

L'ARCO DI AUGUSTO IN AOSTA: UN ESEMPIO DI PERCORSO PROGRAMMATO TRA PROGETTAZIONE E DIAGNOSTICA

Lorenzo Appolonia, Simonetta Migliorini, Ambra Idone*, Anna Piccirillo*

Lo studio dello stato di conservazione dell'Arco di Augusto, qui trattato, si propone non come un esercizio intellettuale, ma come un percorso programmato scientificamente volto ad acquisire dati fondamentali necessari alla comprensione dei fenomeni di degrado chimico, fisico e biologico operanti sul monumento e funzionali alla progettazione dell'intervento conservativo.

Il Laboratorio di analisi scientifiche della Soprintendenza ha avviato da più di un anno un progetto per determinare lo stato di conservazione del monumento, finalizzato alla valutazione della sua entità e necessario per l'individuazione delle caratteristiche che dovrà avere l'intervento di restauro.

La prima fase di indagine è mirata alla comprensione delle dinamiche ambientali che contribuiscono al degrado. Questo primo passo è finalizzato al programma di monitoraggio climatico ambientale sulle superfici e intorno al monumento, pertanto sono state predisposte una serie di sonde per il monitoraggio climatico del monumento. Le sonde, installate nel novembre del 2006, sono operative da febbraio 2007.

Questi dispositivi, posizionati in modo simmetrico su ogni lato del monumento, sono ripartiti secondo due tipologie: una prima serie di sonde (fig. 1), poste all'altezza dei capitelli delle colonne, registra temperatura e umidità relativa dell'aria circostante il monumento, mentre all'incirca a metà facciata una seconda serie (fig. 2) raccoglie i dati della temperatura a contatto con la superficie della pietra.

Il sistema è corredato da una serie di stazioni di acquisizione che comunicano alla centrale di acquisizione tramite ponti radio-telefonici, in questo modo si ha un sistema che trasmette ad un server i suoi dati, permettendone la registrazione immediata e gestibile da remoto anche da un solo tecnico e limitandone l'intervento *in situ* solo per la periodica sostituzione delle batterie e per eventuali guasti delle sonde.

I dati climatici, la cui registrazione è prevista per un anno e mezzo, saranno trattati con modelli matematici per elaborare un algoritmo che, una volta rimosse le centraline, consenta ai tecnici del laboratorio di estrapolare informazioni sulle condizioni del microclima intorno all'Arco dai dati che ricevono le centraline dell'Arpa, tramite una correlazione chiamata matematicamente rete neurale.

Al fine di poter fornire i dati necessari all'istruzione della rete neurale, si è resa necessaria la pianificazione di un programma di studi che comprendeva anche la progettazione della mappatura per il rilevamento delle tipologie di degrado presenti sull'Arco. Detta mappatura viene utilizzata per la pianificazione della parte diagnostica e permette di avere il quadro di sintesi dello stato conservativo anche su un monumento di notevoli dimensioni (1420 m² di superficie compresa la copertura), come per l'Arco di Augusto, consente di identificare le varie tipologie di degrado fornendo le domande preparatorie alla fase della conoscenza e permette, anche, di effettuare il minor numero di prelievi possibili, senza però nulla trascurare.

Il progetto è stato articolato in varie fasi, ognuna delle quali è funzionale alla maggiore conoscenza dello stato conservativo del monumento. Le fasi individuate sono:

1. recupero delle informazioni presenti nella documentazione storica del monumento e dagli studi precedentemente realizzati;
2. mappatura del degrado;
3. piano di campionamento;
4. programma delle analisi;
5. analisi dei campioni;
6. valutazione dei risultati.

Si propone, di seguito, una descrizione dello studio effettuato, dei problemi sorti durante le varie fasi, delle tecniche messe in atto per la loro risoluzione e di eventuali questioni ancora aperte o di argomenti da approfondire ulteriormente.



1. Posizionamento della sonda per l'analisi della temperatura e dell'UR%. (A. Idone)



2. Sonde per la misura della temperatura a contatto poste nella parte centrale della parete. (A. Idone)

La storia e gli studi sul monumento

L'Arco fu costruito in occasione della fondazione della città di *Augusta Prætoria Salassorum*, avvenuta nel 25 a.C. dopo la sconfitta dei Salassi, la popolazione di origine celto-ligure che abitava la valle, per opera delle truppe di Ottaviano Augusto. Esso era collegato alla *Porta Prætoria*, la porta principale della città romana, da una strada larga quasi dieci metri e lunga circa quattrocento, che passava sotto il fornice dell'Arco ed era circondata da tombe. Oggi una testimonianza di questa imponente via di accesso alla città è data dall'imbocco di via Sant'Anselmo.

L'Arco di Augusto ha subito numerose modificazioni nel corso dei suoi quasi venti secoli e mezzo di vita. Anche se molti storici e uomini di cultura si sono occupati delle vicende di questo monumento, non sono note tutte le modalità e i tempi delle trasformazioni apportate.

L'intervento più importante fu sicuramente quello iniziato dallo Schiaparelli nel 1912, che intervenne in maniera incisiva su tutto il monumento; infatti, si occupò del tetto, togliendo il canale di gronda, smontando le lastre in ardesia e sostituendo l'acciottolato di riempimento con uno più leggero. Effettuò, inoltre, una pulitura generale e, probabilmente, un consolidamento della pietra, dei quali non sono note le modalità e gli eventuali prodotti utilizzati. Inoltre, eseguì lavori di eliminazione delle rappezzature in muratura precedentemente realizzate e distaccò l'intonaco della volta. Si incaricò del reintegro delle parti mancanti del cornicione, effettuato con conci in pietra artificiale e della sostituzione dei tre capitelli del lato sud. Infine, riempì le lacune con malta, chiuse parzialmente il foro della nicchia ovest e assicurò i mattoni di integrazione alla puddinga con sbarre di ferro. Questo complesso intervento è documentato anche dalla data "1914" incisa sulla copertina in malta del pilone sud della facciata est.

Negli anni successivi, furono realizzati alcuni consolidamenti, di cui si hanno scarse informazioni, con malte cementizie, probabilmente più leggere rispetto a quelle impiegate dallo Schiaparelli.

Durante la Seconda Guerra Mondiale, le parti più esposte furono difese dalle bombe con l'impiego di coperture di legno. I grossi chiodi utilizzati per fissare le tavole sono ancora visibili ai lati dei capitelli.

Gli studi sullo stato dell'Arco di Augusto, oltre a quelli realizzati storicamente, consistono in due tesi di ambito architettonico realizzate negli ultimi dieci anni. La prima di queste tesi ha un carattere prevalentemente storico-architettonico, con la ricerca delle fonti antiche, la mappatura del degrado e l'identificazione dei materiali da costruzione. La seconda, invece, oltre a riportare le

vicissitudini conservative del monumento, presenta un approccio diagnostico e propone una serie di analisi e interventi, oltre ad un'ulteriore mappatura del degrado. Inoltre, per quest'ultimo studio sono state effettuate delle analisi con il microscopio elettronico a scansione e la microsonda a raggi X di un campione di puddinga, uno di malta e due di deposito superficiale. Sebbene i risultati di queste analisi siano interessanti, il confronto con quelle effettuate in questo studio è difficoltoso, poiché non si conosce la posizione precisa dei prelievi.

La mappatura del degrado.

L'identificazione delle tipologie di degrado

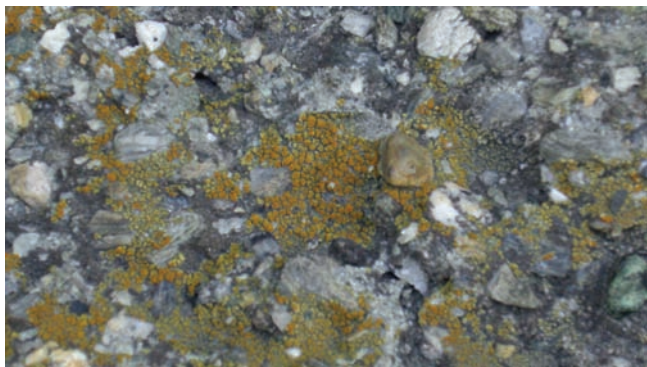
Il progetto di mappatura del degrado ha previsto una fase iniziale di identificazione delle principali tipologie di degrado chimico, fisico e biologico presenti sul monumento ed una loro classificazione, in base alle raccomandazioni NorMal n. 1/80 (*Alterazioni Macroscopiche dei Materiali Lapidari: Lessico*) e NorMal n. 1/88 (*Alterazioni Macroscopiche dei Materiali Lapidari: Lessico*).

Le tipologie di degrado riscontrate sono:

- a. alterazione biologica: fig. 3,
- b. alterazione cromatica: fig. 4,
- c. alveolizzazione: fig. 5,
- d. crosta: fig. 6,
- e. degradazione differenziale: fig. 7,
- f. deposito superficiale: fig. 8,
- g. erosione: fig. 9,
- h. fessurazione: fig. 10,
- i. scagliatura: fig. 11,
- j. incrostazione: fig. 12,
- k. patina: fig. 13.

In considerazione delle necessità di distinzione di alcune tipologie si è ricorsi anche a definizioni create per le necessità specifiche come per il deposito superficiale, il quale è stato ulteriormente suddiviso in deposito coerente e deposito incoerente. Con il termine "deposito superficiale coerente" si intende un deposito adeso al substrato ovvero non rimovibile con la sola spazzolatura, mentre con "deposito superficiale incoerente" si individua il deposito superficiale non ancora vincolato alla superficie lapidea e quindi facilmente rimovibile.

Le due tipologie di deposito sono facilmente distinguibili grazie alla loro differenza cromatica, più scuro e nero quello coerente e più grigio e chiaro quello incoerente. Questa distinzione si mostra utile per la futura predisposizione del capitolato per il restauro. A tale proposito nella mappatura grafica del degrado sono state riportate



3. *Alterazione biologica.* (A. Idone)



4. *Alterazione cromatica.* (A. Idone)



5. *Alveolizzazione. (A. Idone)*



6. *Crosta. (A. Idone)*



7. *Degradazione (erosione) differenziale. (A. Idone)*



8. *Deposito superficiale (coerente). (A. Idone)*



9. *Erosione. (A. Idone)*



10. *Fessurazione. (A. Idone)*



11. *Scagliatura. (A. Idone)*



12. *Incrostazione. (A. Idone)*



13. *Patina. (A. Idone)*



14. *Lacune. (A. Idone)*



15. *Foro antropico. (A. Idone)*



16. *Malta di chiusura dei giunti tra i conci. (A. Idone)*



17. *Malta di riempimento delle lacune. (A. Idone)*



18. Malta con funzione di copertina.
(A. Idone)

solamente le aree interessate da deposito superficiale coerente, anche in considerazione che l'identificazione del deposito superficiale incoerente avrebbe richiesto modalità di verifica seguendo tempi non compatibili con la disponibilità dell'attuale struttura di accesso alle parti alte del monumento, che consisteva in piattaforma aerea delocalizzabile.

La mappatura ha anche preso in considerazione la quantificazione delle zone di discontinuità interna del materiale attraverso l'individuazione dei vuoti presenti all'interno del materiale lapideo, originale e di sostituzione. La verifica della presenza di detti vuoti, nominati tasche, è stata effettuata battendo leggermente i conci con un martello ed ascoltando il suono proveniente dal materiale. Quando il concio, o parte di esso, emetteva un suono sordo e una bassa frequenza si segnalava come "vuoto" e si seguiva la superficie fino alla variazione sonora, questo permetteva di annotare l'ampiezza dell'area interessata dalla tasca interna.

Nonostante non fosse indispensabile per la determinazione del degrado presente, sono stati annotati i conci che si presentavano lacunosi, differenziando tra lacune dovute alla caduta di materiale lapideo a causa delle degradazioni che interessavano l'area (denominate semplicemente "lacune", fig. 14) e quelle determinate da un'asportazione del materiale da parte dell'uomo, facilmente individuabili per la loro forma regolare (denominate "fori antropici", fig. 15). L'intervento di mappatura ha preso in considerazione anche le aree interessate dalla presenza di malte, le quali mostravano avere una diversa finalità secondo il luogo di posa, variando dalla funzione di chiusura dei giunti tra i conci (fig. 16), al parziale o totale riempimento di lacune (fig. 17) o alla protezione di parti aggettanti (fig. 18).

Questa valutazione parte dalla considerazione che le malte di restauro possono reagire diversamente agli stress climatici rispetto al materiale originario e formare casi di disomogeneità che possono provocare dei movimenti o dei distacchi sia delle malte stesse e sia di parte dei conci, con evidenti ripercussioni sulla conservazione del monumento.

Sono stati, anche, annotati gli elementi metallici presenti sull'Arco, siano essi chiodi o sbarre di rinforzo per i conci.

Le modalità operative impiegate per la mappatura

In considerazione della dimensione del monumento è stato necessario provvedere a definire delle modalità operative al fine di pianificare le operazioni di riconoscimento del degrado. La mappatura del degrado è stata

realizzata con un'osservazione da terra per le parti basse, come i basamenti dei piloni, facilmente accessibili, mentre per le zone poste a maggiore altezza si è reso necessario l'ausilio di una piattaforma aerea con braccio mobile, allo scopo di ottenere una migliore e più ravvicinata visione delle aree di degrado.

Per la completa "lettura conservativa" del monumento sono state necessarie tre campagne di mappatura con piattaforma aerea. Il rilievo utilizzato per il riporto della mappatura era costituito dalle ortofoto metricamente corrette rilevate dal gruppo di ricerca guidato dall'arch. Paolo Salonia (ITABC - CNR di Roma). A queste basi sono stati sovrapposti dei lucidi sui quali sono state annotate le tipologie di degrado differenziate dall'impiego di colori diversi.

La mappatura è stata accompagnata da una campagna fotografica di supporto effettuata direttamente dai rilevatori del degrado, questa prassi si è rivelata molto utile per la verifica del lavoro svolto in campo, soprattutto nella fase di contorno delle aree che ha seguito il rilievo sul campo.

A causa delle problematiche di accesso, non risolvibili in modo adeguato con il ponte mobile, non è stato possibile realizzare la mappatura del degrado della volta interna dell'arco e questo rappresenta una delle fasi di maggiore approfondimento ora in corso.

L'elaborazione informatica dei dati

Le aree interessate dalle varie tipologie di degrado verranno trasferite dal sistema cartaceo su un software di gestione, basato sullo sviluppo informatico conosciuto come Arkis, il quale permetterà una mappatura georeferenziata e la quantificazione metrica delle varie forme presenti.

Questo programma, infatti, oltre al sistema GIS è in grado di definire delle aree utili per rappresentare le diverse tipologie di degrado e di legare ad ogni entità grafica una serie di informazioni contenute in un database con campi preimpostati. La qualità metrica e la funzione GIS, permettono di calcolare l'estensione di una singola area di degrado, di un'intera tipologia o di varie tipologie, fornendo un utile strumento per stimare le varie necessità operative e i relativi costi necessari per i vari interventi conservativi da effettuare sul monumento, in pratica la base per il capitolato di appalto. Il sistema non si presenta come un comune rilievo, ma come uno strumento di lavoro che può essere anche sottoposto ad interrogazioni incrociate.

Grazie a questo strumento informatico, che trova sempre più spazio nelle operazioni di progettazione del LAS, sarà possibile anche in un prossimo futuro integrare la mappatura con ulteriori informazioni, magari provenienti da future campagne di studio.

La fase di trasferimento è ancora in corso e verrà comparata con una segmentazione (mappatura automatica mediante un algoritmo che distingue le differenze di colore fra un pixel e quelli che stanno a lui accanto) allo scopo di mettere a punto un metodo di confronto fra un rilievo diretto e uno virtuale. Questo approccio è utile in vista della predisposizione di sistemi di monitoraggio basati sulla comparazione di immagini della stessa area acquisite in tempi diversi. Le aree di degrado individuate sono riportate sull'ortofoto in ambiente AutoCAD e ripartite secondo la tematizzazione che verrà utilizzata per l'inserimento dei dati in Arkis. Ad ogni area di degrado viene associato un



- | | | |
|--|--|--|
| — Malta | — Tasche | — Scagliatura |
| — Foro antropico | — Deposito superficiale coerente | — Patina |
| — Erosione | — Alveolizzazione | — Pigmentazione |
| — Fessurazione | — Alterazione biologica | — Metalli |
| — Lacuna | — Punti di prelievo | |

19. Le aree di degrado individuate disegnate su un'ortofoto in ambiente AutoCAD, suddivise secondo la tematizzazione che verrà utilizzata per l'inserimento dei dati in Arkis. (Foto CNR, elaborazione grafica A. Idone)

numero che corrisponde ad una serie di informazioni contenute in una tabella Excel suddivisa come le schede Arkis. Queste informazioni possono, quindi, essere trasferite su Arkis anche da un operatore che non conosce nel dettaglio la situazione del monumento preso in esame. La fase attuale di verifica sperimentale ha previsto, per il momento, il primo trasferimento delle mappature su un'area pilota sul monumento, al fine di avere in tempi rapidi alcuni parametri di confronto e permettere di ottimizzare il prodotto finito in Arkis. Si potranno così ottenere migliorie, accorgimenti e ridurre i problemi che potrebbero sorgere durante il caricamento dei dati. La parte di monumento interessata è stata quella del lato sud nel fronte est. La scelta è stata motivata dalla presenza, su questo lato, di quasi tutte le tipologie di degrado riscontrate sul monumento e, anche, dalla complessità derivante da un'alta percentuale di sovrapposizione delle aree di degrado (fig. 19).

Commento alla mappatura

Sulle facciate esterne, le alterazioni biologiche sono concentrate sulla parte bassa dei basamenti dei piloni e sulla seconda cornice, ad eccezione del lato sud che presenta una scarsa colonizzazione biologica limitata ad alcuni conci del basamento del pilone. Il lato più degradato da specie biologiche è sicuramente quello nord, che presenta un marcato processo di pedogenesi in tutta la fascia bassa del basamento (fig. 20) e muschi sulla seconda cornice. Anche il lato est presenta una colonizzazione biologica notevole. Il lato ovest presenta alcune aree interessate da patine biologiche scure. La volta, invece, non presenta alterazioni biologiche osservabili. Da questa lettura appare evidente che i problemi di crescita biologica sono fortemente condizionati dall'esposizione e dall'altezza. Questo fa avanzare l'ipotesi di un forte coinvolgimento nella crescita dell'area verde che circonda il monumento e

che ha un sistema di irrigazione continuo che, probabilmente, è troppo vicino alle superfici dell'arco.

L'alterazione cromatica si osserva in zone estese tra la prima e la seconda cornice dei lati nord, ovest ed est, mentre solo per il lato ovest si estende fino ad arrivare alla seconda. Il lato che presenta le maggiori intensità di colore risulta essere quello con esposizione a nord. Sul lato sud, invece, si riscontra alterazione cromatica in modo esteso soprattutto nella zona alta e si limita solo alla prima cornice nelle parti più basse. Il lato ovest e il lato nord sono scarsamente interessati da alterazione cromatica nelle zone più alte, fanno eccezione alcuni conci isolati o parti di essi. Non si osserva questa tipologia di degrado nella parte interna della volta, anche se questa risulta fortemente ricoperta da forme di deposito coerente e incoerente che possono celare le eventuali alterazioni cromatiche presenti. La mappatura delle alterazioni cromatiche ha messo in evidenza alcune problematiche di esposizione alle quali si devono aggiungere valutazioni non facilmente deducibili relative alla disomogeneità dei materiali e alla loro minore o maggiore sensibilità ai fenomeni di ossidazione che le causano. La rilevante presenza nella zona sud ed est, rispetto a quelle nord e ovest, può portare a ipotizzare un'influenza del fenomeno dovuta ai cicli di irraggiamento diretto e agli apporti di umidità provenienti dalla zona più prossima all'alveo fluviale.

La volta è interessata in modo evidente da un processo di alveolizzazione abbastanza diffuso. Infatti, sulla maggioranza dei conci delle due file sopra la prima cornice verso nord si nota la prima fase di questo processo, mentre su alcuni conci della seconda e della terza fila, sopra la prima cornice verso sud, l'alveolizzazione è decisamente visibile e diffusa e si presenta con un sistema di fori e cavità collegati fra loro (fig. 21), in questo caso, tuttavia, si potrebbe verificare la predisposizione al fenomeno da parte delle disomogeneità interne della roccia. Si osserva-



20. *Degrado da specie biologiche. (A. Idone)*

no alveolizzazioni di estensione minore anche sul lato est. Le croste nere sono presenti su alcuni conci dei lati nord e ovest. La volta, grazie anche alla sua alta percentuale di copertura da parte del deposito superficiale, presenta croste estese soprattutto nella zona del basamento dei piloni.

Il deposito superficiale coerente si osserva su tutte le facciate interne ed esterne del monumento, con intensità più elevate tra il basamento delle colonne e i capitelli e sulla maggior parte delle mensole orizzontali. Inoltre, si osservano delle aree limitate che mostrano una intensità elevata del fenomeno, soprattutto tra la prima e la seconda cornice del basamento nei lati est, nord (fig. 22) e ovest. Il lato sud presenta una diffusione del fenomeno deposito che appare più intensa, rispetto a quella presente sugli altri lati, in questo caso, infatti, l'area di pertinenza si estende anche alla zona fra le due cornici basse. La superficie interna della volta presenta un deposito molto intenso ed esteso in modo abbastanza omogeneo, se si escludono i bordi dell'arco dove sono invece evidenti i fenomeni di erosione da dilavamento accompagnati da depositi concrezionali.

L'erosione è presente principalmente su alcuni rocchi delle colonne e su alcuni conci, praticamente in modo coerente per tutti i lati, mentre si osserva in modo particolare, e solo per pochi conci, la presenza di una forma di erosione differenziale, in pratica sulla prima fila da terra sia del lato ovest e sia del lato sud e su un blocco del basamento del lato est.

Le fessurazioni sono presenti nelle zone alte di tutte le



22. *Deposito superficiale coerente. (A. Idone)*



21. *Alveolizzazione. (A. Idone)*

facciate, in corrispondenza della decorazione a triglifi, sulle metope e sulla cornice sottostante. Sul lato ovest, inoltre, appaiono fessurati alcuni rocchi delle colonne, diversi conci di facciata e alcuni conci che costituiscono l'apertura dell'arco. Anche sul lato sud si può riscontrare la presenza di conci e rocchi variamente fessurati.

La presenza di incrostazioni appare estesa ma di scarso aspetto materico, interessando praticamente le facciate nord e ovest (fig. 23). La loro collocazione comprende la parte alta del monumento in corrispondenza della decorazione a triglifi, delle metope e della cornice sottostante. Sul lato sud, invece, le incrostazioni sono limitate ad aree di piccole dimensioni, hanno un aspetto tipico con colorazione bianca più intensa e si collocano sulla prima e sulla seconda cornice. Sul lato esposto a est non si osservano incrostazioni.

La patina ha una diffusione molto scarsa sul lato nord, mentre sui lati ovest e sud, come anche per l'est, è abbastanza diffusa ed interessa conci e rocchi a tutte le altezze per aree di medie dimensioni. Non si osserva patina sulla volta. Questa valutazione sembra legare fortemente la genesi delle patine all'esposizione diretta ai raggi solari.

Le scagliature si concentrano principalmente sul basamento dei piloni e sui basamenti delle colonne, e spesso evidenziano fenomeni di distacco avanzati. Sul lato nord ed est si notano scaglie anche sui rocchi delle colonne, mentre il lato sud presenta scagliature di dimensioni abbastanza elevate su diversi conci. Alcuni conci del lato ovest, infine, sono interessati da micro-scagliature.



23. *Incrostazioni. (A. Idone)*



24. *Lacune. (A. Idone)*

La presenza di tasche è stata verificata su tutti i lati esterni del monumento, con una densità minore nella facciata ovest rispetto alle altre. Infatti, il lato ovest presenta tasche principalmente sui basamenti dei piloni e su alcuni rocchi delle colonne, mentre il lato nord ed il lato est hanno tasche diffuse sulla metà inferiore, anche di dimensioni elevate. Il lato sud, oltre a mostrare tasche su tutta la facciata, presenta una situazione particolarmente critica



26. *Croste scure. (A. Idone)*



25. *Lacune riempite da malte. (A. Idone)*

in corrispondenza della seconda cornice e della zona di basamento tra le due cornici, entrambe quasi interamente interessate dalla presenza di tasche. Questa rilevanza nella parte sud del monumento può indicare l'apporto dovuto ai continui cicli termici e alla dilatazione diversa che viene ad avere la superficie rispetto agli strati sottostanti non raggiunti dall'apporto energetico per l'inerzia termica della roccia stessa. Di origine diversa, ovviamente, è la genesi di lati nord ed est, perciò le valutazioni complessive potranno essere fatte solo a seguito di tutto il rilevamento climatico-ambientale.

Le lacune sono diffuse a tutte le altezze, ad eccezione delle parti più alte ricostruite negli interventi precedenti e composte da materiale non originario, probabilmente a carattere cementizio. Esse interessano principalmente i basamenti dei piloni, le colonne (fig. 24) e tutte le cornici aggettanti, in particolare la seconda cornice. Sui lati nord e sud alcuni conci mancano totalmente della parte superficiale; le aree più lacunose sono la parte alta della volta, con lacune molto estese e la parte bassa del basamento del lato nord, in corrispondenza dell'alterazione biologica. La diversa distribuzione mostra la possibilità del contributo di diverse cause a cominciare da quella antropica legata alle vicissitudini storiche del monumento.

Si osservano fori antropici di dimensioni medio-piccole su tutte le facciate.

Sul lato sud si osserva una densità maggiore nella parte medio-alta della facciata e sul basamento tra le due cornici, mentre il lato ovest presenta densità simili per le varie altezze, ma minori per la zona dell'apertura del fornice, e i lati nord ed est pure. Sulla volta, i fori antropici sono concentrati nella parte alta e sono di dimensioni maggiori di quelli presenti sui lati esterni. Le malte riempiono parzialmente buona parte dei fori antropici, tranne alcuni nella parte alta delle facciate, e i giunti tra i conci, soprattutto nel lato nord e nel lato ovest.

Le malte, inoltre, sono state utilizzate come coperture durante i precedenti interventi di conservazione e hanno riguardato, in modo omogeneo e diffuso, sia i capitelli sia il piano orizzontale del basamento di tutti i lati. Sul lato sud esse sono presenti anche sulla mensola sopra la cornice alta e sui lati ovest e nord si trovano malte anche in corrispondenza della prima fila da terra, anche se scalzate dal progredire della lacunosità.

Infine, sulla volta (fig. 25) e sui lati ovest ed est molte lacune superficiali e profonde sono parzialmente riempite da malte.

I metalli sono presenti sotto forma di barre, che fuoriescono dal piano orizzontale del basamento, e di chiodi.



27. Deposito biologico dovuto al guano. (A. Idone)

I chiodi, anche di grandi dimensioni, si trovano di lato ai capitelli di quasi tutte le colonne, mentre altri, di medie dimensioni, sono visibili sulle facciate. In particolare, una serie di questi chiodi è infissa nella linea di giunzione tra la seconda cornice del pilone nord del lato ovest e la fila di conci sottostanti. Queste presenze possono essere attribuite ad interventi di decorazione del monumento, magari per particolari festività o ricorrenze, ma oramai dimenticate.

La mappatura dei fenomeni di degrado si conclude con la localizzazione della presenza di croste scure formatesi nella zona di sottosquadro del tetto in ardesia (fig. 26) e quella di nidi di uccelli, sia all'interno dei capitelli delle colonne (fig. 27), sia in alcuni dei fori tra i conci, con la conseguente presenza di un deposito biologico dovuto al guano prodotto dagli stessi sulla superficie del monumento.

La diagnostica di laboratorio. Il prelievo dei campioni

Il piano di campionamento si avvale delle informazioni acquisite durante la mappatura del degrado e dovrebbe consentire una scelta più consapevole, da parte degli operatori, delle tipologie di degrado e delle aree da campionare, nonché, di conseguenza, del numero di prelievi da effettuare a campione delle varie forme di degrado.

A queste premesse si devono aggiungere considerazioni relativamente alla rappresentatività dei prelievi. La rappresentatività è ottenibile sia valutando la necessità di campionare tutti i fenomeni di degrado presenti sul monumento, sia avendo cura di effettuare un campionamento che rappresenti la variabilità dei campioni all'interno della singola tipologia di degrado e della singola area presa in esame. Questi problemi sono in buona parte risolvibili se si fa un corretto uso dei dati rilevati con la mappatura del degrado.

In ordine alle considerazioni fatte, il prelievo dei campioni andrebbe effettuato solo a conclusione della mappatura del degrado e, possibilmente, anche del suo trasferimento su supporto informatico. Infatti, in occasione della trasposizione informatica dei dati raccolti durante la mappatura del degrado, vi è un'inevitabile rielaborazione dei dati stessi, la quale consiste sia nel rivedere l'interpretazione attribuita agli stessi nelle valutazioni di campo, sia nel confrontare la mappatura finale con le foto

realizzate sulla piattaforma aerea e con l'ortofoto stessa. Questo ritornare sulle proprie valutazioni determina una maggiore consapevolezza delle aree critiche che richiedono campionamenti più approfonditi o, viceversa, la soluzione di alcune questioni che si erano aperte in fase di mappatura in campo.

Al piano di campionamento realizzato non si è, però, potuto far seguire il progettato prelievo dei campioni per ragioni essenzialmente di tempistica, poiché per la realizzazione della completa mappatura del degrado in Arkis occorrono diversi mesi.

Al fine di non interrompere il processo analitico, si è deciso quindi di realizzare una serie di prelievi già durante la fase di mappatura, i quali, in ogni caso, permettono di ottenere informazioni indicative e di perseguire i fini di rappresentatività definiti nel piano di campionamento, visto che potranno essere in seguito completati.

Sono stati prelevati 58 campioni cui è stata assegnata la sigla ZE seguita dal numero progressivo del campione.

I campioni numerati da ZE01 a ZE14 si riferiscono, in sequenza diretta, alla caratterizzazione del deposito superficiale coerente e incoerente e sono stati prelevati sulle superfici orizzontali e verticali della volta dell'arco a varie altezze. Questa scelta è finalizzata alla valutazione delle eventuali differenze di composizione del deposito in funzione della maggiore o minore altezza del punto di prelievo.

Il campionamento del deposito superficiale coerente ha comportato il prelievo delle scaglie di puddinga utilizzando martello e scalpello (i tentativi di prelievo col bisturi non hanno sortito effetto, dimostrando la tenacità del materiale), mentre il deposito superficiale incoerente è stato campionato con l'ausilio di un pennello.

I prelievi sono stati effettuati in modo da mantenere una corrispondenza nella posizione tra i campioni di deposito coerente e quelli di incoerente, ovvero nell'area spennellata per il deposito incoerente è stata successivamente prelevata la scaglia con il deposito coerente. La stessa coerenza ha riguardato la geometria dei punti di prelievo agendo sia sulle superfici orizzontali e sia sulle superfici verticali. Al fine di mantenere questa coerenza nella zona di prelievo dei due diversi tipi di deposito, i campioni per le superfici verticali sono stati effettuati su un concio posto immediatamente sopra la zona costituente la superficie orizzontale sulla quale è stato realizzato il prelievo incoerente.

I campioni successivi (da ZE15 a ZE58) sono stati prelevati seguendo due differenti criteri.

Il primo criterio è stato quello di raggiungere un buon livello di rappresentatività almeno per una tipologia di degrado e a tale proposito si è stabilito di continuare il campionamento dei depositi superficiali coerenti e incoerenti, per i quali si disponeva già dei primi 14 campioni, ma effettuandolo sistematicamente su tutte le singole aree individuate con la mappatura.

Questo metodo di campionamento era finalizzato a verificarne la rappresentatività sulla mappatura, fino a quel momento solo ipotizzata teoricamente.

I prelievi di deposito superficiale sono stati realizzati su tutte le facciate esterne del monumento. Si è stabilito che i prelievi andassero eseguiti in alcune parti di particolare rilevanza per questo tipo di fenomeno.

In pratica si sono prese rispettivamente in considerazione la parte alta del monumento in corrispondenza della

decorazione a triglifi e metope, la parte intermedia a circa metà facciata, identificata con la fila di conci che sottostà alla sonda che registra temperatura e umidità relativa a contatto, e per la parte bassa all'altezza della cornice del basamento dei piloni.

Nel caso della facciata ovest, sono stati campionati sia il pilone verso sud sia quello verso nord e sono stati realizzati due prelievi su un concio che presentava un consistente deposito, posto di lato all'arco nella parte alta.

Nelle zone in cui non vi era deposito superficiale incoerente si è proceduto al solo prelievo di quello superficiale coerente.

Inoltre, si è ritenuto interessante campionare il deposito superficiale coerente di due conci adiacenti posti al centro dell'apertura dell'arco sul lato est, uno dei quali di colore molto chiaro, probabilmente frutto di un rifacimento, e l'altro scuro, questo per cercare di verificare se il deposito avesse subito alterazioni di composizione fra le parti da sempre esposte e quelle di recente esposizione, rappresentate appunto dal concio più chiaro che appare rifatto totalmente e di probabile composizione cementizia.

Si sono ottenuti così, in totale, 22 campioni di deposito superficiale coerente e 17 campioni di deposito superficiale incoerente.

Il secondo criterio preso in considerazione è stato quello di avere almeno un campione per tipologia di degrado. Nel corso della mappatura si è provveduto al prelievo di campioni nelle varie aree di degrado, avendo cura di prelevare frammenti rappresentativi della tipologia di degrado e di effettuare più prelievi per le tipologie in cui si fosse riscontrata un'elevata variabilità interna. Questa serie di campioni è stata ottenuta mediante distacco di scaglie con martello e scalpello, grattatura a bisturi per le incrostazioni e distacco manuale per croste e alterazioni cromatiche che avevano già subito un totale o parziale distacco.

Si sono prelevati sei campioni di croste nere. Le alterazioni cromatiche sono state prelevate in due punti.

Sono state, inoltre, prelevate cinque incrostazioni bianche e un campione di incrostazione gialla e tre patine.

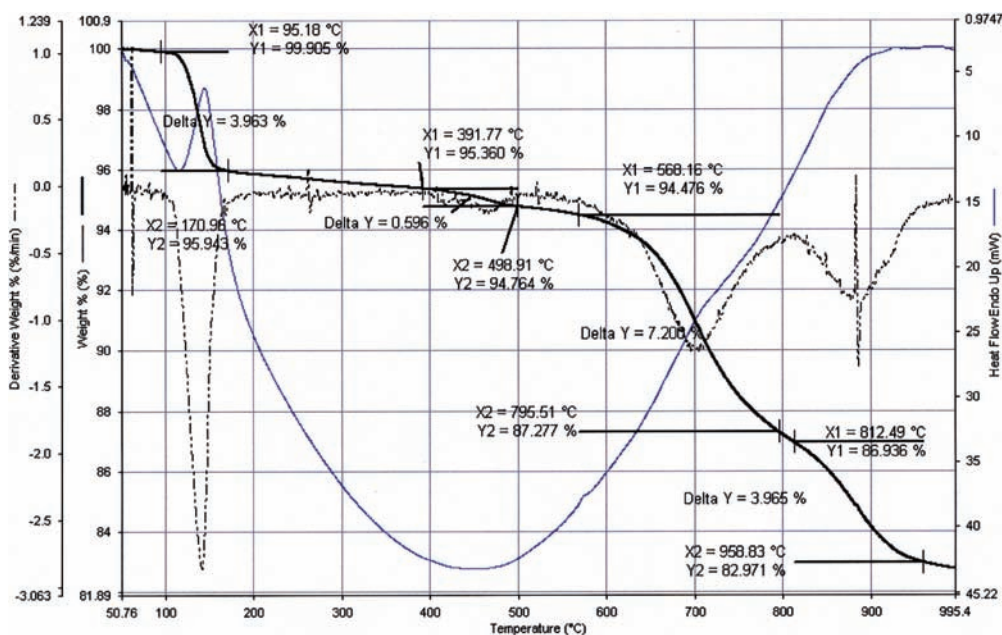
In questa fase, le malte non sono state prelevate, ma se ne sono raccolte due che appaiono in fase di caduta e già quasi completamente distaccate, anche se ancora nella posizione originaria. Lo studio delle malte sarà completato in seguito e richiederà un campionamento sistematico.

Una campagna di prelievi a parte è stata riservata alle alterazioni biologiche. Questi campioni, dato il loro numero elevato e la loro natura di prelievi preliminari non sono stati classificati singolarmente ma in gruppi e in base all'esposizione della facciata del monumento. Anche in questo caso è previsto un ampliamento di indagine che alla prima fase di identificazione delle specie maggiormente presenti, farà seguire una campagna di prelievi più mirata per la completa caratterizzazione.

Il programma delle analisi

In funzione delle necessità di conoscenza è stata accoppiata alla pianificazione dei prelievi la definizione delle fasi di diagnostica, in modo da ottimizzare anche le quantità necessarie per la più completa e possibile risoluzione dei problemi che ci si era posti sin dalla mappatura del degrado. Di questi campioni si è cercato di analizzare solo le parti costituenti il degrado, non prendendo in considerazione i clasti e la matrice della puddinga, poiché avrebbero costituito un fattore di inquinamento.

Le tecniche selezionate dovevano caratterizzare al meglio i campioni in analisi ed essere in grado di fornire le risposte analitiche necessarie sia dal punto di vista della composizione chimica che della composizione mineralogica, consentendo una prima stima delle quantità relative presenti. L'utilizzo di tecniche analitiche sofisticate è stato, quindi, riservato ad una seconda fase, in cui vi sarà una conoscenza preventiva del campione che consentirà una valutazione di quali siano le lacune di conoscenza su cui focalizzare l'attenzione e, di conseguenza, la definizione delle tecniche analitiche all'uopo necessarie.



% ΔP	
3.96	Acqua disidratata (gesso) 95-171 °C
0.60	Dec. ossalati 391-499 °C
7.20	Dec. carbonati 568-796 °C
3.97	Dec. nitrati 812-959 °C
82.76	Residuo dopo combustione a 1000 °C

28. Esempio di analisi TG/DTA sul campione ZE03 con relativa interpretazione, espressa in % di perdita di peso (P) identificata e attribuita alle varie temperature in cui si verifica un cambiamento di peso o di stato; la linea continua indica la misura di perdita di peso e le altre rappresentano la perdita differenziale (tratteggiata) e derivata (azzurra continua).

Deposito incoerente													
C	mg	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Totc	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	C ₂ O ₄ ²⁻	TotA	Δ(A-C)
01	15,0	5,02	1,72	3,59	52,89	63,22	0,59	7,35	4,00	25,71	0,04	37,69	-25,53
02	14,2	3,56	1,54	4,02	50,06	55,62	0,38	4,71	5,24	20,66	0,05	31,04	-24,58
Deposito coerente													
C	Mg	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Totc	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	C ₂ O ₄ ²⁻	TotA	Δ(A-C)
03	15,2	3,91	0,89	1,57	82,46	88,83	0,22	3,59	2,59	54,11	0,06	60,57	-28,26
04	16,8	2,88	1,49	2,44	87,15	93,96	0,31	3,68	4,56	58,96	0,06	67,57	-26,39
Croste nere													
C	Mg	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Totc	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	C ₂ O ₄ ²⁻	TotA	Δ(A-C)
15	12,3	5,89	1,44	3,13	360,86	383,62	0,39	4,09	4,73	250,98	0,18	260,37	-123,25
26	140,2	0,59	0,34	0,41	62,65	63,99	0,10	0,46	0,43	49,10	0,03	50,12	-13,87
Alterazione cromatica													
C	Mg	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Totc	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	C ₂ O ₄ ²⁻	TotA	Δ(A-C)
32	34,3	0,94	1,42	0,89	37,40	40,65	0,05	0,56	0,32	18,91	0,01	19,94	-20,71
57	11,4	1,88	1,34	2,98	218,34	224,54	0,44	1,27	0,99	162,36	0,07	165,13	-59,41

Tabella 1. Esempio dei risultati ottenibili con l'analisi in cromatografia ionica per due prelievi presi a campione per ogni tipo di alterazione determinata; l'eccesso di cationi riscontrabile si può attribuire a sali come i carbonati, la cui frazione anionica non è determinata con queste tecniche, il campione 57 mostra anche presenza di ione ammonio e fosfati (qui non riportata per questioni di coerenza della tabella), generalmente indice di decomposizione biologica.

L'analisi della composizione chimica ha previsto l'impiego della spettrofotometria infrarossa con trasformata di Fourier (FTIR), che consente l'individuazione della presenza di sostanze organiche ed inorganiche attraverso l'individuazione dei loro gruppi funzionali. La tecnica FTIR ha il vantaggio di utilizzare una quantità piccolissima di campione per l'analisi il che consente di non disperdere troppo campione e mantenere il resto per la prosecuzione del percorso analitico.

In considerazione della valenza qualitativa del FTIR e al fine di una quantificazione di alcuni dei composti con essa individuati, si è ricorsi all'impiego di altre due tecniche quali la termogravimetria accoppiata ad analisi termica differenziale (TG-DTA) e la cromatografia ionica (IC).

Con la TG-DTA si può determinare la percentuale in peso di tutti i composti appartenenti al campione che subiscano una trasformazione termica chimica o fisica tra i 50 °C e i 1000 °C. Si può, inoltre, avere delle indicazioni sulla presenza di fasi mineralogiche che compiano una transizione di fase in questo intervallo di temperatura, fig. 28.

La cromatografia ionica, invece, è una tecnica che consente la determinazione quantitativa delle specie ioniche solubili dei Sali di neoformazione che si formano a seguito

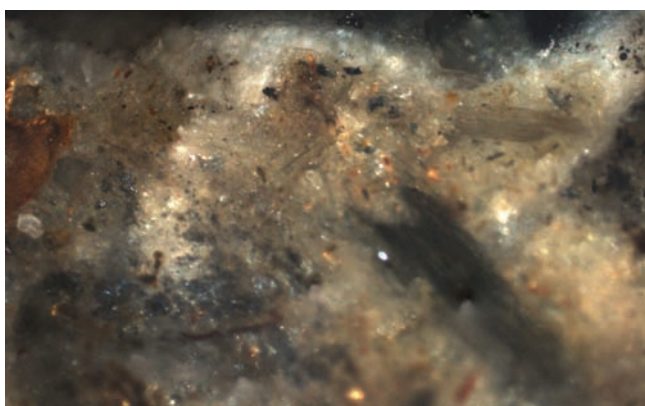
delle trasformazioni degradative del materiale originale del monumento, tabella 1.

Con l'utilizzo di queste tre tecniche analitiche si può avere una buona indicazione quali-quantitativa dei composti chimici.

Per quanto riguarda la conoscenza della morfologia e degli strati che formano il campione, e quindi la reale indicazione del contributo apportato all'analisi da parte della roccia rispetto ai fenomeni di degrado che si vogliono quantificare, si è scelto l'utilizzo delle sezioni lucide, poiché consentono la visione dei clasti interni alla puddinga e la visione diretta della distribuzione delle varie forme di degrado, come si può vedere dalla figura 29.

Si è, inoltre, programmata una serie di analisi di diffrazione di raggi X (XRD) da effettuarsi sulle polveri o sul campione macinato. Questo tipo di analisi consente una determinazione qualitativa di tutti i composti cristallini presenti nel campione, permettendo un'identificazione diretta degli stessi.

Le analisi XRD sono state realizzate sui campioni prelevati all'interno dell'arco, in quanto essi presentavano una sufficiente quantità di campione, anche per questo tipo di determinazione.



Luce visibile



Luce UV

29. Visione delle sezioni stratigrafiche del campione ZE03 al microscopio a luce riflessa, ingrandimento al microscopio pari a 100x; l'analisi UV viene effettuata per verificare la presenza di sostanze grasse o patine biologiche attive. (A. Idone, D. Vaudan)

Considerazioni sui risultati

L'interpretazione dei risultati è sempre il momento cruciale di ogni analisi. La presenza di possibili fonti di inquinamento deve essere attentamente presa in considerazione, per esempio i silicati individuati potrebbero avere un'origine legata ai composti costituenti la puddinga, incidentalmente rimossi dalla matrice originaria durante la fase materiale del prelievo. Questo problema è parzialmente ridotto con una selezione del campione effettuata sotto microscopio stereoscopico, soprattutto per i campioni di deposito superficiale incoerente, ma spesso questa tecnica non è sufficiente a rimuovere completamente l'apporto fornito all'analisi dai grani più piccoli di materiale lapideo.

Non solo i silicati possono rappresentare un problema di interpretazione, ma vi può essere anche il contributo dei carbonati, i quali, a loro volta, potrebbero presentare alcuni differenti fenomeni di degrado, dovuto per esempio a dei distacchi della matrice carbonatica della puddinga o a dei clasti calcarei spuri.

Il gesso è presente sulla superficie del monumento in quanto componente del particolato atmosferico o prodotto di degrado vero e proprio.

Gli ossalati sono prodotti di degrado caratteristici dei substrati lapidei, ma la loro origine non è ancora stata chiarita. Alcuni sostengono che si formino dagli acidi ossalici secreti da organismi biologici, quali licheni e funghi, che hanno colonizzato in passato il monumento, altri fanno risalire l'origine ad una trasformazione delle sostanze organiche utilizzate in passato per il restauro del monumento, quali miscele per la pulitura delle superfici e sostanze protettive. Si può comprendere quindi come

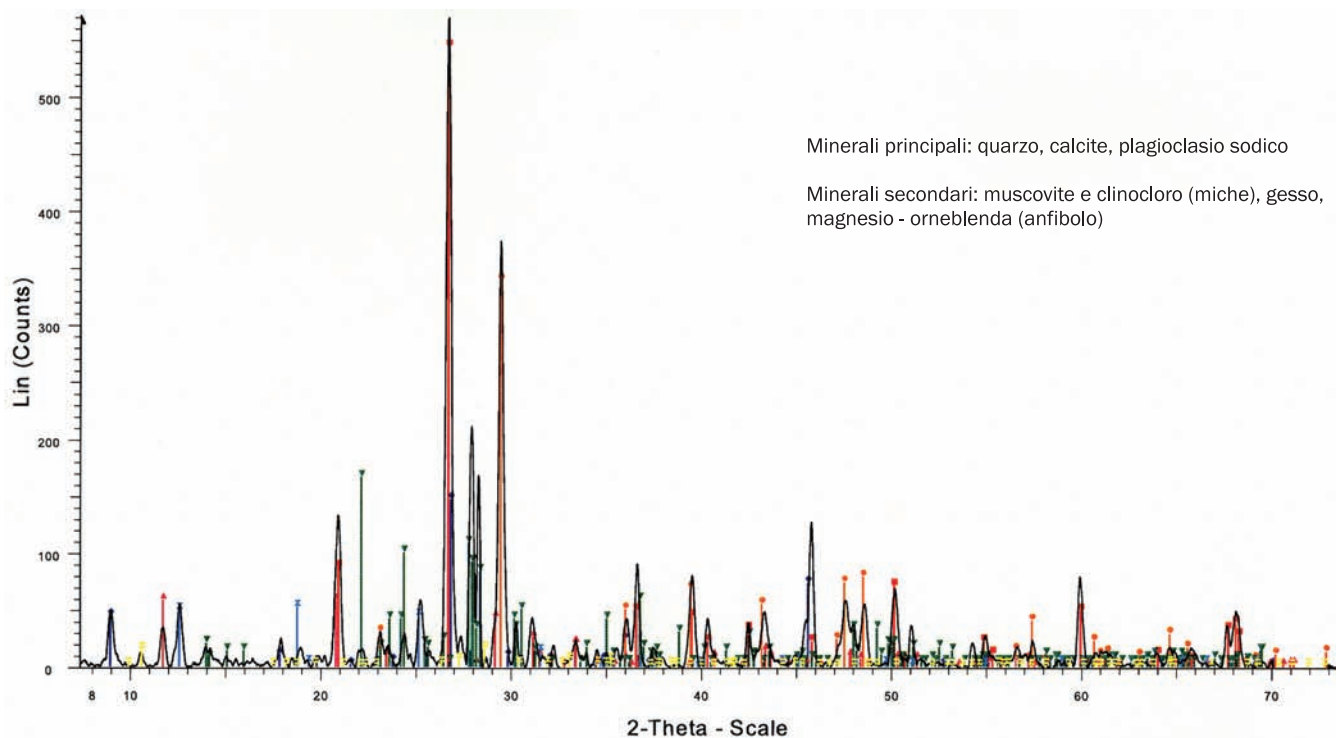
questo tema possa essere di interesse, dato che permetterebbe di acquisire informazioni rispetto al ciclo conservativo che il monumento può avere subito nel tempo.

La presenza di nitrati è stata in questo caso attribuita all'attività biologica sul monumento, resta il problema della produzione di nitrati per azione dei precursori presenti nelle piogge e legati all'aumento di questo tipo di composto, tuttavia si deve tenere in considerazione la grande solubilità dei nitrati e la loro mobilità che li rende poco adatti ad azioni di cumulo.

I composti organici, di cui non è stato effettuato, per il momento, un riconoscimento più specifico, possono essere presenti sul monumento come prodotti inquinanti (soprattutto residui di combustibili e gas domestici), pollini trasportati dal vento o eventuali residui di trattamenti superficiali che, tuttavia, non sembrano rappresentare il problema di questo monumento.

Fatte queste premesse, si può operare un confronto fra i campioni di deposito superficiale relativi alla frazione incoerente e quelli della parte coerente, cercando di verificarli a coppie o in particolar modo a quelli prelevati alla stessa altezza, tabella 2.

In generale, anche se questo è particolarmente evidente per i campioni provenienti dalla prima cornice, la differenza composizionale fra i campioni di deposito incoerente e quelli di deposito coerente è dovuta soprattutto alla presenza, nei primi, di composti organici, probabilmente di origine biologica, inoltre, si può stabilire con il supporto delle analisi quantitative, citate in precedenza, che i campioni di deposito coerente presentano quantità maggiori di gesso.



ze03scaglia - File: ze03scaglia.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Operations: X Offset 0.092 | Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 95.44 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4,91344 - b
00-046-1409 (I) - Muscovite, vanadian barian - (K,Ba,Na)0.75(Al,Mg,Cr,V)2(Si,AlV)4O10(OH,O)2 - Y: 25
00-047-1743 (C) - Calcite - CaCO3 - Y: 59.44 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Rhombo, H.axes - a 4,98960

00-033-0311 (*) - Gypsum, syn - CaSO4·2H2O - Y: 10.13 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic - a 6.
00-019-1184 (I) - Albite, ordered - NaAlSi3O8 - Y: 29.16 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Triclinic - a 8,1380
00-012-0185 (D) - Clinoclino - (Mg,Fe,Al)6(Si,Cr)4O10(OH)8 - Y: 9.07 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Mo
00-045-1371 (I) - Magnesiohornblende, ferroan - Ca2(Mg,Fe+2)4Al(Si7Al)O22(OH,F)2 - Y: 2.66 % - d x b

30. Esempio di analisi con XRD del campione ZE03 relativo al deposito coerente (la diffrazione è stata effettuata presso il Dipartimento di Mineralogia dell'Università di Torino prof.ssa Ivaldi).

Campione	Carbonati	Silicati	Solfati	Nitrati	Ossalati	Organico
ZE01	+++	++	+++	+	++	+
ZE02	++	+++	+++	++	+	+
ZE05	++	+++	+	+	+	+
ZE06	+	++	+++	++	+	+
ZE09	++	++	+++	+	+	+
ZE11	+	++	+++	+	++	-
ZE13	tr	+	+++	+++	tr	-
ZE56	+	+	+++	+	++	-

a)

Tabella 2. Esempio di confronto fra i due tipi di deposito, a) incoerente, b) coerente, in questo caso analizzati con la tecnica FTIR.

Campione	Carbonati	Silicati	Solfati	Nitrati	Ossalati
ZE15	++	+	+++	-	+
ZE26	+++	++	+++	-	+
ZE26 rosso	++	+	+++	-	+
ZE58	+++	+	++	-	-

Tabella 3. Analisi con FTIR dei componenti le croste nere.

Campione	Carbonati	Silicati	Solfati	Nitrati	Ossalati
ZE32	+++	+++	+++	-	-
ZE57	+	++	+++	+	+

Tabella 4. Analisi con FTIR dei componenti le alterazioni cromatiche.

Campione	Carbonati	Silicati	Solfati	Nitrati	Ossalati
ZE46	+	++	+++	+	+

Tabella 5. Analisi mediante FTIR delle incrostazioni bianche.

Campione	Carbonati	Silicati	Solfati	Nitrati	Ossalati
ZE33	+	+	-	+	+++

Tabella 6. Analisi mediante FTIR della patina.

Campione	Carbonati	Silicati	Solfati	Nitrati	Ossalati
ZE23	+	++	+++	+	+

Tabella 7. Analisi mediante FTIR dell'incrostazione gialla.

La seconda e la terza cornice appaiono più omogenee e con minore interferenza della parte organica.

Il confronto tra tutte le tipologie di degrado mette in luce alcune differenze nella composizione ed alcune somiglianze fra tipologie apparentemente diverse.

I campioni di deposito superficiale incoerente si differenziano, quindi, per la presenza in alcuni dei primi di composti organici, ma le analisi con TG-DTA hanno mostrato anche la presenza, per questo tipo di deposito, di silicati

Campione	Carbonati	Silicati	Solfati	Nitrati	Ossalati
ZE03	+++	+++	+++	+++	++
ZE04	++	+++	+++	+	+
ZE07	+	++	+++	+++	++
ZE08	++	+	+++	++	+
ZE10	+	++	+++	+	+
ZE12	+	++	+++	+	+
ZE14	++	+	+++	+++	+
ZE54	+++	++	++	-	-
ZE55	++	++	+++	+	+
ZE57	+	++	+++	+	+

b)

idri, ovvero con molecole d'acqua nella loro struttura. L'analisi con l'XRD, tra l'altro, mette in luce la presenza di pirosseni in tre campioni, sempre di deposito incoerente.

Le croste nere si distinguono dalle altre tipologie di degrado per la scarsa presenza di ossalati e nitrati (tabella 3), al contrario, i campioni di alterazione cromatica sono caratterizzati per l'elevata presenza di carbonati, correlata a scarsissime quantità di ossalati e scarse quantità di solfati e nitrati (tabella 4).

Il campione di incrostazione bianca è costituito in larga parte di solfati, seguiti dai silicati, vedi tabella 5.

La patina è pressoché interamente costituita di ossalati, con l'assenza dei solfati e la presenza di una componente organica, tabella 6.

Infine, il campione di incrostazione gialla presenta le stesse caratteristiche di quello di incrostazione bianca, con una presenza leggermente minore di carbonati e maggiore di nitrati (tabella 7), questo può voler dire che hanno la stessa genesi e che il colore dipende solo dal contributo del materiale ferroso all'interno della matrice delle rocce.

Conclusioni

Il progetto presentato in questo elaborato non è ancora concluso, poiché molte delle fasi prese in considerazione richiedono un'ulteriore elaborazione dei dati o un ampliamento analitico finalizzato alla completa comprensione dei dati in possesso.

Il LAS, in collaborazione con l'ITABC (Istituto Tecnologie Applicate ai Beni Culturali) del CNR di Roma, ha sviluppato un sistema di documentazione che prevede di riportare, in modo integrale, la mappatura del degrado su un rilievo metricamente corretto e disponibile su supporto informatico. Questo permette di ottenere la definizione delle aree e la loro referenziazione (GIS) sulla superficie, al fine di poter ottenere un computo rapido dell'entità delle varie presenze di degrado.

In contemporanea sul monumento è in corso una campagna di rilevamento climatico ambientale con l'applicazione di sonde per la misura del vento, temperatura, temperatura a contatto, umidità relativa e presenza di particolato sotto i PM 10. L'insieme di tutti questi dati sarà utilizzata per le valutazioni di rischio ed impatto che permetteranno di comprendere i fenomeni più aggressivi per la salute del monumento, ma anche come questi si sviluppano e contribuiscono all'avanzamento del degrado dopo l'intervento di restauro.

La mappatura del degrado dovrà essere completata con le parti interne alla volta e con il posizionamento delle malte

presenti, le quali saranno identificate e discriminate in base al colore del legante ed alla dimensione dei clasti del loro materiale inerte, non avendo ad ora possibilità di individuare la loro originaria funzione d'uso. In considerazione dell'elevata presenza di malte riscontrata nella fase di mappatura, è probabile che la loro classificazione possa avvenire solamente quando si disporrà di un ponteggio fisso sul monumento.

Lo studio ha permesso di comprendere come i prelievi debbano essere legati alle indicazioni fornite dal piano di campionamento, questo permette di verificare l'esatta necessità e il numero dei prelievi dato che essa è dipendente dalle tipologie e dalle differenti aree di degrado.

Le tecniche analitiche scelte si sono rivelate sufficientemente confacenti alle necessità di conoscenza che erano richieste. Nello specifico, si sottolinea l'importanza dell'osservazione al microscopio come strumento di analisi della morfologia degli strati di degrado (sezioni lucide).

Rilevante, come era da attendersi, è stato molto utile per la conoscenza della composizione chimica dei campioni la possibilità di un confronto fra i risultati forniti da più tecniche analitiche, come quelle qui utilizzate: spettrofotometria infrarossa, cromatografia ionica e termogravimetria accoppiata ad analisi termica differenziale. Queste tecniche, infatti, forniscono informazioni diverse, le quali hanno permesso di contribuire ad una determinazione dei composti chimici presenti aumentando fortemente la qualità dei dati.

L'impiego della diffrattometria non ha, invece, fornito i risultati attesi, a causa della forte presenza di silicati e quarzo nei campioni analizzati, i quali, in molti casi, hanno ridotto la capacità di determinazione degli ossalati rilevabili.

Un dato che necessita maggiori approfondimenti è quello che concerne la conoscenza della frazione organica presente e rilevata sia per mezzo dalla spettrofotometria infrarossa e sia per la presenza delle zone fluorescenti osservate in luce ultravioletta.

Nel complesso, questo studio ha, quindi, contribuito alla conoscenza della composizione dei prodotti di degrado presenti sull'Arco di Augusto, ma ha, soprattutto, ribadito la necessità di una fase diagnostica adeguata. La base diagnostica approfondita consente la progettazione dell'intervento con un approccio sempre più corretto che permette di adeguare le varie fasi del progetto all'impiego di operazioni più controllabili e, cosa ancora più importante, riproducibili.

L'importanza della documentazione di tutte le fasi dello studio appare palese per la comprensione e la visione di sintesi, necessaria per una migliore valutazione delle interazioni fra monumento e ambiente.

L'insieme dei dati sarà inoltre utile per scoprire alcune fasi della vita del monumento attualmente non disponibili, ma, soprattutto, per la predisposizione del progetto di monitoraggio necessario per una corretta conservazione del monumento stesso e per la migliore economia degli interventi.

Abstract

From a theoretical point of view, the purpose of the research on the Augustus Arch state of preservation is to obtain useful data for complete understanding of the degradation phenomena that affected the monument. From a functional point of view, the full understanding of their dynamics will be the basis of a programme for restoration and conservative interventions to be carried out on the Arch.

More than one year ago, the scientific analysis laboratory (LAS) started a monitoring project to obtain the whole map of degradation products and materials present on the monument. The monitoring project will allow an evaluation of the preservation state. The first step aims at understanding the environmental dynamics that influence the degradation process. Some results have already been obtained, but the project is still in progress. Some important considerations are available too.

Bibliografia

AAVV, Commissione NorMal, NorMal n. 1/80, *Alterazioni Macroscopiche dei Materiali Lapidei: Lessico*.

AAVV, Commissione NorMal, NorMal n. 1/88: *Alterazioni Macroscopiche dei Materiali Lapidei: Lessico*.

L. APPOLONIA, G.C. GRILLINI, D. PINNA, *Origin of oxalate films on stone monuments: 1. Nature of films on unworked stone*, II International Symposium *The oxalate films in the conservation of works of art*, (Milano, 25-27 marzo 1996).

L. APPOLONIA, E. PECCHIONI, S. MIGLIORINI, *The praetorian gates in Aosta. Emergency, restoration work and diagnostics*, IV International Symposium on the *Conservation of Monuments in the Mediterranean*, (Rodi - GR, 6-11 maggio 1997).

R. BUGINI, M. LAURENZI TABASSO, M. REALINI, *Rate of formation of black crusts on marble. A case study*, in "Journal of Cultural Heritage", 1, Elsevier 2000, pp. 111-116.

F. CARIATI, L. RAMPAZZI, L. TONIOLO, A. POZZI, *Calcium oxalate films on stone surfaces: experimental assessment of the chemical formation*, in "Studies in Conservation", 45, IIC, 2000, pp. 180-188.

A. DI GREGORIO, P. UGUAGLIA, *La diagnostica: limiti, potenzialità e tecniche innovative. Analisi e confronto dei progetti diagnostici della cattedrale gotica di Barcellona e del Teatro romano di Aosta. Caso applicativo: l'Arco di Augusto ad Aosta*, tesi di Laurea Specialistica del Corso di Laurea Specialistica in Architettura per il Restauro e la Valorizzazione dei Beni Architettonici e Ambientali, Facoltà di Architettura II del Politecnico di Torino, a.a. 2004-2005, relatore prof. A. Negro, correlatori esterni dott. L. Appolonia, prof. M. Vendrell.

G.C. GALLETI, P. BOCCHINI, D. CAM, G. CHIAVARI, R. MAZZEO, *Chemical characterization of the black crust present on the stone central portal of St. Denis abbey*, in "Fresenius J Anal Chem", 357, Springer-Verlag 1997, pp. 1211-1214.

L. GALLO, *L'Arco di Augusto di Aosta*, tesi di Specializzazione della Scuola di Specializzazione in Storia, Valutazione e Analisi dei Beni Architettonici e Ambientali, Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino, a.a. 1998-1999, relatori prof. M. Dalla Casa, arch. M. Momo, dott. D. Ronchetta.

N. GHEDINI, C. SABBIONI, M. PANTANI, *Thermal analysis in cultural heritage safeguard: an application*, in "Thermochimica Acta", 406, Elsevier 2003, pp. 105-113.

P. MARAVELAKI-KALAITZAKI, *Black crusts and patinas on Pentelic marble from the Parthenon and Erechtheum (Acropolis, Athens): characterization and origin*, in "Analytica Chimica Acta", 532, Elsevier 2005, pp. 187-198.

P. MARAVELAKI-KALAITZAKI, G. BISCONTIN, *Origin, characteristics and morphology of weathering crusts on Istria stone in Venice*, in "Atmospheric Environment", 3, Pergamon 1999, pp. 1699-1709.

I. MARTÍNEZ-ARKARAZO, M. ANGULO, L. BARTOLOMÉ, N. ETXEBARRIA, M.A. OLAZABAL, J.M. MADARIAGA, *An integrated analytical approach to diagnose the conservation state of building materials of a palace house in the metropolitan Bilbao (Basque Country, North of Spain)*, in "Analytica Chimica Acta", 584, Elsevier 2007, pp. 350-358.

*Collaboratrici esterne: Ambra Idone, laureanda in Scienze e Tecnologie per i Beni Culturali, Università di Torino - Anna Piccirillo, chimico.