

## DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DES PROJETS COFINANCÉS

Lorenzo Appolonia

Directeur de la recherche et des projets cofinancés

Elena Basso\*, Sylvie Cheney\*, Elisa Conz\*, Pietro Galinetto\*, Annie Glarey\*, Ambra Idone\*,  
Denise Ponziani\*, Maria Pia Riccardi\*, Nicole Seris\*

La difficulté d'une structure de service, comme cette Direction, est de réussir à programmer les activités qui doivent être effectuées au sein du Département de la surintendance.

Les activités de tutelle et de conservation du patrimoine doivent souvent tenir compte de l'âge des monuments et de l'avancée des phénomènes d'interaction qui réduisent les propriétés mêmes des matériaux.

Cela signifie que les interventions urgentes peuvent être à la base des actions sur le territoire.

Les opérations d'organisation des activités d'urgences sont devenues plus nombreuses, dans cette optique on cherche à comprendre où et quand peuvent se vérifier des difficultés dans la programmation.

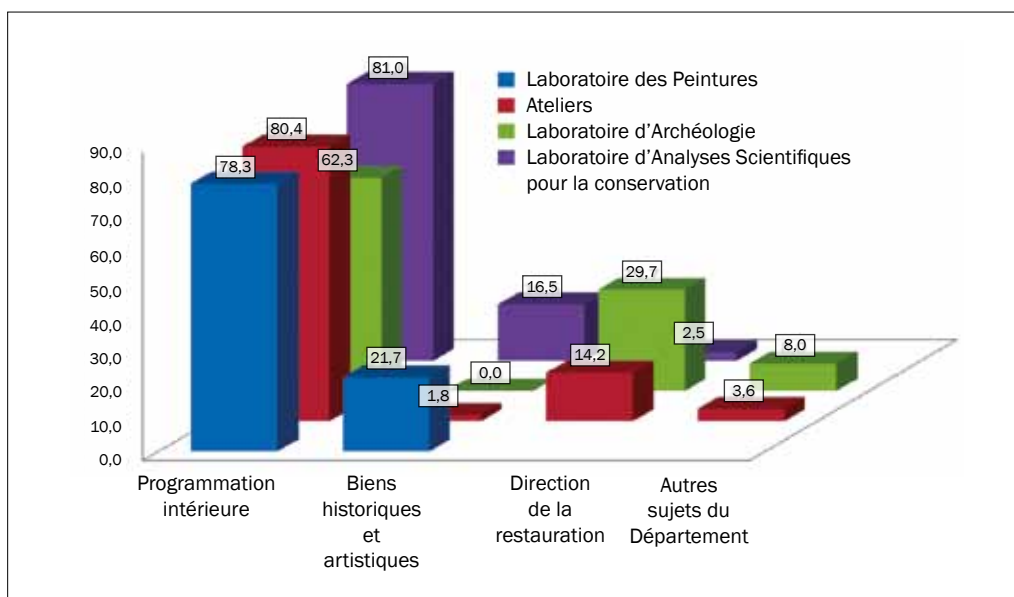
Des opérations de monitoring des activités ont donc été mises en œuvre au cours de l'année. Les résultats ont dépassé les attentes, du moins au point de vue de la programmation, qui varie pour les différentes parties de la structure. Le Laboratoire de restauration des peintures et des polychromies compte parmi les plus organisables et prévisibles, avec un pourcentage de planification qui atteint 78,3% ; en revanche, la programmation de la partie de restauration archéologique s'avère plus compliquée et n'arrive pas à 70% du total des activités. Le graphique ci-dessous illustre la répartition des activités, en tenant compte du fait que la partie définie de la Direction est celle de la programmation, qui dépend en réalité des réponses des différents services du Département ; on considère toutefois qu'elle est sous la Direction, car elle est planifiée lors de l'organisation du travail. Cette description permet également de comprendre l'activité du Laboratoire des ateliers et du LAS (Laboratoire d'Analyses Scientifiques pour la conservation). Vu la typologie du travail qu'il réalise et son organisation, il est évident que le LAS est plus facile à programmer, alors que les activités

des ateliers dépendent plus des différentes structures (archéologie, histoire et art, architecture). Dans ce dernier cas, une réflexion s'impose afin d'améliorer les activités à effectuer dans les sites d'intérêt touristique pour les rendre et pour les maintenir toujours parfaitement fonctionnels. Pour améliorer cette activité, des rencontres ont été prévues entre les différents référents des sites et les opérateurs des différentes applications des ateliers (mécanique, menuiserie et construction), de façon à améliorer aussi bien le caractère opérationnel que la qualité des interventions.

Parmi les activités les plus importantes, il faut citer celles qui concernent les parcours d'entretien. La capacité des différents laboratoires se dégage particulièrement de cette activité, toujours très peu connue et souvent invisible, qui représente toutefois la plus grande sécurité pour la conservation de notre patrimoine et pour la possibilité d'en profiter de façon continue et constante.

Certains programmes de conservation ont concerné la cour décorée du château d'Issogne, où l'état des enduits historiques a été soumis à des évaluations. Les activités d'entretien des musées paroissiaux ont bien sûr continué et d'autres actions ont été entreprises pour les sites archéologiques. Un programme d'activités a été établi : cette année, elles concerneront les opérations de monitoring de la *Porta Praetoria* et permettront de poursuivre l'étude des problèmes du Théâtre romain (uniquement le contrôle des systèmes de protection mis au point lors des récents travaux de restauration et prévus dans le programme d'entretien établi dans ce but).

Les phases opérationnelles se sont aussi poursuivies en ce qui concerne les procédures liées au projet des interventions : il s'agit d'une autre activité peu visible, mais fondamentale, presque complètement effectuée par les structures de la Direction. Dans ce domaine, une



attention particulière doit être consacrée aux projets du secteur archéologique. C'est, en effet, le Laboratoire de restauration archéologique qui a réalisé les projets sur les systèmes de consolidation et de réassemblage des stèles anthropomorphes du site de Saint-Martin-de-Corléans, très importantes pour le futur musée. En même temps, le projet d'une partie particulièrement compliquée de l'enceinte d'Aoste a été réalisé : il a abouti à la mise en sécurité de la portion de mur entre la rue de Turin et la rue Festaz, une zone particulièrement sensible en raison de la quantité de trafic impliquée et où la sécurité des monuments historiques est fondamentale pour la sécurité du citoyen.

#### **Les bourses de recherche FSE (Fonds Social Européen)**

Parmi les activités du LAS, la formation de jeunes universitaires valdôtains se poursuit avec la réalisation de projets de recherche sur des thèmes en relation avec le patrimoine culturel régional.

Les travaux d'étude, de recherche et d'approfondissement ont été menés dans le cadre de trois bourses déjà actives, concernant l'étude des interactions entre le milieu et le monument pour ce qui est de l'Arc d'Auguste d'Aoste (Denise Ponziani, Université du Piémont Oriental), la caractérisation des matériaux utilisés historiquement dans la zone de la cavea et de la scène du Théâtre romain d'Aoste (Annie Glarey, Université de Turin, Département des Sciences de la Terre) et la mise au point de méthodes d'évaluation des procédures d'intervention dans la restauration des peintures murales, avec une attention particulière pour les méthodes de nettoyage (Nicole Seris, Université de Bologne, section de Ravenna).

Trois autres programmes d'études se sont ajoutés à ces thèmes de recherche. Le premier dans le cadre d'une bourse pour une thèse de recherche de l'Université de Turin (Cursus : Technologies et Sciences pour les Biens culturels), réalisée par Sylvie Cheney, concernant l'évaluation des mortiers de restauration utilisés dans certaines interventions sur des monuments régionaux ; cette recherche a porté sur différentes méthodes d'évaluation de la résistance des mortiers à la gélivité.

Un deuxième thème concerne un problème très complexe, touchant la surface du poudingue, qui constitue une partie de la structure de tous les monuments publics de l'époque romaine aujourd'hui conservés à Aoste. La présence de quantités élevées de fer dans le poudingue favorise la formation de phénomènes d'oxydation, qui donnent une couleur rose à la surface des blocs placés sur les monuments. La recherche, suivie par Elisa Conz, visera à vérifier les causes favorisant la création de cette altération, qui n'est pas citée dans les sources anciennes et qui est donc sûrement le fruit des conditions climatiques et environnementales actuelles. Vu le caractère particulier des techniques d'analyse requises, la recherche est menée à l'Université de Pavie, avec la collaboration du Département des Sciences de la Terre.

Le troisième thème de recherche fait l'objet d'une bourse pour une thèse de doctorat de l'Université du Piémont Oriental, dont le siège se trouve à Alessandria. L'étude, menée par Ambra Idone, sera effectuée avec la collaboration de l'Université de Turin, de l'Université de Modène et des

laboratoires de l'Art Institute de Chicago. Elle concernera la mise au point de technologies novatrices pour l'identification de colorants, en particulier de ceux qui sont employés dans la teinture des tissus. Cela peut permettre d'utiliser des techniques non invasives pour faire des analyses sans détruire le matériau d'origine ou en réduisant au maximum le prélèvement d'échantillons (opération toujours très complexe et invasive, pouvant compromettre l'intégrité de l'ouvrage).

Les thèmes à explorer en relation avec les problèmes de conservation et avec les techniques que l'on peut employer pour améliorer et favoriser le bon résultat des interventions sont encore nombreux. Le laboratoire effectue toutes ces activités avec la contribution d'autres organismes ou d'universités ; elles impliquent différentes figures professionnelles régionales, en élargissant leurs connaissances et en augmentant leurs compétences.

#### **Metodologie per il monitoraggio del microclima finalizzato alla conservazione di beni artistici e architettonici. Il caso dell'Arco d'Augusto**

*Denise Ponziani \**

Il progetto di ricerca, finanziato dal Fondo Sociale Europeo, si inserisce in un programma già avviato dalla Soprintendenza per i beni e le attività culturali della Regione Autonoma Valle d'Aosta che ha come scopi la valutazione dello stato di conservazione dell'Arco d'Augusto, l'indagine delle tipologie di degrado, l'elaborazione di strumenti capaci di identificare i momenti e gli stati critici per la conservazione del monumento.

Il lavoro svolto comprende indagini fisico-matematiche legate alle fasi di monitoraggio ambientale dell'Arco d'Augusto, considerato come caso esemplificativo in quanto bene storico e architettonico. Le analisi effettuate hanno avuto come primo obiettivo quello di correlare le tipologie e l'entità del degrado alle condizioni ambientali presenti nell'intorno del monumento.

A questo scopo sono state effettuate indagini statistiche sui dati raccolti durante una campagna di misure iniziata a novembre 2006 e conclusa a luglio 2010. La disponibilità di una lunga serie storica di dati ha reso possibili valutazioni sulla frequenza di alcuni fenomeni dannosi per la conservazione dei materiali (*stress* termico, congelamento e condensa dell'acqua) e, confrontando i risultati con la mappatura delle tipologie di alterazione della pietra, eseguita precedentemente, è stato possibile formulare delle ipotesi sulle cause di degrado del monumento.

Al fine di rendere fruibili i risultati più rilevanti finora raggiunti, si prevede la pubblicazione di un articolo all'interno di una rivista scientifica internazionale del settore delle Scienze e Tecnologie per i Beni Culturali.

Un secondo obiettivo del progetto è stato quello di mettere a punto uno strumento per il monitoraggio continuo del bene. In seguito alla rimozione della strumentazione; è stato quindi costruito un modello di stima delle misure microclimatiche intorno al monumento basato sui dati rilevati dalle centraline meteorologiche di proprietà dell'ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente), poste

nell'area urbana di Aosta, che forniscono dati ambientali in maniera continuativa, ma non specifiche della zona in questione. Lo strumento così ottenuto dovrebbe supportare il monitoraggio dello stato conservativo dell'Arco e potrebbe essere inoltre utilizzato per estendere l'analisi microclimatica a periodi precedenti il posizionamento dei sensori sul monumento, sostenendo lo studio e la comprensione dei processi di degrado.

\*Collaboratrice esterna: Denise Ponziani, borsista Fondo Sociale Europeo (FSE) in Metodologie e Tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali.

## **Teatro romano: caratterizzazione dei materiali antichi e loro tecnologie**

Annie Glarey\*

L'attività di ricerca iniziata nel gennaio 2009, finanziata dal Fondo Sociale Europeo, ha permesso di affrontare una tematica molto interessante per la Valle d'Aosta, in quanto il Teatro romano rappresenta uno dei simboli della civiltà romana, fondatrice della città.

L'analisi delle malte originali e dei cementi utilizzati nei restauri della prima metà del XX secolo ricoprono un ruolo importante per affrontare in modo organico ogni eventuale campagna di restauro. L'attività di ricerca non si è fermata solamente alla caratterizzazione delle diverse componenti chimiche o mineralogiche del materiale perché questo potrebbe non essere sufficiente a discriminare il periodo storico di utilizzo; infatti le tipologie dei materiali utilizzati e la loro composizione può essere la stessa nel corso dei secoli, a causa della particolare realtà territoriale valdostana. Il percorso analitico di diagnostica delle malte ha incluso la caratterizzazione, dal punto di vista chimico, minero-chimico della materia, ma anche della tecnologia di produzione, verificando la scelta dei materiali in base alla destinazione d'uso finale e alla preparazione necessaria per ottenere malte con buona tenuta e compattezza.

Una parte rilevante dell'attività di ricerca svolta nel 2010, è stata incentrata su un aspetto decisamente nuovo ed innovativo per quanto concerne lo studio delle malte storiche valdostane: il censimento e la classificazione delle fornaci da calce valdostane attraverso il progetto Mille Fornaci da Calce (Catalogazione Nazionale degli Antichi Impianti di Produzione di Calce) promosso dal Forum Italiano Calce, in collaborazione con AIPAI (Associazione Italiana per il Patrimonio Archeologico Industriale). I risultati di questo progetto, inserito nell'*iter* della diagnostica delle malte storiche, hanno l'intento di determinare, identificare e localizzare l'origine della materia prima (calce) per la produzione delle malte dei vari cantieri analizzati dal LAS, e quindi in futuro, se possibile, anche quelle utilizzate nel Teatro romano di Aosta. Le fornaci rappresentano autorevoli esempi di architettura industriale, sono diffusi sul territorio valdostano e fin'ora non ci sono lavori di caratterizzazione di tipo chimico-mineralogico del materiale sulla Valle d'Aosta.

\*Collaboratrice esterna: Annie Glarey, borsista Fondo Sociale Europeo (FSE) in Metodologie e Tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali.

## **Nuove procedure e applicazione di tecniche d'analisi innovative. Nuove applicazioni operative per la fotogrammetria digitale**

Nicole Seris\*

L'obiettivo primario della ricerca, finanziata dal Fondo Sociale Europeo, è stato quello di approfondire l'argomento del monitoraggio degli interventi conservativi, individuando la strumentazione idonea e i parametri più significativi, per elaborare un protocollo analitico mediante il quale osservare e valutare l'andamento degli interventi.

Il metodo di lavoro seguito finora ha permesso di definire quali possono considerarsi i parametri principali da tenere in considerazione nel momento in cui si affronta il delicato quanto innovativo e spinoso "problema" del monitoraggio della qualità dei trattamenti di restauro.

Dopo essersi fatti un'idea dettagliata sullo stato di conservazione dell'opera e aver creato una mappatura fotografica con i punti ritenuti più rappresentativi, si procede con la caratterizzazione dei materiali presenti nel manufatto.

Utilizzando tecniche analitiche portatili, assolutamente non distruttive e non invasive, come la Spettrofotometria di Riflettanza nel Visibile con fibre ottiche e la Spettroscopia di Fluorescenza di raggi X, è possibile ottenere, con un ampio margine di certezza, la caratterizzazione della tavolozza pittorica dell'artista. Una volta stabiliti i materiali utilizzati si può procedere con indagini più specifiche e mirate alla valutazione della qualità dei processi di restauro. Per mezzo di un colorimetro spettrofotometrico, di un microscopio digitale portatile e dello stesso spettrofotometro utilizzato per la caratterizzazione si indaga a diversi livelli di un qualunque processo conservativo. Sia che si tratti di un trattamento di pulitura, di consolidamento o di protezione, si procede con diverse misurazioni nel corso del tempo: prima del trattamento (primo livello), durante il trattamento (livello intermedio) e a trattamento concluso (livello finale). In questo modo è possibile evidenziare qualsiasi cambiamento subito dalla superficie, sia da un punto di vista cromatico, sia morfologico-superficiale. A questo punto è possibile stabilire quali parametri prendere in considerazione come maggiormente identificativi e rappresentativi della qualità.

Ad oggi questi criteri di giudizio tengono conto, sempre riferendosi ad una porzione di superficie ben definita su cui le misurazioni vengono riprese nel corso del tempo, in modo particolare della variazione cromatica e quindi del cambiamento di tonalità subito dalla superficie, dell'omogeneità cromatica, del livello di saturazione ( $C^*$ ) del colore raggiunto in seguito al trattamento, del mutamento cromatico generale che tiene conto anche della variabile Luminosità ( $L^*$ ), dell'alterazione morfologica superficiale e della metamorfosi della tessitura. Tutti questi cambiamenti evidenziabili nel corso di un trattamento potrebbero essere presi come punti di riferimento *standard* cui fare capo al momento di progettare un protocollo analitico in grado di monitorare la qualità degli interventi di restauro con un criterio non più soggettivo ma predefinito e automatizzato.

Il lavoro di ricerca ha poi allargato il suo campo di applicazione utilizzando un metodo di indagine nuovo. La tecnica è nota con il nome di fotogrammetria digitale e il suo impiego permette di ottenere una mappatura tridimensionale dei casi studio indagati sulla quale inserire nuove applicazioni operative. Con nuove applicazioni si intende, ad esempio, una tematizzazione dettagliata delle aree prese in esame al fine di valutarne le differenze di morfologia e profilometria superficiale dopo i trattamenti di restauro. In questo modo si potranno confrontare differenti tecniche di pulitura, consolidamento o protezione e creare aree con caratteristiche simili, intese come stato di conservazione, degrado o cromaticità, che possono essere poi confrontate nel tempo per un monitoraggio sistematico, mirato e continuo. Il sistema di controllo che si vuole creare in questo modo intende presentarsi come sistema interattivo all'interno del quale si possono inserire e modificare delle schede di commento indicative e specifiche di ogni caso di studio.

\*Collaboratrice esterna: Nicole Seris, borsista Fondo Sociale Europeo (FSE) in Metodologie e Tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali.

### Valutazione dell'influenza del congelamento all'interno di sistemi porosi inorganici

Sylvie Cheney\*

Il progetto di ricerca è stato finanziato dal Fondo Sociale Europeo e si è svolto dal mese di marzo fino a novembre 2010, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria dei Materiali dell'Università di Trento.

Il lavoro è stato concepito al fine di proporre una corretta metodologia di analisi per la comprensione dei fenomeni che avvengono all'interno dei pori durante più cicli di gelo e disgelo. Oggetto del lavoro sono stati quindi alcuni materiali lapidei, sia artificiali (quattro diverse malte da restauro e una malta storica) che naturali (una prasinite, un'arenaria del bacino terziario piemontese, uno *gneiss* del tipo Pietra di Luserna e un marmo di Carrara), scelti in modo da avere una casistica rappresentativa dei materiali impiegati nella città di Aosta e nella provincia di Torino. Le malte sono state inizialmente sottoposte ad alcune analisi volte ad una loro caratterizzazione: due prove di assorbimento (di vapore e capillare), un'analisi diffrattometrica, una termogravimetrica, una spettrofotometria infrarossa e alcune osservazioni mediante sezione sottile in microscopia ottica e in microscopia elettronica a scansione con annessa microsonda elettronica. I materiali lapidei sono invece stati sottoposti all'analisi diffrattometrica e osservati in microscopia ottica su sezione sottile.

Per simulare i cicli termici di gelo e disgelo è stato impiegato un calorimetro differenziale a scansione, disponibile presso l'Università di Trento. Per ogni materiale sono stati preparati tre campioni cilindrici di circa 5 mm di diametro e 6 mm di altezza, ognuno dei quali è stato sottoposto a tre cicli termici, con un *range* di temperatura da +10 °C a -25 °C (a -1 °C/min) e da -25 °C a +30 °C (a +5 °C/min). Al fine di monitorare le eventuali variazioni di porosità causate dagli *stress* termici, sono state realizzate delle sezioni sottili sia del materiale prima dei cicli sia dei campioni sottoposti agli *stress*, le cui immagini sono state elaborate mediante il software *Image Pro - Plus 7*.

I risultati ottenuti hanno consentito di discriminare in primo luogo il comportamento delle malte da quello delle rocce. È stato inoltre possibile operare distinzioni anche all'interno del gruppo delle malte da restauro. La metodologia proposta in questo lavoro ha quindi permesso di avanzare delle prime ipotesi circa il comportamento dell'acqua all'interno dei materiali lapidei e i meccanismi di congelamento, mettendo in relazione tutti i risultati ottenuti dalle diverse analisi.

\*Collaboratrice esterna: Sylvie Cheney, studentessa del corso di laurea magistrale Scienza e Tecnologia per i Beni Culturali.

### Studio dell'alterazione cromatica di materiali lapidei storici nell'area cittadina di Aosta: un approccio multianalitico

Elena Basso\*, Elisa Conz\*, Pietro Galinetto\*, Maria Pia Riccardi\*

Il progetto presentato parte dalle attività svolte dalla Direzione ricerca e progetti cofinanziati per lo studio conservativo del Teatro romano di Aosta, prendendo come punto chiave le alterazioni cromatiche (definizione NORMAL 1/88: variazione naturale a carico dei componenti della pietra dei parametri che definiscono il colore)<sup>1</sup> cui è soggetta la puddinga, un conglomerato di origine fluviale, impiegata dai Romani per l'edificazione della città e, in particolare, per la *Porta Prætoria*, una delle quattro porte che permettevano l'accesso alla città romana.

L'alterazione cromatica è ben evidente, si notano, infatti, macchie rosate e rossastre, diffuse omogeneamente sugli archi monumentali che costituiscono la *Porta*. È inoltre visibile come queste macchie non comprendono solo la matrice carbonatica ma anche i clasti (fig. 1).

L'attività si sta sviluppando in collaborazione con l'ente ospitante, il Laboratorio Arvedi, che è parte del Centro Interdipartimentale di Studi e Ricerche per la Conservazione dei Beni Culturali, Università degli Studi di Pavia. Il Laboratorio è una struttura interdisciplinare di alta specializzazione nello studio e nella ricerca per la conservazione, la diagnostica, la conservazione e il restauro di legni, materiali lapidei e vetri.



1. Aosta, Porta Prætoria. Alterazione cromatica visibile su un blocco di puddinga. (E. Conz)

L'obiettivo principale dello studio è l'individuazione di una correlazione fra le alterazioni cromatiche della puddinga e l'ambiente, per evidenziare i processi che portano alla variazione dei parametri che definiscono il colore (tinta, saturazione, luminosità), con scopo ultimo la definizione di un piano di conservazione per il monumento.

### **Inquadramento storico e precedenti restauri**

La *Porta Prætoria*, oltre ad assolvere la funzione di difesa militare, era uno dei punti strategici dove confluivano gli assi viari principali. Posta lungo la via consolare che collegava Aosta a Roma, tra le quattro porte era la più importante ed è l'unica arrivata fino a noi, delle altre tre rimangono solo le fondazioni. L'impianto planimetrico è ancora quello originario, mentre la configurazione spaziale ha modificato in parte l'aspetto originario. La sua costruzione è pressoché coeva a quella della città di Aosta, nel 25 a.C.

L'intera struttura era realizzata secondo la tecnica dell'*emplecton*: vi era un'opera a secco interna, l'*opus cæmenticium*, con all'esterno un rivestimento costituito da grandi blocchi di puddinga, un conglomerato di origine naturale. La cortina orientale era quella più curata con grandi lastre di marmo bardiglio provenienti dalle cave di Aymavilles, i particolari decorativi erano realizzati in marmo bianco. Con Carlo Promis, Ispettore dei Monumenti di Antichità dei Regi Stati dal 1837, il primo studioso ad investigare le antichità romane valdostane con metodo scientifico, si hanno i primi reali interventi tesi ad una corretta conoscenza della *facies* originaria dei monumenti romani. Il primo vero restauro, risalente al 1880, suscitò molte polemiche, poiché la nuova struttura rese difficile la lettura dell'antica porta, seguendo un intervento di mimesi dell'antico. Tra il 1920 e il 1950 la *Porta Prætoria* subì radicali trasformazioni che ne modificarono in modo permanente l'antica immagine, configurandone l'aspetto attuale. Il restauro terminato nel 1926 risultò troppo radicale, con l'immagine che prevaleva sulla struttura. Ulteriori interventi vennero effettuati fra il 1936 e il 1939 con la demolizione delle case addossate alla *Porta*.<sup>2</sup>

Un nuovo restauro nel 1998 è consistito in una pulitura delle superfici e in un consolidamento delle parti in pietra. Difficoltà sono state riscontrate per la parte superiore della *Porta*, per la quale non erano ancora ben note le varie fasi costruttive e la modalità di intervento nel restauro degli anni Trenta del secolo scorso.

A seguito del restauro degli archi monumentali dal 1998 al 2001, si è osservato uno stato di alterazione, non rimosso, che non poteva essere riferito alle conosciute cause di degrado ambientale legate all'azione di fattori biologici (licheni, funghi, batteri), fisici (degrado meccanico dovuto all'azione di venti, piogge, neve) e chimici (interazione con il particolato atmosferico, con solfati, nitrati, carbonati, che causano la formazione di composti chimici, alterando la superficie e lo stato di un materiale, ad esempio solfatazione, carbonatazione).

### **Le alterazioni cromatiche**

Le macchie sono ancora presenti sulla superficie, sembra ipotizzabile che le alterazioni rossastre non siano dovute ad attacco biologico, né alla presenza di agenti inquinanti,

né ad altri fattori. La possibile ipotesi di partenza, oggetto di questo studio, è quella legata a fenomeni di ossidazione del ferro, che a contatto con aria e acqua porterebbero alla formazione di ematite, sollecitati da particolari valori del campo magnetico terrestre, il cui contenuto energetico opererebbe da catalizzatore nella reazione di ossidazione. Questa particolare tipologia di degrado osservato è caratteristica della puddinga e si può notare anche nei conci in elevato del Teatro romano.<sup>3</sup> La puddinga è definita, dal punto di vista petrologico, come una roccia sedimentaria disomogenea, composta da ciottoli poligenici, a matrice sabbiosa-limosa e cemento carbonatico, di origine regionale, proveniente probabilmente da Gressan, poco prima della confluenza fra il torrente Buthier e il fiume Dora Baltea.<sup>4</sup> L'alterazione cromatica è ben evidente ad occhio nudo, si notano, infatti, macchie rosate e rossastre, diffuse circa omogeneamente su tutte e quattro le facciate degli archi monumentali che costituiscono la *Porta*.

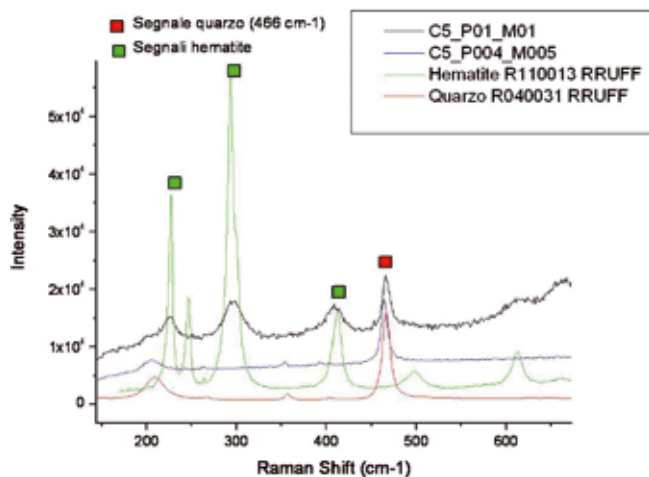
### **Metodologia analitica e programma dell'analisi**

Partendo dalle analisi e dagli studi precedenti di Apollonia,<sup>5</sup> si è scelto di operare analizzando la composizione e lo stato di ossidazione degli ioni Fe nei singoli minerali, poiché l'eterogeneità della roccia non permette di definire con chiarezza la distribuzione del ferro. Le metodologie di analisi scelte sono: la Spettroscopia MICRO-RAMAN (identificazione delle fasi minerali), la Microscopia Elettronica a Scansione con microanalisi (SEM-EDS), per analisi qualitative e quantitative sulle composizioni elementari, e la Risonanza Paramagnetica Elettronica (EPR) per individuare lo stato di ossidazione degli ioni Fe. Per ogni tecnica scelta è stata sperimentata una metodologia di preparazione del campione e di analisi, finalizzata ad individuare le fasi di alterazione nei singoli minerali.

La metodologia analitica scelta è volta alla definizione di uno *standard* operativo, che possa condurre all'obiettivo principale dell'attività: la preparazione di una sequenza di trasformazione dove poter individuare le microstrutture alterate responsabili del viraggio cromatico, determinando un tempo  $T_0$ , coincidente con il campione prelevato in profondità e non alterato, e un tempo  $T_1$ , coincidente con un campione di materiale alterato da prelevare sulla superficie della *Porta*, per valutare l'azione di degrado, sia in superficie sia in profondità, e le differenze fra campione alterato e non alterato.

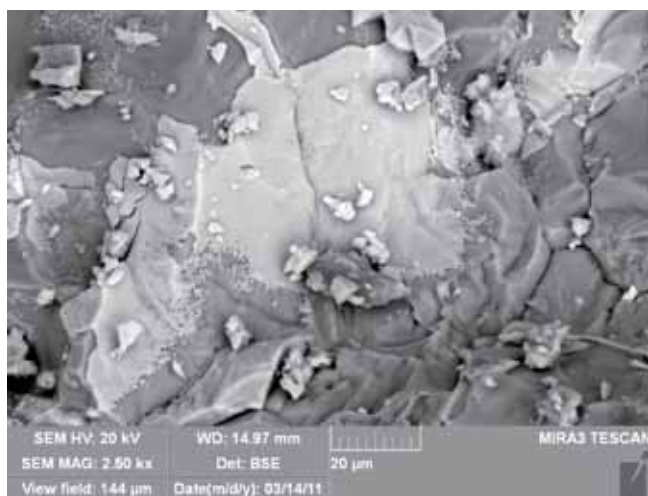
Un primo campionamento è stato effettuato sulla superficie del Teatro romano e dell'Arco di Augusto. I monumenti sono stati scelti poiché presentano lo stesso materiale da costruzione e gli stessi problemi di alterazione della *Porta Prætoria*, oggetto principale di studio del progetto. I campioni sono stati selezionati secondo criteri di rappresentatività dei diversi stadi di alterazione che la puddinga presentava. Tenendo conto dei campioni a disposizione si è deciso di operare dividendo il quantitativo di materiale in tre componenti: matrice argillosa, cemento carbonatico, clasti. Clasti e matrice sono stati separati allo stereomicroscopio e al microscopio ottico e suddivisi in ulteriori sottogruppi, in base alle caratteristiche di grani e matrice.

Fra i campioni sono stati scelti cinque frammenti per analisi in Spettroscopia MICRO-RAMAN, allo scopo di identificare le fasi minerali caratteristiche.



2. Spettri MICRO-RAMAN, campione C5, relativi ai segnali di quarzo ed ematite.

Le analisi condotte hanno rilevato la presenza di calcite, quarzo e minerali contenenti ferro, magnetite e ematite. In figura 2 sono riportati gli spettri di quarzo e calcite, relativi ai punti P01 e P04 del campione C5, clasto di forma cubica rettangolare, colorazione rosata, con striatura rossastra, prelevato sulla superficie del Teatro romano. In verde e rosso spettri relativi agli *standard* della banca dati RRUFF. Le analisi in Microscopia Elettronica a Scansione, condotte sugli stessi campioni già osservati in Spettroscopia MICRO-RAMAN, hanno riguardato la ricerca della distribuzione del ferro, dove si trova e quali rapporti ha con i minerali e la matrice che costituiscono la superficie del campione. Le analisi hanno rivelato la presenza di fillosilicati, le miche, identificati come centri da cui parte la diffusione del ferro, che genera un'aureola nell'intorno e si espande come ossido nelle fratture della roccia (fig. 3). In particolare si è osservata la presenza di ossidi di ferro, in prossimità della biotite  $K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(F,OH)_2$ , una delle miche più comuni. Dal confronto fra i dati ottenuti è possibile ipotizzare dove sia localizzato il ferro, principale fattore di degrado cromatico per la puddinga. Le miche possono essere identificate come centri di propagazione del ferro nel reticolo cristallino, dove lo ione, in ambienti le cui condizioni favoriscono l'ossidazione, si trasforma in ematite o magnetite. L'ossido



3. Incrostazione di ossido di ferro, presente sulla superficie del campione C5. (E. Basso)

di ferro può svilupparsi come crosta sulla superficie della matrice carbonatica o dei quarzi, o negli interstizi/fratture della roccia andando a far parte della struttura. La colorazione rosata dei quarzi, invece, può dipendere da ioni cromoformi (Mn, Fe), che alterano la trasparenza del minerale.

#### Attività previste per i mesi successivi

Le analisi in corso saranno integrate nei prossimi mesi con ulteriori misure in Spettroscopia MICRO-RAMAN e Microscopia Elettronica a Scansione con microanalisi (SEM-EDS), verranno poi effettuate misure in Diffrazione a Raggi X, per riconoscere gli ossidi di ferro presenti (ematite, goethite, magnetite).

Sono in fase di studio cicli di trattamenti sui campioni a temperatura e umidità costante variando il campo magnetico, per studiare i fattori che attivano il processo di ossidazione del ferro e portano alla variazione cromatica della roccia, valutando la correlazione fra velocità di reazione e variazione dei parametri impostati; inoltre saranno eseguite misure colorimetriche, prima e dopo ogni ciclo di trattamento per definire oggettivamente le variazioni cromatiche, e misure EPR per determinare lo stato di valenza degli ioni Fe.

Sono inoltre previste misure in Spettroscopia Mössbauer, per ottenere informazioni di natura chimico-fisica in particolare sullo stato di ossidazione del ferro, la sua distribuzione nel reticolo cristallino e le sue proprietà magnetiche.

- 1) Normal n. 1/88, *Alterazioni Macroscopiche dei Materiali Lapidei: Lessico*, CNR-ICR, 1991.
- 2) C. BRUNELLO, *Storia della Cultura del Restauro in Valle d'Aosta: il caso della Porta Pretoriana*, tesi di laurea, Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura, relatori M.G. Vinardi, A. Sistri, a.a. 1997-1998.
- 3) L. APPOLONIA, D. VAUDAN, S. DE LEO, *Project des travaux de conservation du Théâtre Romain d'Aoste: Recherche et Résultats*, in J. RIEDERER, *proceedings of the 8th International Congress on Deterioration & Conservation of stone* (Berlin, 30 september - 4 october 1996), vol. 2, pp. 1097-1107, (pubblicazione online).
- 4) S. DE LEO, *Studio per la caratterizzazione petrografica dei materiali costituenti la facciata del Teatro Romano di Aosta*, Studio geologico-tecnico, relazione interna Soprintendenza per i beni e le attività culturali, 1989.
- 5) L. APPOLONIA, E. PECCHIONI, S. MIGLIORINI, *The Praetorian Gates in Aosta. Emergency, restoration, work and diagnostics*, in 4th International Symposium on the Conservation of monuments in the Mediterranean (Rodi, 6-11 mai 1997), vol. 3, Atene 1997, pp. 41-51.

\*Collaboratori esterni: Elena Basso, ricercatrice - Pietro Galinetto, ricercatore - Maria Pia Riccardi, professore associato CISRIC (Centro Interdipartimentale Studi e Ricerche per la Conservazione dei Beni Culturali, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia) e Elisa Conz, borsista Fondo Sociale Europeo (FSE) in Metodologie e Tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali.

#### Tecniche di indagine innovative per lo studio di coloranti tessili naturali Ambra Idone\*

Presso il LAS è stato di recente attivato un progetto di ricerca, finanziato dal Fondo Sociale Europeo, con lo scopo di valutare le potenzialità di alcune tecniche di indagine scientifica nello studio dei coloranti tessili naturali. Saranno prese in esame le tecniche di analisi non distruttive, con particolare riferimento a quelle per cui è disponibile una strumentazione portatile da utilizzare *in situ*, o le tecniche distruttive che richiedono per l'analisi quantità di

campione in scala *micro*. Lo studio prevede, inizialmente, l'esecuzione di misure su campioni di riferimento, ottenuti mediante tintura con materie prime coloranti naturali impiegate in antichità su fibre naturali di provenienza nota, seguendo le ricette citate nei trattati di tintura antichi. Queste misure su materiali conosciuti consentiranno la creazione di una serie di *database* di spettri e dati ottenuti mediante le diverse strumentazioni impiegate, utilizzabili in seguito per l'identificazione dei coloranti presenti in campioni tessili di interesse storico artistico a composizione incognita.

In particolare, si intendono esplorare le capacità analitiche di due tecniche portatili quali la Spettrofotometria di Riflettanza mediante fibra ottica (FORS) e la Spettroscopia di Fluorescenza Molecolare, che potrebbero essere utili per l'acquisizione di informazioni preliminari nello studio delle materie prime coloranti utilizzate in materiali tessili di interesse storico artistico.

Per quanto riguarda l'identificazione della materia prima colorante e delle molecole cromofore, la collaborazione con il Dipartimento di Chimica Analitica dell'Università degli Studi di Torino consentirà l'accesso ad una strumentazione innovativa quale la Cromatografia Liquida ad Alta Prestazione (HPLC) accoppiata con rivelatore per Spettrometria di Massa Orbitrap per esperimenti di massa<sup>n</sup>, utile per la caratterizzazione dei componenti minoritari incogniti nelle miscele naturali.

Questa tecnica di analisi presenta il vantaggio di consentire la separazione delle miscele complesse di coloranti naturali (di origine vegetale o animale) e di ottenere informazioni strutturali che ne consentano la caratterizzazione, ma richiede il sacrificio di qualche milligrammo di fibra tinta, dalla quale vengono estratte, con opportune procedure, le molecole coloranti. Inoltre, l'estrazione dei coloranti precedente all'analisi HPLC è un passaggio critico che deve essere adeguato alle differenti classi chimiche delle molecole coloranti potenzialmente presenti.

Per questi motivi, si intendono valutare le potenzialità della tecnica Surface-Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) per il riconoscimento delle molecole coloranti. Tale tecnica richiede una quantità di campione decisamente minore rispetto a quella necessaria per le analisi mediante cromatografia e potrebbe essere potenzialmente impiegata direttamente sulle fibre prelevate dal manufatto tessile, previo opportuno pretrattamento. Lo sviluppo di questa tecnica sarà favorito dall'acquisto da parte della Direzione ricerca e progetti cofinanziati di uno strumento MICRO-RAMAN con ampio set di sorgenti eccitrici, dedicato ad analisi sui vari materiali di interesse nei beni culturali. Inoltre, chi scrive trascorrerà un periodo presso la Northwestern University e il laboratorio di conservazione dell'Art Institute di Chicago, in cui sono attivi due gruppi di ricerca che collaborano tra loro da diverso tempo nello sviluppo e nella valutazione di nuovi metodi di preparazione del campione per la SERS, disposti ad ospitarla presso le loro strutture per un periodo di formazione che possa gettare le basi per una collaborazione intercontinentale nello studio dei coloranti tessili naturali.

\*Collaboratrice esterna: Ambra Idone, borsista Fondo Sociale Europeo (FSE) in Metodologie e Tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali.