

*Carlo Giavarini, Maria Laura Santarelli  
CISTeC, Centro di Ricerca in Scienza e Tecnica per la  
Conservazione del Patrimonio Storico-Architettonico  
Università di Roma "La Sapienza"  
carlo.giavarini@uniroma1.it*

## LA CHIMICA E LA CONSERVAZIONE DEI MONUMENTI

**Con vari esempi applicativi, riferiti a studi e interventi del CISTeC, viene messo in evidenza il fatto che la chimica (o meglio "il buon senso chimico") non serve solo, nel campo dei beni culturali, per analisi e diagnostica, ma può contribuire validamente anche alle ipotesi di progetti di restauro, nonché suggerire gli interventi più validi per la conservazione.**

**L**a chimica è coinvolta in molti degli studi e interventi sui monumenti antichi, pur senza avere una visibilità diretta. Nei problemi legati alla conservazione non compare perché è quasi sempre al servizio, o comunque collegata, ad altre discipline (la storia dell'arte, l'architettura, l'archeologia, ecc.) che sono poi quelle, tramite i loro attori, che si creano maggior visibilità.

Cerchiamo di riassumere in questa nota quelli che secondo noi sono gli aspetti in cui la chimica è direttamente o indirettamente coinvolta, con riferimento ai materiali da costruzione antichi e con qualche esempio pratico, riferito ai monumenti romani e ai lavori fatti dal CISTeC (Centro di Ricerca in Scienza e Tecnica per la Conservazione del Patrimonio Storico-Architettonico).

La cura dedicata dai Romani alla prepara-

zione e alla scelta dei materiali ha certamente contribuito alla realizzazione delle eccezionali costruzioni che ancora oggi possiamo ammirare.

Citiamo ad esempio monumenti come la Basilica di Massenzio (6.000 m<sup>2</sup> coperti) e la Domus Aurea, avente un'estensione immensa, o la Domus Tiberiana (ca. 2 ettari).

In questo settore la chimica interviene essenzialmente in tre fasi: le indagini e la conoscenza storica di un monumento, la diagnostica del degrado, la conservazione.

### **Le indagini per le conoscenze storiche**

La chimica svolge spesso un ruolo fondamentale nell'approfondimento delle cono-

scenze storiche, utili soprattutto a storici e archeologi, per capire come un dato monumento è stato fatto, che tipo di materiali sono stati impiegati, provenienti da quali cave, quali sono state le fasi costruttive, ecc. A ciò si collega anche la possibilità di avere informazioni circa l'organizzazione dell'"industria" che ha fornito i materiali e circa il cantiere costruttivo.

Citiamo alcuni esempi.

Le malte romane erano fondamentalmente costituite da calce (preparata con grande cura) e pozzolana; insieme ai "caementa" (inerti grossolani inseriti e costipati nella malta) costituivano l'"opus caementicium", una fondamentale invenzione degli "ingegneri" romani del tempo. Completavano la

Relazione presentata al convegno "La chimica aiuta l'arte", organizzato da Sci Sez. Lombardia e Fast in occasione della fiera Rich-Mac, Milano, 4 ottobre 2005.



Fig. 1 - Muratura romana ricostruita presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università "La Sapienza" per effettuare studi sulle resistenze meccaniche delle murature antiche. Di norma gli spessori delle murature originarie sono più grandi

muratura due strati laterali di "semilateres" mattoni triangolari che fungevano essenzialmente da cassaforma (Fig. 1).

Riportiamo alcuni dati quantitativi relativi alla Basilica di Massenzio [1], che permettono di trarre deduzioni circa l'organizzazione della industria dei materiali da costruzione presso i Romani (Tabella).

L'analisi e lo studio delle malte fornisce informazioni circa la qualità delle stesse (tipi di calce e di pozzolana) in funzione degli usi; ogni applicazione, infatti, richiedeva l'uso di un certo tipo di calce e di pozzolana e, quindi, di malta. Le pozzolane rosse, più pregiate di quelle nere e brune, erano usate per le parti più importanti e delicate, come volte, strutture con alte resistenze, ecc. Le malte più ricche di calce erano per le strutture più sollecitate: la qualità del conglomerato dipendeva dalla qualità delle malte.

La composizione e struttura del conglomerato (opus caementicium) era strettamente correlata alla sua resistenza meccanica.

L'analisi evidenzia anche le differenti fasi costruttive (inevitabili diversità chimiche e fisiche). Ciò vale anche per gli stucchi e per i laterizi.

L'importanza dell'apporto della chimica alla conoscenza storica e industriale antica è forse più immediato quando ci si riferisce ai materiali metallici: lo studio delle grappe in ferro del Partenone ha permesso di ottenere preziose informazioni circa la metallurgia antica (VI secolo a.C.) [2]. La composizione della lega del Marco Aurelio (ca. 81% Cu,

## Dati quantitativi relativi alla Basilica di Massenzio

Superficie coperta	ca. 6.000 m <sup>2</sup>
Volume murature	ca. 48.000 m <sup>3</sup>
Superficie paramenti laterizio	ca. 19.500 m <sup>3</sup>
Numero mattoni	ca. 900.000
Legna per produrli	ca. 600 t
Malte di calce/pozzolana	ca. 25.000 m <sup>3</sup>
Calce	ca. 6.500 m <sup>3</sup>
Legna per produrla	ca. 500 t
Stucchi	ca. 12 km
Marmi	ca. 12.000 m (ca. 600 m <sup>3</sup> )

7% Sn e ben 12% Pb) è stata correlata alle sue caratteristiche di resistenza (meccanica e alla corrosione) ed è servita per la costruzione della copia [3] (Fig. 2).

### La diagnostica del degrado

Nella fase diagnostica l'apporto delle conoscenze chimiche è fondamentale per decidere i successivi interventi ed è strettamente collegata alla conoscenza delle interazioni con l'ambiente esterno.

È a tutti noto il fenomeno chimico della solfatazione dei materiali calcarei; lo è forse meno quello delle cosiddette "croste nere", pure legato alla SO<sub>2</sub> e alla presenza/assenza di umidità (si formano nelle zone non dilavate dalla pioggia e sono composte da gesso, carbonato ricristallizzato, particolato carbonioso, ecc). Per capire la loro formazione e i rimedi per limitarle, è stato essenziale il contributo dei chimici.

È interessante, anche se un poco "ardita" la teoria elettrochimica di un noto collega greco (Skoulikidis) per spiegare la "corrosione" dei marmi e per porvi rimedio [2]. Skoulikidis ha anche studiato la possibilità di ritrasformare il carbonato in solfato, cosa del resto fatta egregiamente anche da ricercatori italiani.

Spesso i maggiori guai vengono introdotti da "non chimici" che applicano materiali estetica-

mente validi ma chimicamente pericolosi, come nel caso del cemento magnesiaco o "colla Meyer", contenente cloro [Mg<sub>2</sub>(HO)<sub>3</sub>Cl·4H<sub>2</sub>O], usato sul Partenone nella prima metà del Novecento: in contatto con i rinforzi metallici (tondini di rame e ottone) ha innescato fenomeni corrosivi e conseguente distacco dei materiali [2].

Un tipico problema chimico, soprattutto negli ambienti soggetti a variazioni climatiche e di umidità, è quello della migrazione dei sali ("sali solubili") all'interno delle murature, con conseguente indebolimento delle malte, e quindi delle strutture, e distruzione progressiva degli intonaci e degli affreschi. L'indagine chimica è fondamentale per identificare il tipo di sale e la sua provenienza, e quindi per limitare il fenomeno.

Molto importante risulta oggi l'abbinamento delle misure chimiche, fisiche, biologiche e ambientali, con la modellazione dei flussi di



Fig. 2 - Una fase della costruzione della copia del Marco Aurelio

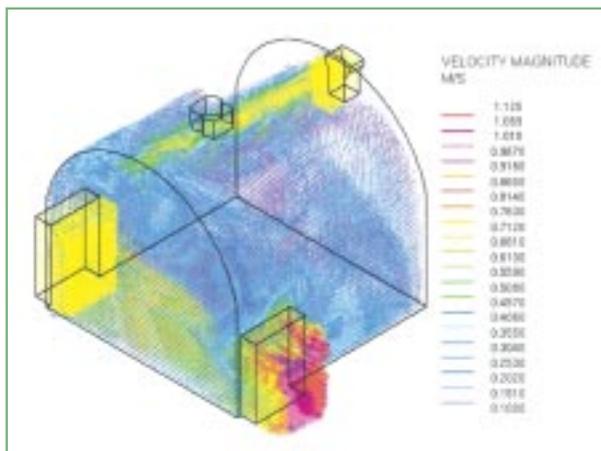


Fig. 3 - Modellazione dei flussi di aria e dei parametri climatici mediante CFD. L'immagine è riferita alla sala della Volta Dorata (Domus Aurea), dove particolarmente gravi risultano i danni provocati dalla migrazione dei sali

aria e delle caratteristiche climatiche, specie negli ambienti chiusi e ipogei [4] (Fig. 3).

La conoscenza chimica dei materiali ha permesso recentemente di formulare un'ipotesi originale e di verificarla sperimentalmente; si è infatti visto che anche le muraure romane (opus caementicium) possono variare di dimensioni quando soggette a cicli asciutto/bagnato. Ciò è dovuto alla presenza di composti zeolitici nei tufi che entrano nella composizione del calcestruz-

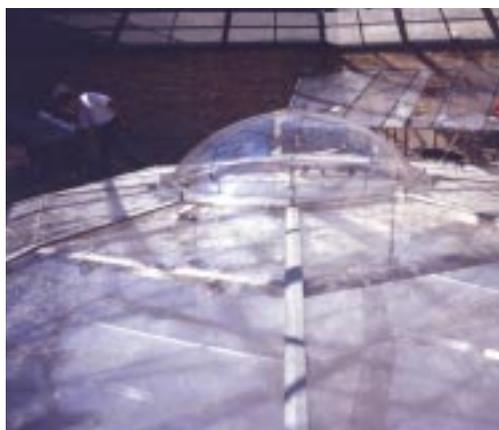


Fig. 4 - La chiusura dell'“occhio” della sala Ottagonale (Domus Aurea) mediante un sistema costituito da un telaio sottostante e da una protezione superiore in polimetacrilato

zo romano. Le dilatazioni (contrazioni) sono apprezzabili: 3-4 %, che significa 3-4 cm ogni 10 metri di muratura. Fessurazioni e apparenti cedimenti non sono quindi sempre imputabili a slittamenti del terreno, ma possono essere dovuti a variazioni di umidità della struttura [5].

Tornando ai materiali metallici, è superfluo citare l'importanza della chimica nella valutazione dei fenomeni corrosivi, come ad esempio fatto nel caso del Marco Aurelio dove sono state studiate anche le caratteristiche della condensa e dell'atmosfera nella zona del Campidoglio [3].

## La conservazione

L'aspetto conservativo è molto delicato e richiede l'apporto di varie discipline, essendo coinvolti anche gli aspetti estetici e di “filosofia del restauro” nei quali, ovviamente, il chimico non deve entrare. Deve invece dare un apporto importante nella scelta dei materiali e delle tecniche di applicazione, tenendo presenti almeno due aspetti:

- sui monumenti “vecchi” di venti e più secoli e, si spera, destinati a durare ancora almeno altrettanto, non si può intervenire con materiali aventi caratteristiche chimiche e meccaniche diverse da quelli originali (ad esempio cementi moderni) o comunque destinati a durare qualche anno, o qualche decina di anni soltanto;

- ogni intervento dovrebbe essere reversibile, cioè tale che possa essere ripristinato lo stato originale.

È per i motivi sopra citati che, fra l'altro, l'impiego di nuovi materiali sintetici di tipo organico va considerato con molta cautela.

La protezione dei bronzi è meno problematica: sembra prevalere la tendenza ad usare materiali reversibili che vanno rinnovati periodicamente, come le cere microcristalline con alto punto di fusione.

Materiali moderni, ad esempio polimerici, possono essere senz'altro impiegati per la protezione dagli agenti atmosferici o in casi analoghi; un esempio è la chiusura dell'occhio (diametro 6 metri) della Sala Ottagona



Fig. 5 - Una porzione del colle Palatino trattata con silani fluorurati formulati dal CISTeC. Su una porzione trattata si è anche seminato un tappeto erboso supportato da un piccolo spessore di terra

## Chemistry and Conservation of Cultural Heritage

ABSTRACT 

With some examples and case studies related to the works of CISTeC, the presentation explains the role of Chemistry in the Conservation of Cultural Heritage. Chemistry, and especially “common chemical sense”, is essential not only in diagnostics and analysis, but also to support conservation projects and to suggest the best restoration solutions.

della Domus Aurea, con lastre di polimetilmetacrilato (Fig. 4).

La protezione diretta delle superfici dei materiali lapidei e degli intonaci è un problema ancora in gran parte irrisolto. Non è infatti possibile, nella maggior parte dei casi, usare prodotti vernicianti o impermeabilizzanti.

Le murature e le pietre devono in genere poter "respirare", cioè permettere il passaggio di aria (e umidità) nei due sensi.

Sono stati usati (anni Settanta e Ottanta) soprattutto i metiletilmetacrilati (Paraloid), che però presentano problemi se esposti agli agenti atmosferici (fratture, variazioni di colore, ecc.) e sono risultati essere una barriera troppo impermeabile. Negli anni Novanta si è gradualmente passati alle resine polisilossaniche impiegate come protettivi idrofobizzanti (poi anche oleofobizzanti). Sono polimeri più resistenti all'irraggiamento e agli agenti atmosferici, pur presentando problemi di adesione al supporto (non legano con le pietre calcaree, funzionano meglio con le arenarie). Avendo struttura chimica "più aperta", possono essere considerati permeabili ai gas. La reazione di reticolazione avviene in sito ad opera dell'umidità.

La tendenza attuale è quella di non usare polimeri filmanti, ma prodotti che si legano al substrato (silani, già liquidi). Resta però aperto il problema dell'applicazione alle pietre calcaree (la pietra deve contenere Si); vanno bene per arenarie, mattoni, malte. Sono usati in soluzione o, più recentemente, in emulsione.

Relativamente ai consolidanti (materiali che penetrano ad esempio negli intonaci e nelle pietre porose o "corrose") un prodotto ritenuto adatto è ancora il silicato di etile (puro o sciolto in acetone). In presenza di umidità e di catalizzatori reticola all'interno del materiale lapideo. Se il substrato è siliceo si lega con struttura continua. Con marmi

che "sfarinano" ingloba le particelle calcaree facendo da ponte.

Negli ultimi anni però sono emersi interrogativi sulla sua efficacia: se le particelle distano più di 50 mm, il silicato si spacca. Esistono anche dubbi sulla reale capacità di penetrazione nel caso di applicazioni a pennello.

Sono stati usati anche consolidanti-adesivi costituiti, ad esempio, da soluzioni ammoniacali di silani (il silano fa anche da antialga); questi prodotti sono stati applicati con successo sul Palatino.

Si è sperimentato l'uso combinato di silani (pareti verticali in tufo del Palatino) con l'impiego, nei piani orizzontali, di un tappeto erboso supportato da un minimo spessore di terra ( $\leq 5$  cm) su strato silanico (Fig. 5). Il manto erboso (sedum) si rigenera e ritiene l'acqua piovana; se si secca, tende a rinascere.

Sta diventando sempre più importante il settore degli antigraffiti, che hanno visto alla prova vari materiali: acrilici fluorurati, polisilossani, cere ecc. Un progetto europeo, in cui il CISTeC partecipa, ha iniziato a sperimentare un nuovo "concetto" di prodotto (Fig. 6).

L'impermeabilizzazione delle grandi superfici piane (ad esempio terreni su ambienti ipogei) offre delicati problemi dovuti sia alla struttura fisica superficiale dei manufatti sia al fatto che essi devono spesso mantenere costanti le loro condizioni di umidità.

Un intervento interessante è stato fatto per la protezione della Domus Aurea dall'infiltrazione delle acque, mediante l'applicazione di uno strato di mattoni crudi coperto da un sottile materassino di bentonite, posto tra il livello dei giardini soprastanti e quello delle volte della Domus Aurea (Fig. 7). Grazie alle proprietà chimiche delle argille, mattoni e bentonite costituiscono

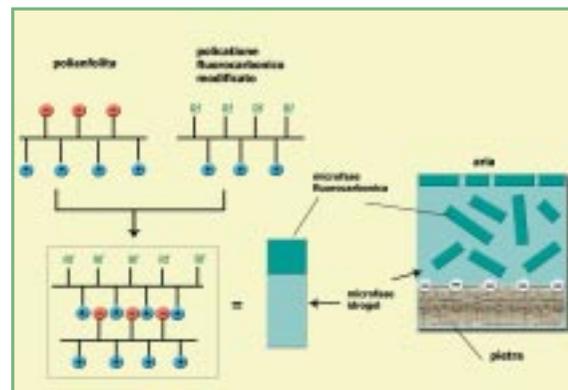


Fig. 6 - La nuova formulazione "nanostrutturata" degli antigraffiti per il Progetto Europeo "Graffitiage"



Fig. 7 - Una fase dei lavori di impermeabilizzazione svolti sul Colle Oppio a protezione della Domus Aurea. Sono stati impiegati mattoni crudi e sottili materassini di bentonite

uno strato impermeabile all'acqua e permettono una facile regolazione della pendenza per il drenaggio dell'acqua stessa [6, 7], mantenendo costante l'umidità delle strutture sottostanti.

## Conclusioni

Nel campo dei beni culturali, la chimica ha un ruolo di protagonista in molti studi, nell'analisi e nella diagnostica. Il suo ruolo però non si ferma qui: il "buon senso chimico" serve in effetti anche per le ipotesi e i progetti di restauro, nonché per gli interventi conservativi.

## Bibliografia

- |  |  |
|--|--|
| [1] La Basilica di Massenzio, C. Giavarini (Ed.), L'Erma di Bretschneider, Roma, 2005.                               | [5] C. Giavarini, M.L. Santarelli, <i>Chimica e Industria</i> , 2002, <b>84</b> (6), 39.                   |
| [2] C. Giavarini, <i>Chimica e Industria</i> , 2003, <b>85</b> (2), 43.  | [6] C. Giavarini, <i>Journal of Cultural Heritage</i> , 2001, <b>2</b> , 217.                              |
| [3] C. Giavarini, G. Santucci, <i>Materiali e Strutture</i> , 1996, <b>6</b> , 111.                                  | [7] C. Giavarini, I. Massari, G. Torraca, A. Vodret, <i>Costruire in Laterizio</i> , 2002, <b>87</b> , 52. |
| [4] S. Albero, C. Giavarini, M.L. Santarelli, A. Vodret, <i>Journal of Cultural Heritage</i> , 2004, <b>5</b> , 197. |  |