), a struttura clastica, nel quale lo spazio interstiziale fra i granuli di calcite, quarzo e feldspato è costituito da cemento quarzoso-carbonatico. Abbondante presenza di materiale terrigeno (N#, 150X).

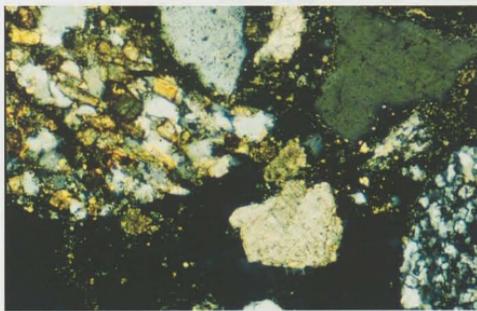


Fig. 18. Campione di calcarenite (FOR 9), a struttura clastica, nel quale lo spazio interstiziale fra i granuli di calcite, quarzo, feldspato e plagioclasì è costituito prevalentemente da cemento carbonatico (di tipo spatico), talvolta argilloso. Discreta presenza di ossidi di ferro e materiale terrigeno (N#, 150X).

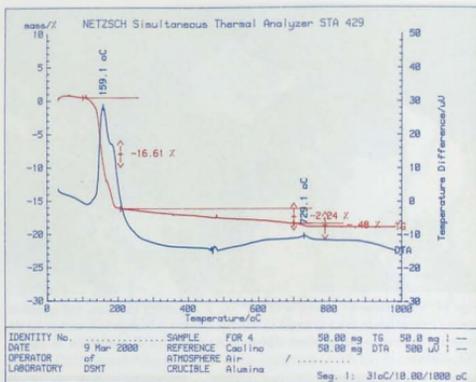


Fig. 19. Analisi termoponderale di un campione superficiale degradato di calcarenite, nel quale il contenuto di gesso e di carbonati è stato quantificato rispettivamente in 79% e 5%.

Lo strato superficiale di degrado risulta invece costituito da gesso (come mostrano i diffrattogrammi di fig. 15 e 16): le analisi termoponderali effettuate su di un campione (FOR 4), hanno mostrato concentrazioni di gesso pari al 79% (fig. 19).

Le analisi in microscopia ottica (fig. 20-22) ed elettronica (fig. 23) hanno inoltre confermato come la superficie degradata dei campioni sia prevalentemente costituita da agglomerati microcristallini di gesso. Questi risultati evidenziando come l'arenaria e la calcarenite del monumento sono soggette ad un intenso processo di solfatazione, cioè alla trasformazione del carbonato di calcio (CaCO_3) in gesso a causa della deposizione di anidride solforosa (SO_2) e di aerosol contenente solfato, caratteristici inquinanti emessi dalla combustione di combustibili contenenti zolfo.

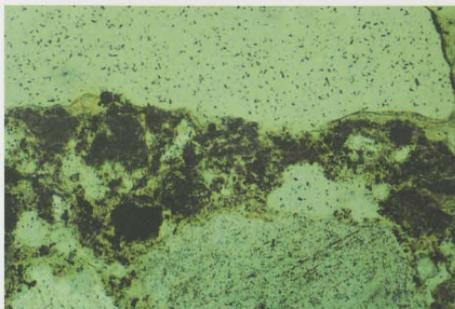


Fig. 20. Particolare di un campione di arenaria (FOR 10) la cui superficie degradata, a diretto contatto con l'atmosfera, risulta costituita da una matrice gessosa microcristallina decosa, che ingloba sia inerti silicatici sia, soprattutto, numerose particelle carboniose dovute alla deposizione di aerosol atmosferico e responsabili della colorazione nerastra del campione (N//, 150X).

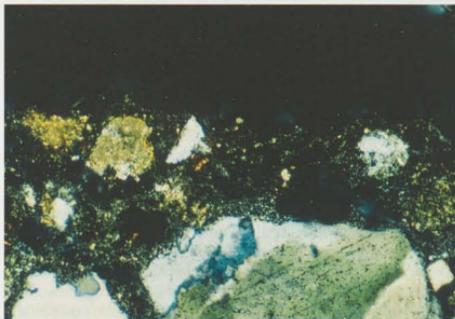


Fig. 21. Stessa micrografia precedente, scattata a Nicols incrociati (N#, 150X).



Fig. 22. Particolare della matrice carbonatica di un campione calcarenitico (FOR 2), completamente trasformata in gesso microcristallino per effetto del processo di solfatazione (N#, 150X).

In molti casi, inglobate nello strato degradato di gesso, sono state individuate numerose particelle carboniose di derivazione atmosferica, dal caratteristico aspetto spugnoso (fig. 23 d). La loro composizione elementare, identificata mediante microanalisi EDX, mette in evidenza la presenza di traccianti tipici (S, Fe, V e Ti). Queste particelle, a matrice carboniosa, vengono emesse in atmosfera da specifiche sorgenti inquinanti, quali ad esempio impianti di riscaldamento domestico, centrali di potenza, ecc. Le particelle carboniose depositate sulle superfici lapidee, favoriscono con il loro contenuto in metalli pesanti l'ossidazione dell'anidride solforosa e quindi il processo di solfatazione.

Tracce di precedenti trattamenti di pulitura, riconducibili all'utilizzo di soluzioni a base di carbonato di sodio e/o ammonio sono state osservate nel campione FOR 9 (fig. 24), nel quale i cristalli di carbonato a granulometria grossolana presentano un'alterazione superficiale caratteristica di tali trattamenti.

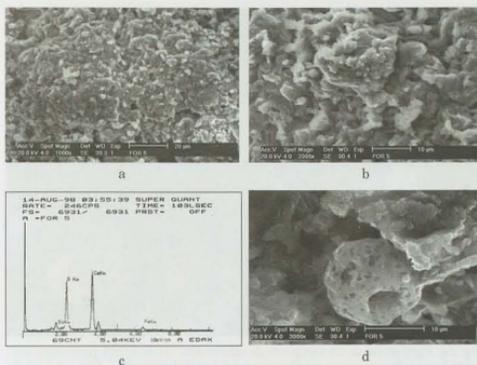


Fig. 23. Micrografie SEM di uno strato superficiale degradato di un campione di calcarenite (FOR 5), in cui è possibile osservare: a) e b) agglomerati a tendenza globulare di microcristalli di gesso e c) relativa microanalisi EDX; d) particella carboniosa inglobata nella matrice gessosa.

Le analisi in cromatografia ionica, effettuate per quantificare i sali solubili presenti negli strati di degrado (riportate in tabella 2) hanno evidenziato elevate quantità di ione solfato nei campioni esaminati. In particolare, l'analisi eseguita sullo strato superficiale di un campione di calcarenite (FOR 3), come evidenziato nella fig. 25, ha mostrato la preminente presenza di SO_4^{2-} (29011 mg/g), confermando ulteriormente come la solfatazione sia il principale processo di danno riscontrato. I nitrati rilevati, presenti anch'essi in quantità rilevanti, sono dovuti, come per i solfati, ad inquinamento atmosferico ed in particolare attribuibili alle emissioni del traffico veicolare a benzina. Le loro più basse concentrazioni rispetto a quelle dei solfati sono dovute sia alla minore reattività che gli ossidi di azoto hanno verso il carbonato di calcio, sia dal fatto che i nitrati sono estremamente solubili.



Fig. 24. Particolare di un campione di calcarenite (FOR 9) nel quale sono evidenti i trattamenti pregressi di pulitura subiti dal materiale. I grossi cristalli di carbonato di calcio (al centro della micrografia) risultano alterati da un fine graticcio che ne oblitera le caratteristiche morfologiche superficiali originarie (N#, 150X).

Le analisi in cromatografia ionica hanno infine rilevato la presenza di anioni organici, quali formiato (CHO_2^-), acetato ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$) ed ossalato ($\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$). Gli acetati nelle patine di degrado sono generalmente un componente primario dell'aerosol antropico. La loro produzione è infatti legata alle emissioni del traffico veicolare a benzina. I formiati e gli ossalati invece possono essere sia di origine antropica che biologica.

Malte

Per quanto riguarda invece i materiali leganti, sono state rilevate differenti tipologie di malte e, in particolare: malte di gesso, malte di calce aerea, malte cementizie e malte idrauliche.

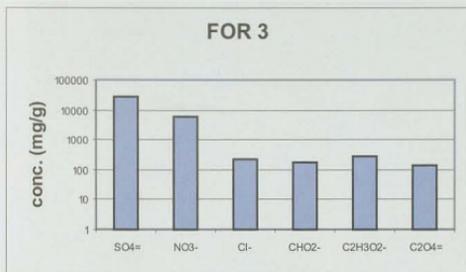


Fig. 25. Concentrazioni anioniche (mg/g) in fase solubile misurate tramite cromatografia ionica.

Le malte di gesso sono state rilevate essere il principale costituente delle decorazioni plastiche a rilievo, i.e. statue (fig. 26-27), la cui superficie è disomogeneamente ricoperta da evidenti depositi di aerosol atmosferico.

Le analisi effettuate hanno mostrato come tali malte siano mineralogicamente costituite da gesso, quarzo e calcite. Il gesso costituisce la frazione legante, di tipo microcristallino, e rappresenta circa il 50% del campione come rilevato dalle analisi termogravimetriche (fig. 19). La frazione inerte è invece costituita da cristalli di quarzo e di calcite.

Le analisi termiche hanno inoltre evidenziato tracce di trattamenti consolidanti e protettivi. Il picco esotermico intorno ai 350°C di fig. 28 è infatti riferibile all'utilizzo di resine di tipo Primal.

Le analisi in microscopia ottica hanno confermato la presenza di tali trattamenti come evidenziato dalle fig. 29 e 30 nelle quali sono riconoscibili:

- gli aggregati, quali quarzo mono e policristallino, e calcite
- la matrice gessosa microcristallina



Fig. 26. Particolare del monumento ai fratelli Fornasari.



Fig. 27. Particolare del monumento ai fratelli Fornasari.

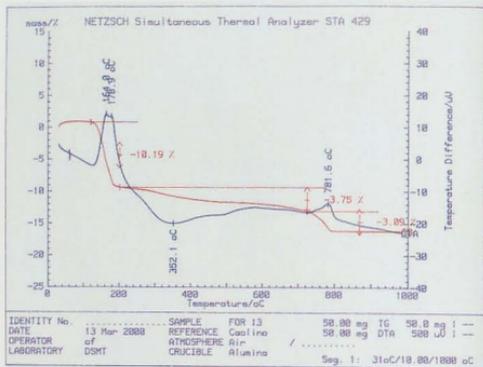


Fig. 28. Analisi termoponderale di un campione di malta di gesso. Il picco esotermico intorno a 350° C è riferibile alla presenza di resine tipo Primal.

- c) particelle carboniose dovute all'utilizzo di cenere come aggregato
- d) la resina isotropa negli spazi intergranulari della tessitura gessosa.

Le analisi ottiche hanno inoltre rilevato strati di degrado superficiale con formazione di croste nere, che presentano notevoli analogie con quelle osservate sui materiali calcarenitici (fig. 31 a e b).

Infine è stato possibile evidenziare due strati sovrapposti di pellicola pittorica applicata a tempera, indice di rifacimenti della decorazione pittorica (fig. 32).

Sui campioni di croste nere, sono state eseguite inoltre analisi in microscopia elettronica (SEM), che hanno evidenziato come agglomerati subglobulari e cristalli lamellari di gesso di neoformazione (fig. 33 a-b) costituiscono la matrice dello strato degradato,

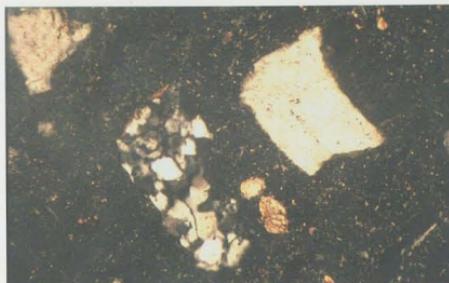
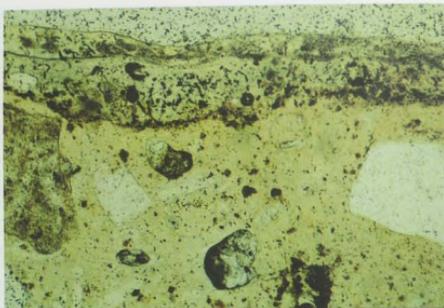


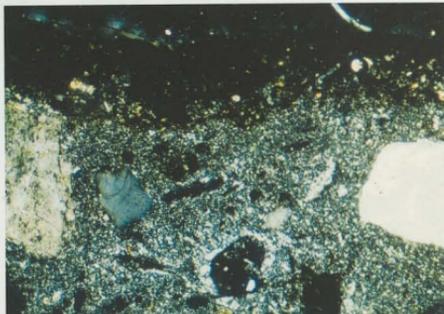
Fig. 29. Particolare di un campione di malta di gesso (FOR 13) nel quale sono visibili i trattamenti pregressi subiti dal materiale. In particolare, sono riconoscibili aggregati quarzosi (mono e policristallini) e calcitici, immersi in una matrice gessosa microcristallina, nei cui spazi intergranulari è presente la resina isotropa consolidante (N#, 150X).



Fig. 30. Particolare della tessitura gessosa microcristallina del campione di malta di gesso (FOR 13) addizionata di resina isotropa consolidante, al cui interno sono presenti noduli policristallini gessosi (al centro della micrografia), inerti quarzosi, carbonatici. Particelle di cenere sono inoltre visibili nel lato destro della micrografia (N//, 150X).



a



b

Fig. 31. a) Strato superficiale degradato di malta di gesso (FOR 13) costituito da una matrice gessosa autigena contenente numerose particelle carboniose di derivazione atmosferica. Nella parte inferiore della micrografia sono inoltre visibili gli inerti quarzoso calcitici presenti all'interno della malta (N//, 150X). b) Stessa micrografia precedente, scattata a Nicols incrociati (N#, 150X).

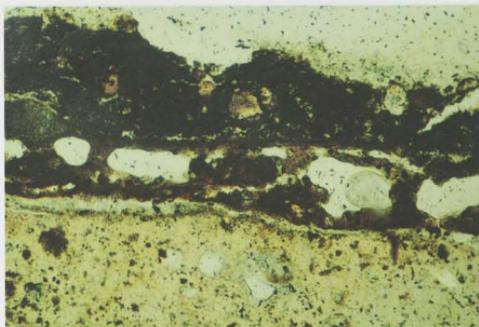


Fig. 32. Nella micrografia sono evidenti due strati di pellicola pittorica applicata a tempera, su stucco costituito da malta di gesso (FOR13), indice di rifrattamento della decorazione pittorica superficiale (N#, 150X).

entro la quale si osservano numerose particelle carboniose (fig. 33 c) e di tipo biologico (fig. 33 d).

Le concentrazioni anioniche in fase solubile rilevate nel campione rappresentativo FOR 13, quale esempio di tale tipologia di malta, (riportate anche in Tab. 2) sono state sintetizzate in fig. 34. Accanto ai solfati riferibili alla matrice gessosa, sono evidenti, con concentrazioni di due ordini di grandezza inferiori, anioni, quali nitrati, cloruri, acetati, formiati ed ossalati, dovuti a deposizione atmosferica o a trattamenti progressi.

Le malte di calce costituiscono una seconda tipologia di malta ampiamente utilizzata nelle decorazioni parietali del monumento.

L'iscrizione commemorativa ai fratelli Fornasari, a forma di globo, di colore nero (fig. 35), è risultata essere costituita nei bordi

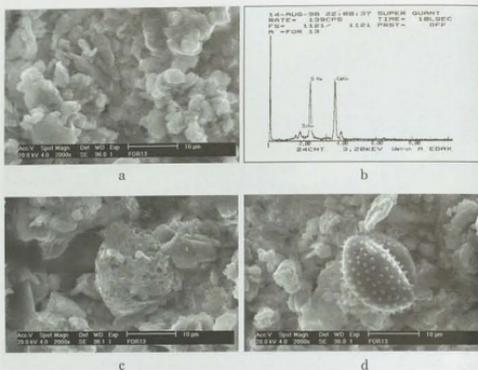


Fig. 33. Micrografie SEM di uno strato superficiale degradato di un campione di malta di gesso (FOR 13), in cui è possibile osservare: a) agglomerati a tendenza globulare di microcristalli di gesso e b) relativa microanalisi EDX; c) particella carboniosa inglobata nella matrice gessosa dello strato superficiale di degrado; d) particella di derivazione biologica.

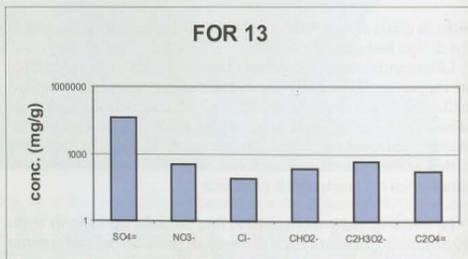


Fig. 34. Concentrazioni anioniche (mg/g) in fase solubile misurate tramite cromatografia ionica.



Fig. 35. Particolare dell'iscrizione commemorativa a forma di globo, sormontante il Sole della Giustizia.

da malta di calce a granulometria finissima, contenente inerti prevalentemente carbonatici, con associati cristalli di quarzo e rari plagioclasti (fig. 36).

Le analisi in microscopia ottica hanno consentito di individuare la presenza di una pellicola pittorica a olio di colore nero applicata sulla malta di calce, che risulta costituita da una matrice carbonatica con aggregati calcitici e silicatici (fig. 37a). Inoltre sono visibili trattamenti consolidanti come mostra la fig. 37b, che evidenzia la presenza di una resina isotropa.

Le analisi eseguite sul campione FOR 30, prelevato all'interno del globo, hanno confermato che esso è costituito da lavagna, come segnalato in precedenti lavori (AGNESE BRANDOLI, *Il loggiato inferiore dell'Archiginnasio di Bologna*, tesi di laurea, Università di Firenze, a.a. 1992-1993, BCABO, Gabinetto disegni e stampe; d'ora

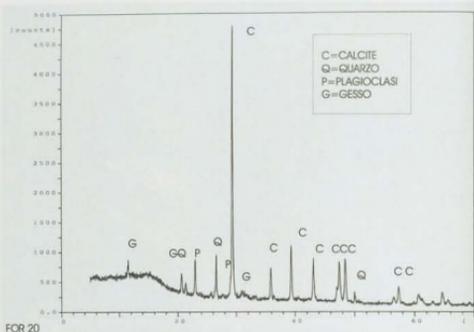


Fig. 36. Diffattogramma a raggi X di un campione (FOR 20) di malta di calce.

in poi BRANDOLI, 1993). All'osservazione microscopica a Nicols paralleli il campione si presenta in generale leggermente pleocroico con tonalità giallo e verde chiaro, molto compatto e scarsamente poroso. La grana è minuta e la tessitura leggermente scistosa (fig. 38). È composto prevalentemente da filossilicati, quarzo e carbonati. Tra i filossilicati, abbondanti sono le cloriti ricche in ferro e magnesio, presenti in piccoli elementi squamosi e/o fibrosi. Si individuano inoltre diversi minerali opachi soprattutto ematite e magnetite. Date le caratteristiche individuate, il campione è classificabile come argilloscisto di metamorfismo regionale di stadio basso.

Inoltre, in alcuni punti dell'iscrizione, sono stati rilevati mediante microscopia elettronica, strati degradati di croste nere costituite da agglomerati cristallini di gesso (fig. 39 a) con associate particelle carboniose (fig. 39 b).

Le concentrazioni anioniche in fase solubile rilevate nel campione rappresentativo FOR 20, quale esempio di malta di calce (ripor-

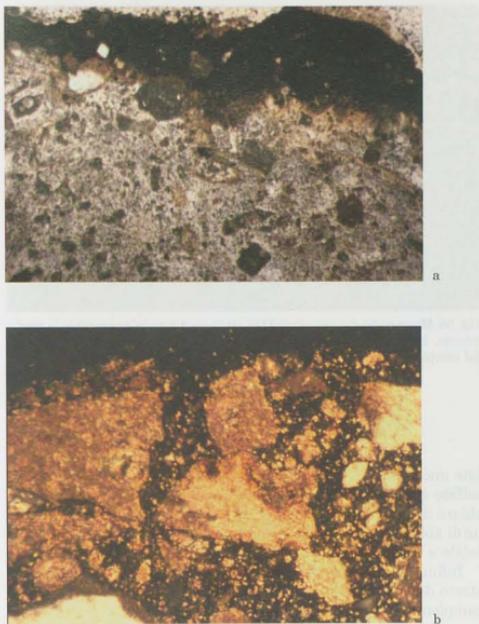


Fig. 37. a) Micrografia di un campione di malta di calce (FOR 20) nella quale è possibile osservare la pellicola pittorica ad olio, di colore nero, applicata sulla superficie. La malta risulta costituita da una matrice carbonatica con aggregati calcitici e silicatici (N//, 40X). b) Particolare della malta di calce (FOR 20) in cui è evidente la presenza di una resina isotropa inglobante inerti silicatici e carbonatici, dovuta a trattamenti consolidanti (N#, 150X).

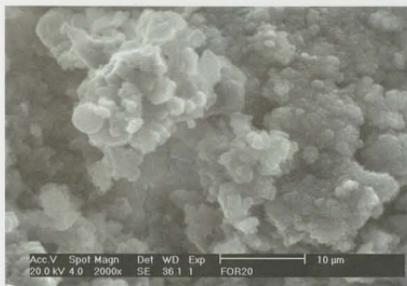


Fig. 38. Micrografia del campione FOR 30 in cui è possibile osservare la grana minuta, la tessitura leggermente scistosa e la compattezza, caratteristiche del campione stesso (N //, 40X).

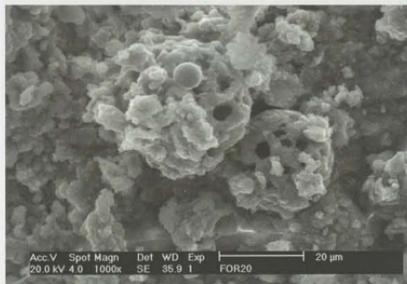
tate anche in Tab. 2), sono state sintetizzate in fig. 40. L'anione solfato è ancora una volta l'anione più abbondante rilevato, di chiara derivazione atmosferica, mentre il secondo anione in ordine di abbondanza è l'acetato, la cui origine è probabilmente imputabile a trattamenti progressi.

Infine, le malte di calce sono state altresì utilizzate come substrato degli intonaci originali decorati con la tecnica a fresco. Il campione esaminato in microscopia ottica (FOR 22), è costituito da una matrice carbonatica microcristallina (micritica), contenente inerti silicatici e carbonatici (fig. 41 e 42). Le analisi hanno inoltre evidenziato la presenza di due strati sovrapposti di pellicola pittorica (fig. 43).

Le malte cementizie sono state usate per eseguire stuccature di parti mancanti o decoesionate degli stipiti in arenaria e delle deco-



a



b

Fig. 39. Micrografie SEM che evidenziano: a) agglomerati cristallini di gesso e b) particelle carboniose.

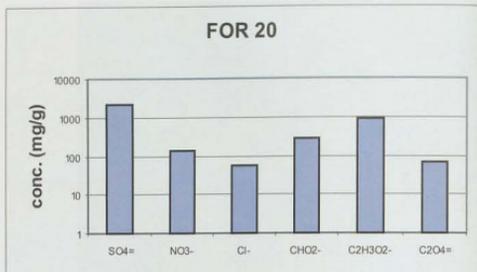


Fig. 40. Concentrazioni anioniche (mg/g) in fase solubile misurate tramite cromatografia ionica.

razioni laterali in calcarenite della porta del *Cubiculum Iuristarum*, così come evidenziato dalle osservazioni in microscopia ottica in cui è osservabile il substrato di arenaria con uno strato superficiale di malta, identificato come malta cementizia per la presenza di microcristalli di alite (fig. 44-45).

Tali malte sono costituite da un legante di tipo idraulico ed un aggregato che è stato identificato essere costituito da granuli di quarzo, plagioclasti, calcite, nonché frammenti di rocce sedimentarie quarzarenitiche e calcarenitiche.

Lo strato superficiale degradato del campione, direttamente esposto all'atmosfera, è costituito da una matrice gessosa microcristallina contenente particelle carboniose isotrope, dovute alla combustione incompleta di combustibili fossili (fig. 46). Inoltre nell'interfaccia fra lo strato di malta cementizia ed il substrato di arenaria di cui è costituito lo stipite della porta è stato identifica-



Fig. 41. Campione di malta di calce (FOR 22) in cui è possibile osservare la matrice carbonatica micritica che ingloba inerti carbonatici e silicatici (N#, 150X).

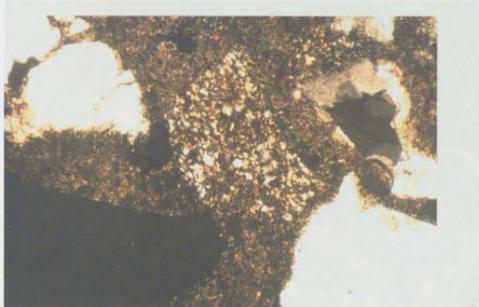


Fig. 42. Campione di malta di calce (FOR 22) in cui è possibile osservare inerti quarzosi (in basso a destra ed in alto a sinistra della micrografia), carbonatici di tipo spatico (in alto a destra).

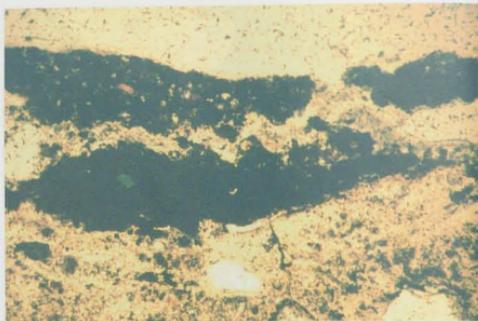


Fig. 43. Campione di malta di calce (FOR 22): esempio di sovrapposizione di due strati di pellicola pittorica (N/, 150X).

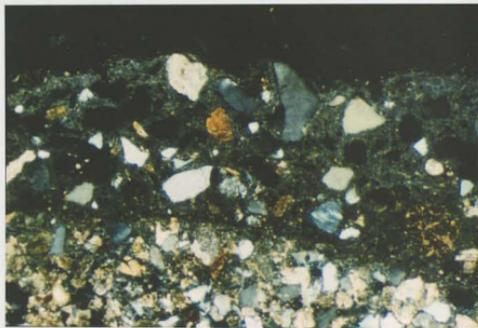


Fig. 44. In micrografia è possibile osservare uno strato di malta cementizia su un substrato di arenaria (FOR 1) (N#, 40X).

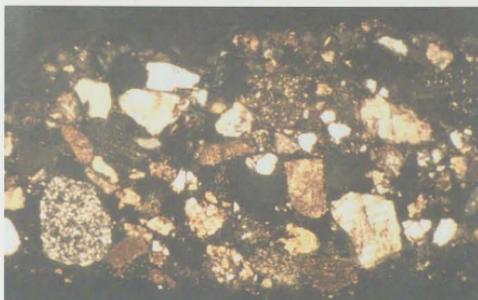


Fig. 45. Particolare della struttura clastica del campione (FOR 10) di malta cementizia. Sono osservabili inerti subangolosi di quarzo, plagioclasti, frammenti carbonatici e di rocce sedimentarie (N#, 150X).

to uno strato di gesso e particelle carboniose (fig. 47), che indicano come l'applicazione della malta cementizia sia stata effettuata senza preventiva pulitura del substrato.

In fig. 48 a-b sono riportate le micrografie ottenute dalle osservazioni SEM relative alla struttura e composizione di tali strati degradati, costituiti da cristalli di gesso con morfologia globulare e lanceolata.

Le *malte idrauliche* (in base alle analisi eseguite non è stato possibile distinguere se cementizie o di calce idraulica) sono state utilizzate per opere di consolidamento e restauro degli intonaci affrescati presenti sulla parete superiore dell'arcata.

Gli intonaci risultano fortemente danneggiati (fig. 49), quasi completamente scomparsi in molti punti, a causa dell'ingente presenza di efflorescenze saline, che sono state analizzate mediante analisi termiche evidenziando la presenza di gesso in concentra-

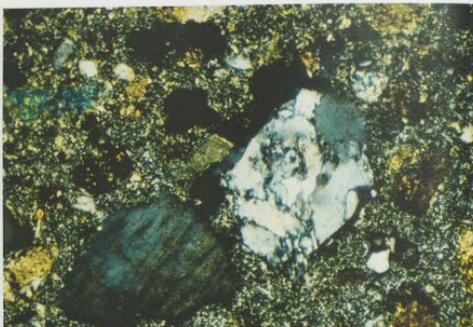


Fig. 46. Strato superficiale di gesso microcristallino contenente particelle carboniose isotrope, formatosi su malta cementizia (FOR 1). (N#, 150X).

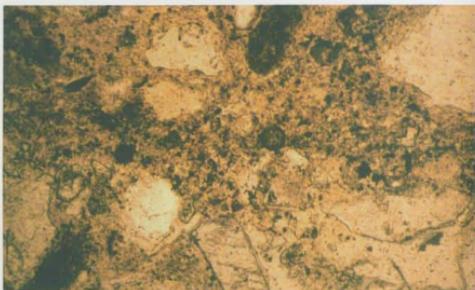
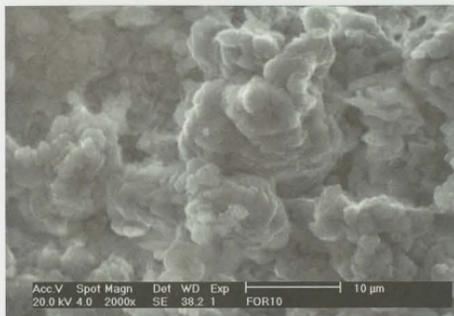
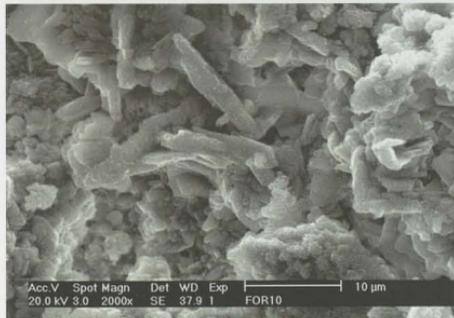


Fig. 47. La micrografia mostra uno strato di malta cementizia su un substrato di arenaria di cui è costituito lo stipite della porta. Nell'interfaccia fra i due strati è visibile uno strato di gesso e particelle carboniose che indicano come la stuccatura superficiale sia stata effettuata senza preventiva pulitura del substrato (N/, 150X).



a



b

Fig. 48 a-b. Micrografie SEM che evidenziano cristalli di gesso a morfologia globulare e lanceolata.



Fig. 49. Particolare della volta del soffitto.

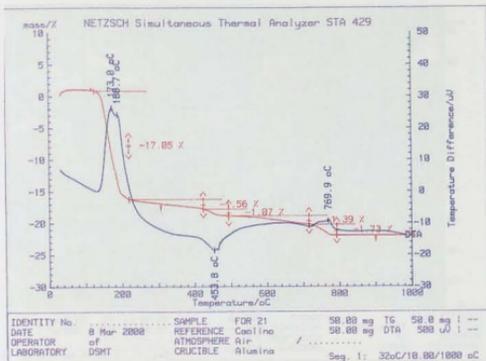


Fig. 50. Analisi termoponderale di un campione (FOR 21) di efflorescenza.

zioni pari all'80% (fig. 50).

Inoltre sulla parete affrescata in corrispondenza della cresta del cavallo in stucco dorato ed in altri punti della decorazione parietale (FOR 15, FOR 16), sono stati osservati, sotto lo strato di malta di calce, uno strato di malta idraulica e di rete in lino.

Il termogramma di fig. 51 relativo al campione FOR 15 permette di identificare la presenza di malta idraulica e di resine consolidanti: la marcata perdita di peso iniziale ed una rilevante pendenza della curva termogravimetrica è infatti dovuta alla disidratazione dei silicati ed alluminati di calcio idrati caratteristici delle malte idrauliche. Inoltre, i marcati picchi esotermici a 350° e 480°C confermano l'abbondante utilizzo di un legante di tipo oleoso. L'effetto endotermico intorno agli 800°C è, sebbene traslato verso temperature superiori, relativo alla carbonatazione di inerti calcarei presenti.

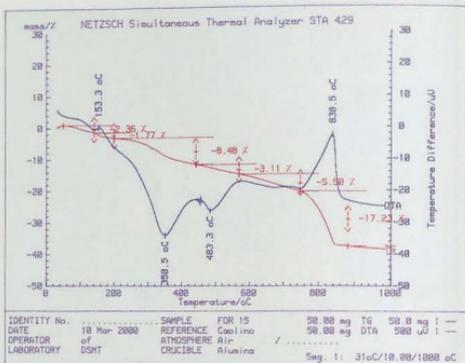


Fig. 51. Analisi termoponderale di un campione di malta idraulica.

Infine, le osservazioni effettuate in microscopia elettronica evidenziano una struttura composta da cristalli globulari relativi alla presenza dei silicoaluminati idrati di calcio (fig. 52 a-b), la cui microanalisi ha inoltre rilevato tracce non trascurabili di zolfo. La presenza di tale elemento, associata alla identificazione di particelle carboniose conferma come il materiale esaminato sia soggetto a processi di solfatazione che degradano l'intonaco affrescato.

Sintesi dei risultati

Le tipologie dei materiali individuati la cui distribuzione è riportata in fig. 53 sono le seguenti:

- Arenaria: stipte della porta del *Cubiculum Iuristarum* (FOR 10 e FOR 11)

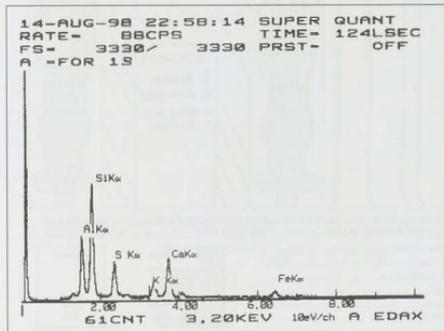
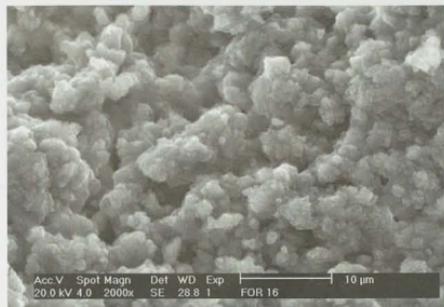


Fig. 52. Micrografia SEM che evidenzia cristalli globulari di silicoaluminati idrati di calcio a), con relativo spettro EDX b).

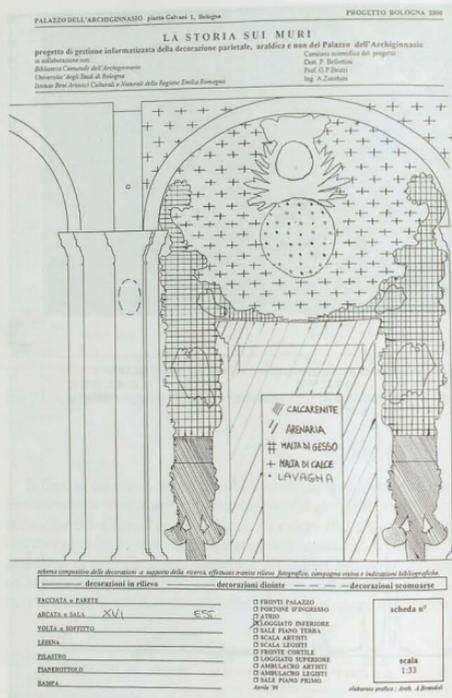


Fig. 53 - Tipologia dei materiali individuati nel monumento ai fratelli Fornasari

- Calcarenite: decorazioni laterali dello stipite della porta (campioni (FOR1-FOR 9)
- Lavagna: globo con iscrizione commemorativa (FOR 30)
- Malta di gesso: rilevate nelle statue dorate dei Dioscuri e del cavallo sormontati la porta (FOR 13, FOR 17, FOR 18)
- Malta di calce: utilizzata sia come materiale di restauro per i bordi dell'iscrizione a forma di globo (FOR 20), sia per gli intonaci originali decorati con la tecnica a fresco (FOR 22)
- Malta cementizia con inerti grossolani sabbiosi, utilizzata per stuccature di restauro sugli stipiti della porta in arenaria del *Cubiculum Iuristarum* e delle decorazioni in calcarenite e arenaria ai lati dello stipite (FOR 1, FOR 7, FOR 10, FOR 11).
- Malte idrauliche: intonaco di restauro (FOR 15, FOR 16).

Arcata 17, lato sud

Monumento onorario scultoreo a Sebastiano Allè

Ai lati dell'iscrizione sono presenti due figure femminili a rilievo, sedute, rappresentanti la Forza e la Giustizia (fig. 54). La statua della Giustizia risulta costituita da stucco dorato, composto da gesso, e da inerti prevalentemente carbonatici, come risulta dalle analisi XRD del campione PIO IV_1 (fig. 55). Dal diffrattogramma risulta inoltre la presenza di grafite, imputabile all'aggiunta di cenere all'impasto della malta di gesso, e di weddellite (ossalato di calcio bivalente) dovuta all'alterazione del legante organico del pigmento presente sulla superficie del campione. È stata inoltre rilevata la presenza di carbonato di piombo. Sullo stucco sono infine presenti evidenti croste nere, anche se limitate sia in estensione che nello spessore dello strato di danno.

I blasoni sovrastanti le due figure risultano essere in malta di gesso con inerti carbonatici e silicatici come risultato dalle analisi XRD (fig. 56) effettuate sul campione PIO IV_2, prelevato da uno degli stemmi posto alle spalle della statua della Giustizia.

Lo stemma esaminato e, in generale, la maggior parte degli altri stemmi a rilievo, presenta, in analogia con le statue dorate, sia strati superficiali attribuibili a croste nere, sia depositi incoerenti di particolato atmosferico, così come confermato dalle osservazioni in microscopia elettronica a scansione (SEM). Numerose particelle carboniose (fig. 57), dovute alla combustione incompleta di combustibili fossili per impianti di riscaldamento, sono state osservate sia come deposito incoerente sulle superficie delle decorazioni e, nel caso delle croste nere, inglobate nella matrice gessosa di neoformazione, dovuta al processo di solfatazione in atto.



Fig. 54. Monumento onorario scultoreo a Sebastiano Allè.

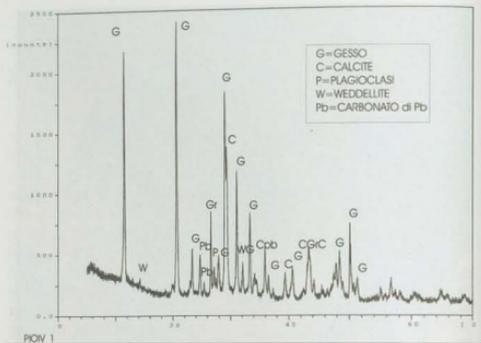


Fig. 55. Diffratogramma a raggi X di un campione di malta di gesso.

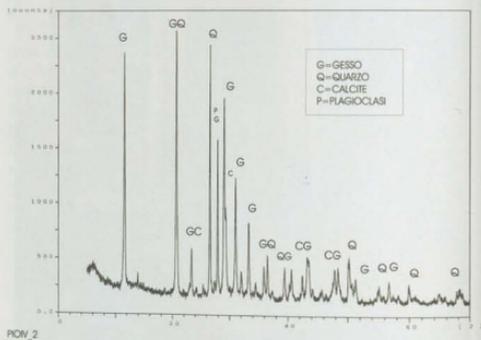


Fig. 56. Diffratogramma a raggi X di un campione di malta di gesso.

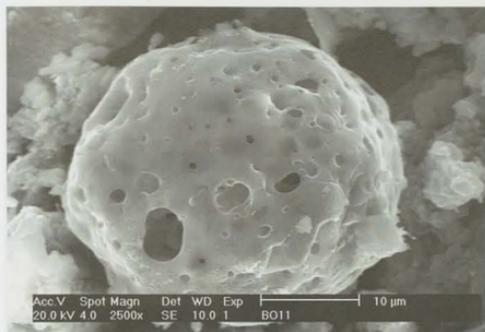


Fig. 57. Micrografie SEM relative al campione PIO IV_1 in cui è possibile osservare una particella carboniosa (in alto) ed una particella metallica (in basso) depositatesi sulla superficie del materiale.

Arcata 18, lato sud

Monumento a Sanuti Pellicani (parte superiore dell'arcata)

Iscrizione marmorea dedicata al cardinale Oppizzoni (parte inferiore dell'arcata)

L'intera arcata non subì danni rilevanti dai bombardamenti del 1944. Documentazioni storiche riportano di rifacimenti di strati di intonaco danneggiati intorno all'iscrizione basale (cfr. BRANDOLI, 1993).

Gli intonaci, decorati con tecnica pittorica a *buon fresco* (cfr. scheda 508, BRANDOLI 1993), presentano rifacimenti, integrazioni, imbiancature e, soprattutto, evidenti segni di degrado, con formazione di efflorescenze, così come perdite di adesione tra l'intonaco stesso e il supporto murario (fig. 58).

Le analisi effettuate su due campioni stratigrafici, uno superficiale (OPPI 1) ed uno interno (OPPI 2) prelevati dall'intonaco sottostante l'iscrizione a 120 cm da terra, hanno mostrato come l'intonaco sia costituito da malta idraulica. Il diffrattogramma a raggi X di fig. 59 conferma infatti come i picchi di diffrazione, poco numerosi e di bassa intensità, siano dovuti alla presenza di silico-alluminati idrati di calcio, tipiche fasi idrauliche, ed aggregati quarzoso feldspatici. Lo strato superficiale ha inoltre mostrato la presenza di gesso e di mirabile, come mostrato dal diffrattogramma di fig. 60 effettuato su un campione di efflorescenza. Le analisi termiche hanno fornito concentrazioni di carbonati e gesso rispettivamente di 16.6% e 8.3% per OPPI 1 e 21.6% e 0.7% per OPPI 2 confermando come l'intonaco sia costituito da malta cementizia.

Al fine di quantificare i prodotti di degrado presenti sulla malta cementizia, sono stati analizzati i due campioni stratigrafici OPPI 1 ed OPPI 2 mediante cromatografia ionica (tab. 2). I risultati ottenuti, come evidenziato nella fig. 53, hanno mostrato nello strato superficiale un contenuto di solfati di 6533 mg/g, mentre lo strato interno dell'intonaco, a diretto contatto con il supporto murario, presenta valori di solfati inferiori di un ordine di grandezza (498 mg/g). La presenza di solfati è quindi attribuibile a processi



Fig. 58. Iscrizione marmorea dedicata al cardinale Oppizzoni, situata nella parte inferiore dell'arcata.

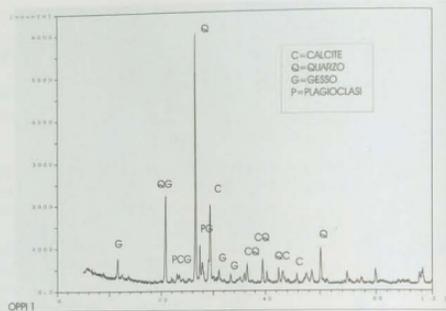


Fig. 59. Diffattogramma a raggi X di un campione di malta idraulica.

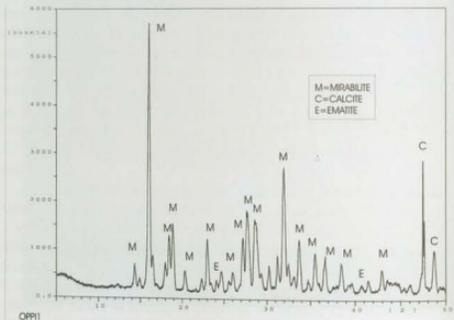


Fig. 60. Diffattogramma a raggi X dello strato superficiale degradato (OPPI 1).

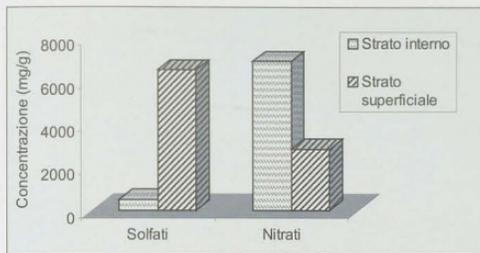


Fig. 61. Concentrazione (mg/g) di solfati e nitrati nello strato interno e superficiale dell'intonaco di malta cementizia campionata sotto l'iscrizione (OPPI 1 e OPPI 2).

di degrado superficiale causati dalla deposizione di inquinanti atmosferici.

I nitrati sono presenti anch'essi in quantità molto rilevanti, ma in proporzione inversa rispetto ai solfati, essendo più abbondanti nello strato interno (6936 mg/g) rispetto alla loro concentrazione misurata nello strato superficiale (2854 mg/g). Considerando l'elevata deliquescenza dei nitrati a contatto con l'atmosfera, è quindi ipotizzabile una loro derivazione da acqua di risalita capillare proveniente dalla muratura.



Fig. 62. Monumento dedicato a Dursino Orsi.

Arcata 20, lato sud

Monumento dedicato a Dursino Orsi

Sono stati effettuati prelievi dalla parete sinistra della porta (fig. 62), le cui analisi hanno consentito di evidenziare che l'intonaco è costituito da malta di calce, come risulta evidente dalle analisi in diffrattometria a raggi X e dalle analisi termiche (fig. 63), che forniscono dati di carbonati e gesso, rispettivamente del 8.4% e 19.4%. L'elevato contenuto di gesso conferma l'intenso processo di degrado cui tale arcata è soggetta. Inoltre, dalle osservazioni effettuate in situ (fig. 64-66) risulta evidente la formazione di efflorescenze formatesi sulla superficie affrescata (cfr. schede 510, 511, BRANDOLI, 1993), che hanno reso quasi del tutto illeggibili le decorazioni parietali.

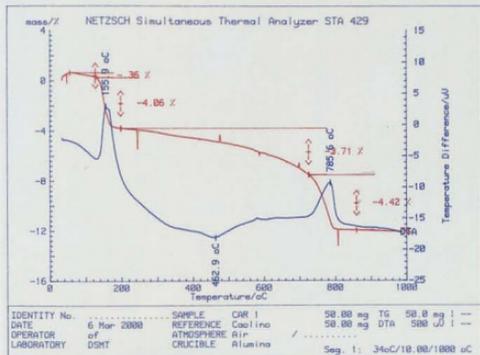


Fig. 63. Analisi termoponderale di un campione di malta di calce.



Fig. 64. Particolare del monumento a Dursino Orsi.



Fig. 65 e 66. Evidenti formazioni di efflorescenze presenti sulla superficie affrescata del monumento a Dursino Orsi.

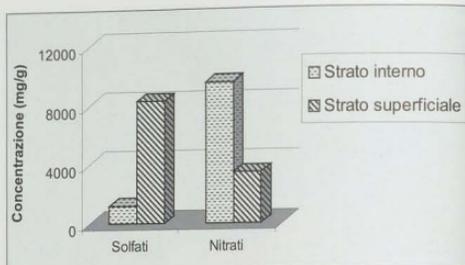


Fig. 67. Concentrazione (mg/g) di solfati e nitrati nello strato interno e superficiale dell'intonaco di malta cementizia (ARC 20A e ARC 20B).

Al fine di quantificare i prodotti di degrado, sono stati effettuati prelievi stratigrafici a circa 150 cm di altezza da terra (strato superficiale: ARC 20A; strato interno: ARC 20B), sui quali sono state eseguite analisi in cromatografia ionica. Il contenuto di sali solubili (tab. 2) è risultato essere del tutto simile a quello già descritto per l'arcata 18 posta sullo stesso lato. I solfati, come evidenziato nella fig. 67, risultano più abbondanti nello strato superficiale (8310 mg/g), mentre decrescono notevolmente negli strati interni dell'intonaco (1217 mg/g). Inverso è il comportamento dei nitrati: 3452 mg/g nello strato superficiale, 9531 mg/g in quello interno, suggerendo quindi una loro derivazione da acque di risalita capillare dagli strati più interni dell'apparato murario. I solfati, invece, confermano una loro derivazione da processi di degrado di origine atmosferica.

Lesena fra le arcate 5-6, lato nord

Monumento ad Alessandro Guicciardini

Le analisi effettuate sulle due statue alate poste ai lati dell'ovale contenente il busto di Guicciardini, hanno consentito di affermare come entrambe siano costituite da un calcare giallastro contenente numerosi noduli organogeni, ad eccezione della testa della statua angelica di sinistra e parte del suo mantello, che risultano invece costituite da un calcare differente per composizione e gradazione cromatica, attribuibile al «Rosso Verona», e dalle ali di entrambe le statue, che sono invece costituite da una terracotta policroma, di colore giallo-rossiccio, dipinta probabilmente ad olio (fig. 68 e 69).

Il busto di Guicciardini è invece costituito da malta di gesso ricoperta da uno strato dorato.

Le superfici lapidee mostrano un discreto stato di conservazione e presentano depositi quasi del tutto incoerenti con il substrato, che sono stati analizzati mediante microscopia elettronica a scansione (SEM), i cui risultati hanno consentito di identificare



Fig. 68. Particolare del monumento ad Alessandro Guicciardini.



Fig. 69. Monumento ad Alessandro Guicciardini, assieme.

particelle carboniose e *soil dust* di derivazione atmosferica (fig. 70).

Solo limitatamente sono state rilevate formazione di croste nere.

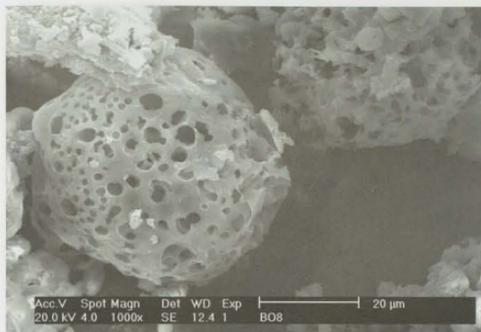


Fig. 70. Micrografie SEM dell'aerosol depositato sulle superfici lapidee del monumento. È stata rilevata una particella carboniosa (in alto) ed una particella metallica (in basso) depositatesi sulla superficie del materiale.



Fig. 71. Lesena del monumento a Carlo Fracassati.

Lesena fra le arcate 6-7, lato nord

Monumento scultoreo a Carlo Fracassati (MDCLXXIII)

Le analisi effettuate hanno mostrato che la lesena calcarenitica (fig. 71) è in forte stato di degrado, come mostrato dalla presenza di gesso (fig. 72) cui si aggiungono fenomeni di evidente esfoliazione dei prodotti protettivi e/o consolidanti applicati in passato e polverizzazione del substrato (cfr. scheda 522, BRANDOLI, 1993).

L'iscrizione della decorazione plastica a rilievo (fig. 73) è invece costituita da calcare organogeno giallastro, alterato superficialmente da patine di sottili croste nere e ricoperto da depositi di particolato atmosferico. Il busto onorario è invece costituito da stucco di gesso decorato con tecnica a tempera e non versa in particolari condizioni di degrado.

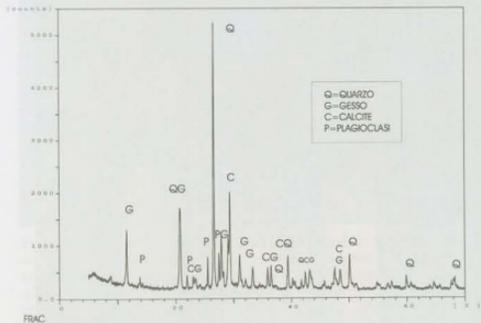


Fig. 72. Diffratogramma a raggi X di un campione di calcarenite (FRAC).



Fig. 73. Monumento scultoreo a Carlo Fracassati.

Lesena fra le arcate 7-8, lato nord

Monumento onorario plastico dedicato a Francesco Saccenti

La decorazione plastica posta sulla lesena dell'arcata parietale (fig. 75) risulta quasi totalmente costituita da terracotta, come mostrano le analisi in microscopia ottica effettuate su sezioni sottili del campione ARC 5 (fig. 74 e 76), nel quale la frazione amorfa presenta una colorazione rossastra dovuta all'abbondanza di ossidi di ferro. Inoltre, sono stati osservati inerti sabbiosi fini, prevalentemente di tipo quarzoso, utilizzati sia come smagrante sia

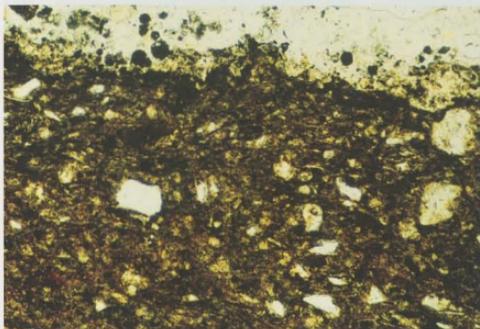


Fig. 74. Sezione sottile trasversale di un frammento della decorazione a rilievo della cornice (ARC 5), costituito di terracotta. È possibile osservare, inglobati nella matrice vetrosa (contenente numerosi ossidi di ferro responsabili della colorazione bruciacca del campione), inerti anedrali di quarzo, cristalli tabulari di muscovite (con tendenza all'isorientazione) e plaghe di ricristallizzazione calcifica all'interno dei pori del materiale (in alto a sinistra della foto). Lo strato di alterazione superficiale risulta costituito da gesso microcristallino inglobante numerose particelle carboniose isotrope (N/, 150X).



Fig. 75. Monumento onorario plastico dedicato a Francesco Saccenti.

per conferire un'elevata resistenza e compattezza alla struttura.

La decorazione plastica presenta croste nere disomogeneamente distribuite sulla superficie, a testimonianza dei processi di solfatazione e deposizione di particolato atmosferico cui è stata ed è attualmente soggetta. Infine, sia superficialmente che in corrispondenza dei pori del materiale si possono osservare plaghe di ricristallizzazione calcitica (di tipo micritico) e fenomeni di degrado

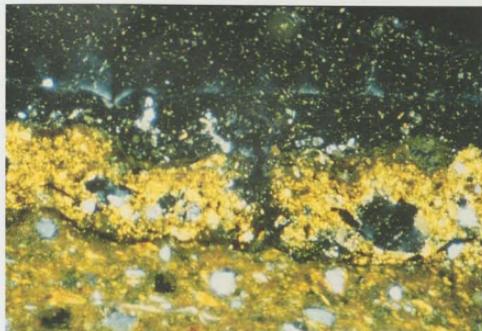


Fig. 76. Particolare delle stuccature costituite da malta di calce e gesso ed inerti a granulometria finissima, prevalentemente quarzosi, sia carbonatici che silicatici, eseguite sull'originaria struttura di terracotta (ARC 5), visibile nella parte inferiore della micrografia. È ben visibile l'interfaccia fra lo strato superficiale di stuccatura e la terracotta sottostante (N#, 150X).

attribuiti alla deposizione atmosferica di gas ed aerosol, responsabili del processo di solfatazione, che trasforma il materiale carbonatico presente in solfato di calcio (gesso).

Le parti danneggiate in epoche precedenti e ricostruite quando mancanti, o stuccate, risultano essere costituite da malta di calce e gesso, dipinte al fine di un raggiungimento cromatico omogeneo con il materiale originale (fig. 76).

La lesena a supporto della decorazione sopra descritta è invece costituita da calcarenite che presenta fenomeni di degrado e formazione di strati di danno simili a quelli riscontrati nelle altre analoghe zone del loggiato, come evidenzia la presenza di gesso rilevata in considerevoli quantità dall'analisi XRD del campione HIER 2.

Arcata 8, lato nord

Monumento onorario scultoreo a Camillo Baldi

Le cornici litoide dell'iscrizione e della statua (fig. 78) risultano essere costituite da arenaria, fortemente alterata da fenomeni di solfatazione (con formazione di croste nere) ed esfoliazione della pellicola protettiva/consolidante applicata in precedenti restauri.

A seguito dei danneggiamenti del 1944 (BRANDOLI, 1993), le parti mancanti in arenaria sono state sostituite da stuccature in malta di analoga gradazione cromatica, ma incompatibili con i materiali originali (arenaria) come dimostrato dall'attuale stato di degrado. Dalle analisi effettuate su un campione prelevato sopra la testa della statua (CAM 1), risulta che le stuccature sono costituite da malta di calce (data l'abbondanza e l'elevata intensità dei picchi attribuiti alle fasi carbonatiche di tipo calcitico) ed inerti silicatici, la cui presenza è confermata dai picchi attribuiti a quarzo e plagioclasti (fig. 77).

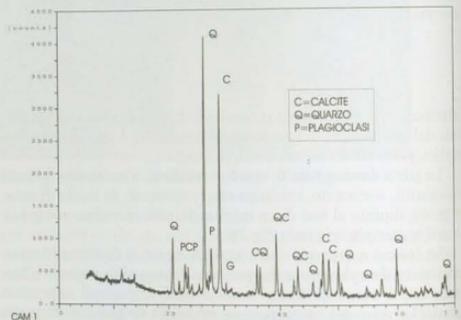




Fig. 79. Iscrizione dedicata a Giovanni Cottunio.

Arcata 9, lato nord

Iscrizione dedicata a Giovanni Cottunio

Le osservazioni macroscopiche effettuate sulla cornice dell'iscrizione (fig. 79) hanno evidenziato come l'arenaria di cui è costituita risulta caratterizzata dalla presenza di fenomeni di esfoliazione superficiale a causa dei rigonfiamenti prodotti dall'utilizzo di resine consolidanti inadeguate alla natura del materiale. Sono inoltre evidenti stuccature in molti punti. Lo stemma alla base dell'iscrizione risulta mancante in buona parte, a seguito di atti vandalici subiti in epoca posteriore al febbraio 1993, come si può rilevare dal confronto con il rilievo effettuato da Brandoli (cfr. scheda 498, BRANDOLI, 1993).

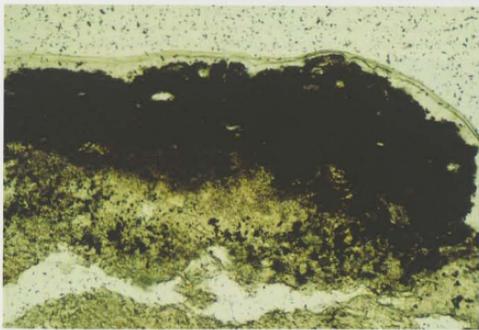


Fig. 80. Particolare dello strato di crosta nera superficiale del campione di malta di gesso (ARC 4). È possibile osservare come le particelle carboniose, responsabili della colorazione nera superficiale, siano inglobate in profondità all'interno dello strato di danno del campione (N //, 150X).

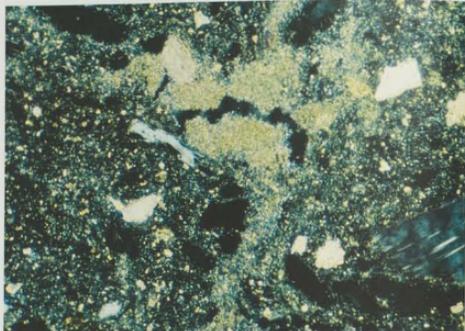


Fig. 81. Particolare della matrice gessosa del campione di malta (ARC 4), contenente numerosi inerti carbonatici (a granulometria serciata) e silicatici prevalentemente quarzosi. Inoltre, è possibile osservare tracce di resine che mostrano come il trattamento consolidante sia penetrato in profondità attraverso presenti superfici di discontinuità del campione (N#, 40X).

Le analisi effettuate sul campione ARC 4 hanno dimostrato come lo stemma sia costituito da gesso, sul quale sono presenti evidenti strati superficiali di danno dovuti alla formazione di croste nere di spessore anche notevole (fig. 80). Tracce di resine consolidanti sono state osservate anche su tale decorazione parietale (fig. 81).

Sulla parete sottostante, sono evidenti estesissime formazioni di efflorescenze saline, che hanno causato la perdita quasi totale delle decorazioni affrescate un tempo presenti sulla parete stessa.

Lesena fra le arcate 9-10, lato nord

Monumento onorario plastico dedicato al cardinale Girolamo Castaldi e Paolo Mini

Documentazioni storiche riportano di gravi danni subiti dalla decorazione parietale a tempera durante l'ultimo evento bellico (fig. 82 e 83), in particolare si trovano riferimenti a «numerosi blasoni in rilievo posti sul drappo sostenuto dall'angolo» (BRANDOLI, 1993).

In origine, la totalità della struttura onoraria era costituita da terracotta; in seguito ai danneggiamenti subiti sono stati effettuati numerosi interventi. Le analisi effettuate su un campione prelevato nella parte inferiore ricostruita della decorazione (ARC 3), hanno permesso di identificare una malta di gesso e calce con inerti carbonatici e silicatici, come mostrato in fig. 84.



Fig. 82. Monumento a Girolamo Castaldi e Paolo Mini, particolare.



Fig. 83. Monumento onorario plastico dedicato al cardinale Girolamo Castaldi e Paolo Mini.

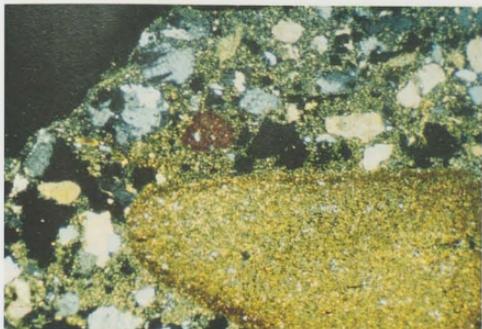


Fig. 84. Frammento di malta di calce e gesso (ARC 3) in cui sono presenti sia laterizi frantumati (al centro, di colore rosso), che minerali carbonatici e silicatici e frammenti di rocce sedimentarie (come nella parte inferiore della micrografia), anche di notevoli dimensioni, con funzione di aggregato (N° 40X).

Sono inoltre state rilevate tracce di consolidante come mostrano le figure 85 e 86 in microscopia ottica; all'interno dei pori della malta di gesso sono presenti microagglomerati di materiale sintetico.



Fig. 85. Sezione sottile trasversale del campione (ARC 3) prelevato nella parte inferiore ricostruita della decorazione. Il campione è costituito di malta a matrice gessoso-carbonatica e da inerti ad elevata varietà composizionale: quarzoso-feldspatico, calcitico, micaico. Nella parte superiore della micrografia è possibile osservare la superficie esterna del campione: la matrice gessoso-carbonatica microcristallina, priva di inerti, risulta fortemente decoesa (N#, 40X).

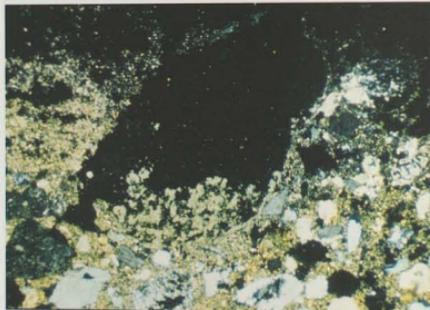


Fig. 86. Tracce di trattamenti consolidanti (osservabili all'interno del grosso poro visibile nella micrografia), applicati in restauri precedenti (N#, 40X).

Arcata 13, lato est

Porta della Cappella di S. Maria dei Bulgari

Gli stipiti della porta (fig. 87 e 88) sono costituiti da materiale litoide di tipo calcarenitico, come mostrato dalle analisi in microscopia ottica (fig. 89). Sono stati infatti osservati cristalli carbonatici generalmente alterati, cementati da materiale limpido autigeno di analoga composizione e granulometria variabile da micritica a spatica, in molti casi sostituito da minerali di tipo muscovitico; sono inoltre presenti minerali subangolosi di quarzo. Sono state altresì osservate sui granuli carbonatici tracce di trattamenti di pulitura riferibili all'applicazione di soluzioni di carbonati di sodio e/o ammonio (fig. 90).

Le analisi hanno inoltre mostrato la presenza di malta di calce e cemento a granulometria grossolana come evidenziato dalle analisi in microscopia ottica effettuate su un campione prelevato sullo stipite destro della porta a circa 50 cm da terra (fig. 91 e 92).



Fig. 87. Porta della Cappella di S. Maria dei Bulgari, particolare dello stipite.



Fig. 88. Arcata 13 e porta della Cappella di S. Maria dei Bulgari.

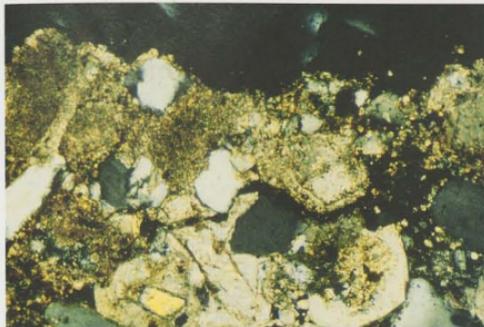


Fig. 89. Sezione sottile trasversale del campione ARC 2 che evidenzia una struttura mineralogica di tipo calcarenitico. Sono osservabili: cristalli carbonatici generalmente alterati, cementati da materiale limpido autigeno di analoga composizione e granulometria variabile da micritica a spatica, in molti casi sostituito da minerali di tipo muscovitico; sono inoltre presenti minerali subangolosi di quarzo, di colore grigio in micrografia.

I cristalli calcitici grossolani (in alto a sinistra della micrografia) presentano tracce di precedenti trattamenti consolidanti e protettivi. Infine, all'interno di un poro (in basso a sinistra della micrografia) si osservano cristalli micrometrici di gesso dovuti alla solfatazione subita dal materiale (N#, 150X).

L'incompatibilità con il substrato calcarenitico ha comportato evidenti fenomeni di distacco della finitura superficiale, mettendo a nudo il substrato, soggetto a fenomeni di arenizzazione.



Fig. 90. Particolare della calcarenite a cemento carbonatico e argilloso del campione ARC2; fra gli inerti è riconoscibile un guscio calcitico di organismo marino al centro in alto della micrografia. Sono inoltre presenti (parte bassa della foto) tracce di trattamenti di pulitura sui granuli carbonatici (N#, 150X).

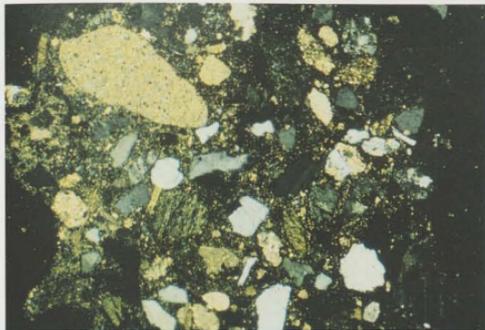


Fig. 91. Sezione sottile trasversale del campione ARC 1, che risulta costituita da calce e cemento (cosiddetta malta bastarda). Si possono riconoscere: inerti silicatici di tipo quarzoso feldspatico, associati ad inerti carbonatici spatici disomogeneamente alterati, frammenti grossolani di rocce sedimentarie (in basso a destra della fotografia) ed agglomerati cristallini gessosi. Tale carica inerte è immersa in una matrice riferibile ad una malta di tipo cementizio, fortemente porosa, addizionata di materiale consolidante isotropo e materiale carbonatico finissimo (N#, 40X).



Fig. 92. Questa micrografia (ARC 1) evidenzia la presenza di diverse fasi cristalline dell'aggregato: due cristalli calcitici (al centro ed in alto), un grosso cristallo allungato di feldspato (riconoscibile per la sua caratteristica geminazione a graticcio) ed a fianco un aggregato di quarzo policristallino. Nella matrice legante sono invece riconoscibili microcristalli carbonatici ed alitici (gli ultimi tipici delle malte cementizie), che risultano particolarmente concentrati intorno ai cristalli di feldspato e di quarzo (N#, 150X).

PAOLO NANNELLI

L'apparato decorativo del quadriloggato inferiore dell'Archiginnasio

Come premessa agli aspetti tecnici del restauro, riteniamo utile una breve analisi degli aspetti morfologici di quanto costituisce l'apparato decorativo del quadriloggato inferiore dell'Archiginnasio, che, seppure facente parte in modo omogeneo di tutta la straordinaria decorazione parietale del complesso monumentale, tuttavia se ne discosta per una serie di caratteristiche proprie, definibili in funzione della loro collocazione e tipologia. Inoltre, a questo criterio di riconoscibilità e classificazione se ne può aggiungere un secondo, legato alle vicende storiche dell'immobile, culminate con le distruzioni belliche della devastante incursione aerea del 29 gennaio 1944 (fig. 1 e 2).

Il capitolo della ricostruzione, iniziata a guerra aperta, risulta infatti di non secondaria importanza per la definizione dei criteri di intervento per il restauro, in quanto scompone l'insieme delle decorazioni in una ulteriore classificazione legata al grado di danneggiamento subito dai singoli monumenti celebrativi, alle modalità e tecniche adottate nei restauri passati che vanno a costituire una delle casistiche di cui tenere conto nella definizione della metodologia e della prassi operativa del restauro.

Una prima considerazione riguarda l'entità e la collocazione delle epigrafi celebrative che costituiscono dei veri e propri piccoli monumenti e che si collocano non solo al centro delle campiture del sottoportico, ma si addossano anche alle paraste che le deli-