Rendiconti
Accademia nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali ISBN
DOI 10.4399/978885484598514
pag. 117–133

Il consolidamento dei materiali porosi: sviluppo storico del concetto, prodotti usati nel passato, tendenze attuali

Marisa Laurenzi Tabasso

After a concise description of the aims of consolidation treatments applied to porous building materials, the requirements of products to be used for architectural monuments and sculptures are listed. To illustrate the development of the consolidation concept, the most relevant trends and the cultural environment of the 19th century are briefly recalled, when the problem of monuments conservation became to be felt as necessary and urgent and when many new chemicals were being offered on the market, in correlation with the scientific and industrial development of those years. In the space of about 150 years, the improvements of scientific knowledge on the physical and structural characteristics of natural and artificial stones, along with better understanding of the decay mechanisms and of the interaction of consolidation products with stone brought from the initial trials to the present situation, which is very briefly illustrate.

1. Finalità del consolidamento dei materiali porosi e requisiti dei consolidanti

Il consolidamento dei materiali è un trattamento conservativo che ha la specifica finalità di migliorare la coesione tra i componenti minerali, per migliorare le proprietà meccaniche del materiale (che possono essere troppo modeste sin dall'origine o essere diminuite a causa del deterioramento subito dal materiale stesso). Lo stesso termine consolidamento viene anche impiegato per indicare un trattamento che migliori l'adesione tra parti deteriorate e parti ancora sane del materiale (ad esempio, nel caso di sfoglie o scaglie che si distaccano tra loro e dal substrato ancora compatto, oppure di strati di intonaco che si distaccano dalla muratura).

Queste finalità si raggiungono mediante l'introduzione nella struttura porosa del materiale da consolidare di una nuova sostanza che sia applicabile allo stato liquido (o in soluzione), che possa solidificare dopo l'applicazione e aderire alle pareti dei capillari e delle microfratture, saldando le discontinuità tra i costituenti minerali. Queste finalità si raggiungono mediante l'introduzione nella struttura porosa del materiale da consolidare di una nuova sostanza che sia applicabile allo stato liquido (o in soluzione), che possa solidificare dopo l'applicazione e aderire alle pareti dei capillari e delle microfratture, saldando le discontinuità tra i costituenti minerali.

Questi appena elencati sono i requisiti assolutamente necessari e indispensabili perché un prodotto chimico possa essere impiegato come consolidante. Essi tuttavia non sono sufficienti a garantire il buon esito del trattamento. È anche necessario che il prodotto consolidante sia compatibile, chimicamente e fisicamente, con il materiale da consolidare; che abbia la possibilità di penetrare entro i suoi spazi porosi fino a raggiungere le zone non alterate; che non dia luogo alla formazione di sottoprodotti dannosi né di colorazioni diverse da quelle originali; che, infine, la sua efficacia sia durevole nel tempo e, soprattutto, lasci aperta la possibilità di un nuovo trattamento, quando se ne presentasse la necessità.Questi appena elencati sono i requisiti assolutamente necessari e indispensabili perché un prodotto chimico possa essere impiegato come consolidante. Essi tuttavia non sono sufficienti a garantire il buon esito del trattamento.

È anche necessario che il prodotto consolidante sia compatibile, chimicamente e fisicamente, con il materiale da consolidare; che abbia la possibilità di penetrare entro i suoi spazi porosi fino a raggiungere le zone non alterate; che non dia luogo alla formazione di sottoprodotti dannosi né di colorazioni diverse da quelle originali; che, infine, la sua efficacia sia durevole nel tempo e, soprattutto, lasci aperta la possibilità di un nuovo trattamento, quando se ne presentasse la necessità. Come è facilmente intuibile, è difficile trovare prodotti che abbiano tutti insieme questi requisiti ad un livello almeno accettabile. Se si considera inoltre che il successo (o il fallimento) di un trattamento di consolidamento dipende anche, e in buona misura, dalle modalità e la cura con le quali il prodotto viene applicato, si comprende bene che, tra tutti, questo è il trattamento conservativo più difficile anche se, certamente, di impatto minore sul pubblico in quanto gli eventuali

effetti negativi non sono evidenti nell'immediato (come nel caso della pulitura), ma solo dopo un certo tempo.

2. Lo sviluppo del concetto di consolidamento

Tutto quanto esposto nel paragrafo precedente si fonda sulla conoscenza delle caratteristiche mineralogiche, chimiche e fisiche dei materiali lapidei, dei fattori che inducono il deterioramento e dai meccanismi attraverso i quali esso si manifesta, nonché sulla buona conoscenza del chimismo di alcune classi di prodotti chimici. Tutto quanto esposto nel paragrafo precedente si fonda sulla conoscenza delle caratteristiche mineralogiche, chimiche e fisiche dei materiali lapidei, dei fattori che inducono il deterioramento e dai meccanismi attraverso i quali esso si manifesta, nonché sulla buona conoscenza del chimismo di alcune classi di prodotti chimici.

Questa consapevolezza è il risultato di un lungo processo che parte soprattutto nei paesi europei nel XIX sec. e che risente, da un lato, dei progressi delle discipline scientifiche, a loro volta stimolati e prodotti dalla rivoluzione industriale, e dall'altro della temperie culturale che si alimentava delle riflessioni di intellettuali (soprattutto architetti e storici) sul significato e l'importanza delle vestigia ereditate dal passato. Questa consapevolezza è il risultato di un lungo processo che parte soprattutto nei paesi europei nel XIX sec. e che risente, da un lato, dei progressi delle discipline scientifiche, a loro volta stimolati e prodotti dalla rivoluzione industriale, e dall'altro della temperie culturale che si alimentava delle riflessioni di intellettuali (soprattutto architetti e storici) sul significato e l'importanza delle vestigia ereditate dal passato. Non è questa la sede per una discussione dettagliata sulle correnti culturali che hanno influenzato l'iniziale sviluppo della conservazione dei materiali dell'architettura e degli apparati decorativi, per la quale si rimanda alla bibliografia specifica [1]. È tuttavia importante ricordare almeno due approcci al problema, molto differenti tra loro: il primo fa riferimento al movimento guidato dall' architetto Eugène Viollet–le–Duc ed il secondo a quello che si riconosceva nelle idee di John Ruskin.

Eugène Viollet–le–Duc (1814–1879) si è occupato del restauro di molti importanti monumenti medievali, soprattutto in Francia (tra i

quali possiamo ricordare la cattedrale di Nôtre Dame a Parigi) e ha pubblicato opere di grande importanza nelle quali ha avuto modo di illustrare la sua visione per la conservazione dei monumenti — *Dizionario ragionato dell'architettura francese dall'XI al XVI secolo* (1854–1868) e *Dialoghi sull'architettura* (in 2 volumi) (1858–1872). I principi a cui Viollet–le–Duc si è ispirato nella sua attività di architetto restauratore sono essenzialmente quelli enunciati dal *Positivismo* e dallo *Storicismo*. Egli dunque sosteneva l'importanza delle conoscenze e dei metodi scientifici per la definizione dei risultati da raggiungere nell'intervento di restauro, il cui fine doveva essere il raggiungimento non solo dell'integrità fisica dei monumenti, ma anche e soprattutto dell'unità stilistica. Nell'VIII volume del suo Dizionario egli scrive: "Restaurare un edificio non significa preservarlo, ripararlo o ricostruirlo; significa restituirgli una condizione di compiutezza che forse esso non ha mai avuto". E inoltre: " Restaurare un edificio non significa preservarlo, ripararlo o ricostruirlo; significa restituirgli una condizione di compiutezza che forse esso non ha mai avuto". E inoltre: "Ciascun edificio o parte di esso dovrebbe essere restaurato nel suo proprio stile, non solo per l'aspetto, ma anche per la struttura".

Come conseguenza di questo approccio si potevano giustificare le aggiunte di parti decorative perdute, di elementi strutturali e anche la costruzione di nuove parti, come si può osservare nei molti monumenti da lui restaurati. Sculture ed elementi decorativi importanti, se deteriorati o in reale pericolo, sono trasferiti in ambienti interni e sostituiti da copie.

Su posizioni antitetiche a quelle ora esposte era il movimento di opinione guidato da John Ruskin (1819–1900), scrittore, pittore e critico d'arte inglese, che criticava in modo molto acceso la "furia restauratrice" prodotta dall'approccio positivistico e scientifico e si fece paladino del movimento dell'"antirestauro". Ruskin era contrario ad ogni aggiunta o ricostruzione che minacciasse l'autenticità del monumento e sosteneva che la cura attenta dei monumenti costituiva l'antidoto agli eccessi prodotti dal loro restauro per il fatto stesso che questo diveniva inutile. In altre parole: prendetevi la maggior cura possibile dei vostri monumenti e non avrete bisogno di restaurarli. E quando questo non sarà più sufficiente a preservarli, lasciateli "perire" a poco a poco, piuttosto che restaurarli. Questi stessi concetti sono chiaramente espressi nel "Manifesto" della SPAB (Society for the Protection

of Ancient Buildings) fondata Londra nel 1877 da William Morris, cui aderirono lo stesso Ruskin e molte altre influenti personalità. Nel Manifesto si raccomanda di fare "riparazioni conservative" per rallentare il deterioramento dei monumenti per mezzo della "cura quotidiana". Si posero in questo modo le basi per la politica della conservazione dei nostri giorni.

Gli architetti della SPAB erano ben informati sui nuovi prodotti per il trattamento della pietra in quanto ritenevano che esso costituisse un aspetto delle riparazioni conservative. È ad esempio documentato che W.D. Caröe, membro della SPAB, informò l'archeologo e architetto Giacomo Boni dei vantaggi offerti dall'uso dei silicati alcalini. Boni sperimentò questi prodotti a Venezia e più tardi, all'inizio del secolo XX, a Roma, quando fu nominato Direttore Generale delle Antichità [2], [3]. Gli architetti della SPAB erano ben informati sui nuovi prodotti per il trattamento della pietra in quanto ritenevano che esso costituisse un aspetto delle riparazioni conservative. È ad esempio documentato che W.D. Caröe, membro della SPAB, informò l'archeologo e architetto Giacomo Boni dei vantaggi offerti dall'uso dei silicati alcalini. Boni sperimentò questi prodotti a Venezia e più tardi, all'inizio del secolo XX, a Roma, quando fu nominato Direttore Generale delle Antichità [2], [3]. D'altra parte, anche Viollet–le–Duc era convinto che la "silicatizzazione è la sola alternativa alla drastica raschiettatura delle vecchie facciate" perché "restituisce alla pietra una superficie dura e resistente all'invecchiamento". La fiducia nei silicati alcalini anche da parte di altri architetti che condividevano il suo approccio è provata dal trattamento del Portal Royal della Cattedrale di Chartre, restaurato da Jean–Baptist Lassus, che fu consolidato con silicato di sodio nel 1854.

In quel periodo infatti si assiste ad un fiorire di articoli scientifici e brevetti, soprattutto nei paesi Nord–europei e, poco dopo anche negli Stati Uniti, riguardanti prodotti o miscele di prodotti per il trattamento delle pietre dell'architettura al fine di migliorarne la resistenza all'attacco degli agenti atmosferici. Tra di essi i più innovativi dal punto di vista chimico sono certamente i silicati inorganici (soprattutto il silicato di sodio) e i fluosilicati. Ma viene proposto anche l'uso di fosfati, della calce e della barite, accanto a cere, gomma lacca, stearina e oli vari [4].

È interessante ricordare quella che veniva considerata "una curiosi-

tà chimica" [4]: un rapporto del Royal Institute of British Architects, nel 1861, riporta la discussione tra i membri dell'Istituto sui risultati di prove effettuate con prodotti diversi, per il trattamento del paramento lapideo delle nuove Houses of Parliament di Londra. Il Prof. August W. Hoffman, chimico eminente, dopo aver descritto il buon risultato ottenuto con i silicati alcalini, afferma che le potenzialità della chimica possono andare ben oltre questi silicati e cita una sostanza che, secondo la sua opinione, è molto promettente... Si tratta dell'"etere silicico", che possiede qualità tali che il prof. Hoffman, suo scopritore, è sorpreso che non sia stato usato fino ad allora per il trattamento della pietra e che, al contrario, è considerato una curiosità chimica. È questa la prima volta che il silicato di etile viene citato in relazione alla conservazione dei monumenti, ma dovrà passare più di un secolo prima che esso diventi uno dei consolidanti più usati.

È interessante ricordare quella che veniva considerata "una curiosità chimica" [4]: un rapporto del Royal Institute of British Architects, nel 1861, riporta la discussione tra i membri dell'Istituto sui risultati di prove effettuate con prodotti diversi, per il trattamento del paramento lapideo delle nuove Houses of Parliament di Londra. Il Prof. August W. Hoffman, chimico eminente, dopo aver descritto il buon risultato ottenuto con i silicati alcalini, afferma che le potenzialità della chimica possono andare ben oltre questi silicati e cita una sostanza che, secondo la sua opinione, è molto promettente...

Si tratta dell'"etere silicico", che possiede qualità tali che il prof. Hoffman, suo scopritore, è sorpreso che non sia stato usato fino ad allora per il trattamento della pietra e che, al contrario, è considerato una curiosità chimica. È questa la prima volta che il silicato di etile viene citato in relazione alla conservazione dei monumenti, ma dovrà passare più di un secolo prima che esso diventi uno dei consolidanti più usati. L'uso dei silicati alcalini e dei fluosilicati arriva in Italia probabilmente con qualche decennio di ritardo rispetto ai paesi Nord–europei e questa incertezza temporale deriva soprattutto dalla mancanza di documentazione circa la natura di prodotti eventualmente impiegati in occasione di interventi di restauro; non si può tuttavia escludere che indagini di archivio più approfondite potrebbero rivelare informazioni utili. Nella maggioranza dei monumenti per i quali sono stati effettuati studi specifici per identificare resti di consolidanti chimici, applicati tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, sono state le indagini chimiche

a confermare o almeno a rendere molto probabile l'uso di tali prodotti. In molti casi infatti i campioni prelevati dalle superfici dei monumenti in esame, hanno mostrato strutture stratificate, indicative di successivi trattamenti e, in alcuni di questi strati, la presenza di un deposito di silice amorfa riconducibile all'uso di prodotti come i silicati alcalini e i fluosilicati che, idrolizzandosi, producono, appunto silice amorfa. Tra i monumenti che sono stati trattati si possono citare i grandi monumenti in marmo del periodo imperiale a Roma, e tra di essi gli archi trionfali di Tito, Settimio Severo e Costatino e la colonna di Traiano. Per questi monumenti non sono stati trovati documenti di archivio o relazioni tecniche che descrivano lavori di restauro e conservazione fino all'inizio del sec.XX, tuttavia è noto che Giacomo Boni, come già sopra accennato, aveva avuto modo di sperimentare alcuni prodotti ed era a conoscenza, tra gli altri, dei brevetti di Frederick Ransome. Le indagini scientifiche hanno mostrato che esiste una buona compatibilità tra i trattamenti proposti da Ransome[1] e i composti presenti nei numerosi campioni analizzati [5] [6].

Nel caso della Certosa di Pavia, invece, i dati analitici riferiti a campioni prelevati dagli elementi decorativi della facciata trovano una esatta corrispondenza nei documenti di archivio relativi ai lavori di restauro effettuati negli anni tra il 1905 e il 1926, nei quali si parla esplicitamente di "silicatizzazione" [7].

Il fatto che, spesso, nella letteratura scientifica di fine '800 riguardante i problemi di durabilità dei materiali lapidei vengano confrontati prodotti come i silicati alcalini con prodotti organici come oli, cere e resine naturali indica che non era ancora sufficientemente chiaro quale doveva essere il ruolo che i diversi prodotti potevano svolgere, in funzione delle loro caratteristiche chimiche e chimico–.

Il termine usato più frequentemente dagli autori di lingua inglese (e.g. A.P. Laurie and A. Lucas) per descrivere questi prodotti è "Indu-

1. Br. Patent N. 3279/1868 by Frederick Ransome "Preserving and hardening stone, cement, etc": My improvements consists... in applying in succession a solution of phosphate of lime and a solution of barita, strontia or lime, by preference barita, and afterwards a solution of silica, by preference an alkaline silicate... Colouring matters may, if desired, be used together with these applications. Br. Patent N. 3279 / 1868 by Frederick Ransome "Preserving and hardening stone, cement, etc": My improvements consists... in applying in succession a solution of phosphate of lime and a solution of barita, strontia or lime, by preference barita, and afterwards a solution of silica, by preference an alkaline silicate... Colouring matters may, if desired, be used together with these applications.

rente" e il loro scopo primario doveva essere quello di aumentare la durabilità della pietra, senza distinguere tra prodotti che potevano avere un reale effetto sulle proprietà meccaniche e micro–strutturali del materiale e prodotti che potevano esercitare un'azione protettiva in quanto potevano renderlo idrorepellente. Il termine usato più frequentemente dagli autori di lingua inglese (e.g. A.P. Laurie and A. Lucas) per descrivere questi prodotti è "Indurente" e il loro scopo primario doveva essere quello di aumentare la durabilità della pietra, senza distinguere tra prodotti che potevano avere un reale effetto sulle proprietà meccaniche e micro–strutturali del materiale e prodotti che potevano esercitare un'azione protettiva in quanto potevano renderlo idrorepellente. Solo negli anni '20 del nuovo secolo si comincia ad usare il termine consolidamento. A.R. Warnes, nel suo libro *Building stones, their properties, decay and preservation*, pubblicato a Londra nel 1926 distingue il trattamento di consolidamento da quello per rendere idrorepellenti le superfici e dice che i due processi vanno combinati. Tuttavia questa distinzione stenterà molto ad essere compresa dai conservatori e, almeno in Italia, bisognerà arrivare alla fine degli anni '60 del XX sec. perché cominci a divenire parte del bagaglio culturale di restauratori e conservatori [8]. Solo negli anni '20 del nuovo secolo si comincia ad usare il termine consolidamento.

A. R. Warnes, nel suo libro *Building stones, their properties, decay and preservation*, pubblicato a Londra nel 1926 distingue il trattamento di consolidamento da quello per rendere idrorepellenti le superfici e dice che i due processi vanno combinati. Tuttavia questa distinzione stenterà molto ad essere compresa dai conservatori e, almeno in Italia, bisognerà arrivare alla fine degli anni '60 del XX sec. perché cominci a divenire parte del bagaglio culturale di restauratori e conservatori [8].

3. Il caso degli architravi scolpiti del S. Sepolcro a Gerusalemme

Il caso degli architravi scolpiti della Chiesa del S. Sepolcro a Gerusalemme può essere un valido esempio, forse non molto noto, di come veniva affrontato il problema del consolidamento negli anni tra il 1920 e il 1930. Si tratta di due lastre di marmo scolpite durante il periodo crociato (nel XII sec.), rappresentanti storie della vita di Cristo, che ornavano i due portali d'ingresso della Chiesa del S. Sepolcro a Geru-

salemme. All'inizio del XX sec., durante il periodo del Protettorato Inglese sulla Palestina, le condizioni dei due preziosissimi rilievi erano talmente precarie (frammenti di notevoli dimensioni erano già andati perduti dal rilievo Ovest) da consigliarne la rimozione e il ricovero in un ambiente meno aggressivo. Il dott. Alfred Lucas (1867–1945), chimico, Direttore del Dipartimento di Chimica nel Servizio delle Antichità in Egitto e nel Protettorato inglese, fu incaricato di progettare ed effettuare le operazioni di rimozione delle lastre. Lucas effettuò una accurata indagine diagnostica per valutare lo stato di conservazione e per comprendere le cause che avevano prodotto il deterioramento. Sulla base dei risultati ottenuti fu deciso di rinunciare alla rimozione dei sali solubili presenti, perché questa operazione sarebbe risultata troppo dannosa a causa della estrema fragilità del marmo, e di applicare un trattamento di consolidamento per rimediare a questa fragilità. Nella relazione del giugno 1928 Lucas discute le alternative offerte dai diversi prodotti consolidanti disponibili in quel tempo e suggerisce di evitare l'uso di "soluzioni che reagiscano chimicamente con la pietra, come barite, silicati e fluosilicati... Rimangono solo consolidanti che possono impregnare la pietra senza reagire chimicamente, come olii, cere, resine e celluloide". Negli anni immediatamente successivi il trattamento di consolidamento fu effettuato con una soluzione diluita di nitrato di cellulosa in amil–acetato, senza alcuna pulitura preliminare [9]. Alla fine degli anni '30, quando fu inaugurato il Museo Rockefeller a Gerusalemme, i due rilievi entrarono a far parte delle collezioni e da allora sono sempre rimasti esposti in una delle sale del museo.

Il caso degli architravi scolpiti della Chiesa del S. Sepolcro a Gerusalemme può essere un valido esempio, forse non molto noto, di come veniva affrontato il problema del consolidamento negli anni tra il 1920 e il 1930. Si tratta di due lastre di marmo scolpite durante il periodo crociato (nel XII sec.), rappresentanti storie della vita di Cristo, che ornavano i due portali d'ingresso della Chiesa del S. Sepolcro a Gerusalemme. All'inizio del XX sec., durante il periodo del Protettorato Inglese sulla Palestina, le condizioni dei due preziosissimi rilievi erano talmente precarie (frammenti di notevoli dimensioni erano già andati perduti dal rilievo Ovest) da consigliarne la rimozione e il ricovero in un ambiente meno aggressivo. Il dott. Alfred Lucas (1867–1945), chimico, Direttore del Dipartimento di Chimica nel Servizio delle Antichità in Egitto e nel Protettorato inglese, fu

incaricato di progettare ed effettuare le operazioni di rimozione delle lastre. Lucas effettuò una accurata indagine diagnostica per valutare lo stato di conservazione e per comprendere le cause che avevano prodotto il deterioramento. Sulla base dei risultati ottenuti fu deciso di rinunciare alla rimozione dei sali solubili presenti, perché questa operazione sarebbe risultata troppo dannosa a causa della estrema fragilità del marmo, e di applicare un trattamento di consolidamento per rimediare a questa fragilità.

Nella relazione del giugno 1928 Lucas discute le alternative offerte dai diversi prodotti consolidanti disponibili in quel tempo e suggerisce di evitare l'uso di "soluzioni che reagiscano chimicamente con la pietra, come barite, silicati e fluosilicati.

Rimangono solo consolidanti che possono impregnare la pietra senza reagire chimicamente, come olii, cere, resine e celluloide". Negli anni immediatamente successivi il trattamento di consolidamento fu effettuato con una soluzione diluita di nitrato di cellulosain amil–acetato, senza alcuna pulitura preliminare [9]. Alla fine degli anni '30, quando fu inaugurato il Museo Rockefeller a Gerusalemme, i due rilievi entrarono a far parte delle collezioni e da allora sono sempre rimasti esposti in una delle sale del museo. A circa 60 anni da questo trattamento, e nonostante il miglioramento delle condizioni ambientali di esposizione ottenuto con il ricovero in ambiente confinato, lo stato di conservazione del marmo appariva seriamente compromesso e richiedeva un nuovo intervento conservativo. Una prima indagine diagnostica effettuata nel 1994/5 dal Getty Conservation Institute [10], e un ulteriore studio dell'Istituto Centrale del Restauro [11] (entrambi in collaborazione con i conservatori/restauratori dell'Israel Antiquities Authority) dimostrarono che il nitrato di cellulosa aveva formato un film discontinuo, tutto concentrato sulla superficie del marmo. Nelle parti che negli anni '30 erano ancora in buono stato di conservazione il film poteva essere eliminato facilmente, in qualche caso addirittura con una semplice azione meccanica, in quanto il marmo si era mantenuto in buono stato. Questa stessa operazione, o eventuali altri metodi di rimozione basati sull'uso di solventi organici, era invece impossibile, perché pericolosamente distruttiva, nelle zone dove il marmo era privo di coesione, in quanto il nitrato di cellulosa non aveva avuto alcun effetto consolidante. Il confronto dello spettro FTIR della pellicola prelevata dai bassorilievi con quello di un campione di

nitrato di cellulosa preso come riferimento mostrava che il polimero non aveva subito alterazioni significative nel corso di circa 60 anni. Dunque il fallimento dell'effetto consolidante è, ragionevolmente, da attribuire alla mancanza di penetrazione della soluzione impiegata, al di sotto dei cristalli più esterni di calcite.

4. La situazione alla metà del XX sec.

Dopo i mediocri risultati ottenuti con i consolidanti inorganici, in particolare con i silicati alcalini, i conservatori cominciarono a volgere la loro attenzione ai polimeri di sintesi che dopo gli anni'30 e ancora di più alla conclusione della seconda guerra mondiale l'industria chimica andava proponendo e rendeva disponibili sul mercato, sia in Nord America che in Europa. Tra di essi risultavano particolarmente interessanti alcuni polimeri vinilici (soprattutto l'alcol e l'acetato di polivinile), alcuni polimeri e copolimeri acrilici e le resine siliconiche. Si trattava evidentemente di materiali molto diversi tra loro ma caratterizzati da buon potere adesivo e buona trasparenza, caratteristiche che potevano renderli attraenti agli occhi dei conservatori. Nessuno di questi tipi di polimeri, tuttavia, era stato progettato per il consolidamento dei materiali porosi da costruzione né rispondeva ai requisiti esposti al par. 1 che, peraltro, non erano ancora stati neanche abbozzati.

Dopo una prima adesione entusiastica verso questi nuovi prodotti, che vennero applicati senza la necessaria cura per ottimizzarne la penetrazione in profondità e, spesso, senza una sufficiente conoscenza delle caratteristiche chimiche e chimico–fisiche, i conservatori cominciarono a registrare risultati non soddisfacenti o addirittura negativi che provocarono una profonda delusione in molti di loro, soprattutto architetti e archeologi.

È significativo a questo proposito un documento del Building Research Establishment (un Ente pubblico di ricerca del Regno Unito, fondato nel 1921), pubblicato nel 1963: "Since 1840. . . no stone preservative used as surface treatment has yet met with any significant measure of success". Esso sottolinea che delusione verso i trattamenti per migliorare la durabilità delle pietre, veniva espressa anche da tecnici che si occupavano genericamente di materiali porosi da costruzione.

Bisogna arrivare alla fine degli anni '60 per registrare un diverso approccio "culturale" alla conservazione della pietra e a studi più approfonditi sul problema del consolidamento. In quegli anni il forte aumento della concentrazione degli inquinanti atmosferici, derivato dalla combustione di oli minerali e benzine per autotrazione, aveva ulteriormente accelerato il degrado dei materiali. In particolare, le superfici dei monumenti, soprattutto nei centri urbani, apparivano fortemente annerite e deturpate da croste nere, spesso instabili che si distaccavano, spesso spontaneamente, mettendo in evidenza il materiale sottostante ormai privo di qualsiasi coesione. Si iniziò ad approfondire con campagne di misura *ad hoc* la correlazione tra degrado dei materiali, soprattutto quelli calcarei, e, tra i metalli, il rame e le sue leghe, e gli inquinanti atmosferici, soprattutto il biossido di zolfo ed il particellato sospeso.

L'allarme lanciato da molti studiosi sulla sorte e sui rischi di perdita delle superfici architettoniche e sulla necessità di intervenire per riparare i danni già subiti e prevenire perdite ulteriori portò alla organizzazione del primo Congresso Internazionale sulla Conservazione delle Sculture all'Aperto, svoltosi a Bologna nel 1969. L'iniziativa fu presa da Cesare Gnudi, storico dell'arte illustre, Soprintendente ai Beni Storico–Artistici di Bologna, in primo luogo per discutere i problemi di conservazione del protiro policromo del Duomo di Ferrara [12] e della facciata della Chiesa di S. Petronio a Bologna, in particolare delle preziose formelle marmoree di Jacopo della Quercia, che ornano il portale centrale. Durante le ampie e vivaci discussioni che animarono il Convegno, fedelmente riportate negli Atti [13], per la prima volta fu ufficialmente riconosciuto che "le superfici scolpite meritano la stessa attenzione riservata a quelle dipinte",e che gli interventi conservativi su queste superfici dovevano essere affidati a restauratori con adeguato bagaglio culturale, sia scientifico che tecnico e non a generiche manovalanze edili, come fino a quel momento si usava fare (e come purtroppo ancora oggi si continua troppo spesso a fare per un malinteso intento di riduzione dei costi dell'intervento!).

Con questo nuovo approccio si realizzò, nel decennio successivo, l'intervento conservativo della facciata di S. Petronio che fu affidata al restauratore Ottorino Nonfarmale. Il consolidamento del marmo, della Pietra d'Istria e del Rosso di Verona fu effettuato con una miscela, messa a punto dallo stesso restauratore, costituita da Paraloid B72

(metil–acrilato / etil–metacrilato) della Rohm & Haas e DRI FILM 104 (alchil–alcossi–silano) della General Electric [14]. Questa miscela, che Ottorino Nonfarmale utilizzò in molti altri casi con buoni risultati e che divenne presto nota con il soprannome scherzoso di "Bologna Cocktail" affibiatale dal chimico statunitense George Wheeler, fu sempre applicata ponendo la massima cura per ottimizzare la penetrazione del prodotto consolidante.

L'importanza di questo aspetto fu sempre meglio compresa e furono proposti ed utilizzati diversi metodi di trattamento, dall'applicazione sotto vuoto per manufatti rimovibili [15], allo spruzzo fine, prolungato nel tempo [16], all'applicazione mediante impacchi [17]. Fu anche proposto, ma solo al livello di sperimentazione di laboratorio, l'impiego di monomeri acrilici e metacrilici che, in quanto costituti da molecole piccole rispetto alla porosità della pietra e con un minore ingombro sterico, hanno una capacità di penetrazione molto più elevata dei corrispondenti polimeri che si possono formare all'interno del materiale [18]. L'uso di monomeri acrilici per immersione sotto vuoto è stato poi sperimentato su oggetti o parti di monumenti rimovibili [19], successivamente brevettato da una Società tedesca ed è tuttora in uso.

Le sempre più numerose esperienze di trattamenti consolidanti che si andavano realizzando nel decennio 1970–80 migliorarono le conoscenze sui meccanismi di azione delle diverse classi di prodotti e divenne possibile proporre un modello per descrivere come i consolidanti possono modificare la micro-struttura della pietra trattata e influenzare le proprietà della superficie e delle interfacce interne. Da questa conoscenza deriva anche la possibilità di definire i requisiti prestazionali dei prodotti da impiegare per il consolidamento di manufatti di interesse artistico e storico [20]: Efficacia consolidante; Profondità di penetrazione; Compatibilità con la pietra; Effetto sulla permeabilità e sulle capacità di trasferimento dell'umidità; Influenza sull'aspetto; Durabilità.

Inoltre la definizione di metodi per la valutazione preventiva di prodotti e sistemi di applicazione da parte di gruppi di standardizzazione, come la Commissione NORMAL, attiva in Italia sotto il patrocinio dell'Istituto Centrale del Restauro (Ministero dei Beni Culturali) e del Consiglio Nazionale delle Ricerche, ha contribuito ad una maggiore cautela nella decisione di effettuare interventi di consolidamento e ad una scelta più prudente dei prodotti da impiegare [21].

Va infine ricordato che la definizione di requisiti prestazionali ha facilitato la comparsa sul mercato di prodotti che rispondano meglio alle specifiche esigenze della conservazione nel settore dei beni culturali, anche se non si può negare che, a tutt'oggi, i prodotti offerti dall'industria chimica non sono specificamente studiati per rispondere a queste esigenze ma piuttosto a quelle dell'edilizia "nuova", che evidentemente costituisce un mercato più vasto e assicura guadagni migliori ma che, spesso, ha esigenze meno stringenti.

5. Cenni sulla situazione attuale

Una descrizione molto sintetica della situazione attuale del consolidamento deve almeno ricordare che le resine acriliche e le viniliche sono usate meno (o molto meno) che negli anni '80; anche le resine epossidiche, che hanno goduto di un certo favore negli anni '80, soprattutto nei paesi nord europei, sono state abbandonate, soprattutto per la loro bassa resistenza alla radiazione UV e per la scarsissima possibilità di penetrazione; tuttavia le epossidiche ciclo–alifatiche, che sono più resistenti all'ingiallimento sono ancora usate quando gli spazi intergranulari da risaldare sono piuttosto larghi (ad es. nel caso di graniti che si scagliano o sfogliano, per incollare al substrato ancora sano le parti in via di distacco, per incollare piccoli frammenti, ecc.).

I prodotti a base di Si sono oggi i consolidanti di gran lunga più usati. In particolare il silicato di etile (tetra–etossi–silano, spesso indicato con l'acronimo TEOS nei testi in lingua inglese), monomero/oligomero, da solo o in miscela con alchil–alcossi silani, è il consolidante più diffuso da almeno venti anni, non solo per le pietre silicatiche ma anche per i calcari e per il marmo. Dopo essere rimasto "una curiosità chimica" per molto tempo e dopo numerosi tentativi di uso con risultati poco soddisfacenti, negli anni '70, la grande popolarità del silicato di etile è iniziata quando sono divenuti disponibili prodotti con catalizzatori neutri che assicurano una buona compatibilità chimica con il substrato e, soprattutto, un buon controllo della velocità dei processi di idrolisi e condensazione, ed infine Tempo di gel adatto ad assicurare una buona penetrazione del prodotto senza eccessive perdite per evaporazione [22]. Oggi il mercato offre prodotti a base di TEOS che vanno da monomeri e oligomeri, ai cosiddetti prodotti pre–condensati, fino ai silica

sols, che, con l'aumentare del peso molecolare presentano capacità decrescenti di penetrare in profondità, per rispondere meglio a specifiche esigenze come, ad esempio, quelle del consolidamento di malte ed intonaci [23]. Sono anche disponibili prodotti con addittivi minerali (es. silica gel) che dovrebbero essere più adatti del "puro" TEOS per riempire microfratture o come leganti per stuccature e, infine alcossi silani che, grazie alla presenza di brevi catene paraffiniche tra i gruppi alcossidici, producono polimeri silicatici più flessibili della pura silice che dovrebbero meglio resistere agli eventuali sforzi di trazione che si potrebbero verificare all'interno della struttura porosa.

Questo, sia pur brevissimo cenno alla situazione attuale, non può mancare di citare l'impiego delle nano–calci proposto e sperimentato ormai da diversi anni per il consolidamento dello strato pittorico e dell'intonaco di dipinti murali a fresco [24] , ma che ormai viene studiato e proposto anche per il consolidamento della pietra [25].

In conclusione si può asserire che una più ampia gamma di prodotti attualmente disponibili, una loro più prudente selezione, nonché metodi di applicazione più attenti da parte di operatori meglio preparati, hanno portato a migliorare i risultati oggi ottenibili con i trattamenti di consolidamento.

Riferimenti bibliografici

1. J. Jokilehto, 1999, *A History of Architectural Conservation*, Butterworth–Heineman, Oxford.

2. A. Paribeni, 1998, *"Esperimenti pel risanamento dei marmi": trattamenti chimici nel restauro dei monumenti veneziani alla fine del XIX secolo*, in Marmi Antichi II, Cave e tecnica di lavorazione, provenienze e distribuzione, L'Erma di Bretschneider, Roma, A.A. 1993–1995

3. F.Guidobaldi, M.Laurenzi Tabasso, C.Meucci, 1984, *Monumenti in marmo di epoca imperiale a Roma. Indagine sui residui di trattamenti superficiali*, Bollettino d'Arte n. 24, 121–134

4. S.Z. Lewin, 1966, *The Preservation of Natural Stone, 1839–1965, An Annotated Bibliography*, AATA, Vol. 6, N.1, IIC, London, pp185–277

5. M. Laurenzi Tabasso, 2004, *L'impiego dei silicati inorganici nei Monumenti Romani: Molte evidenze, poche conferme*, ARKOS, Anno V, Nuova Serie, N. 8, 47–55

6. G. Alessandrini, R. Bugini, R. Peruzzi, 1988, *I trattamenti superficiali effettuati nel passato*, in AA.VV., *La Certosa di Pavia — Passato e Presente nella facciata della Chiesa*, CNR, Monografie Scientifiche, Serie Ingegneria–Architettura, Roma.

7. A. R. Warnes, 1926 , *Building stones, their properties, decay and preservation*, E. Benn Ltd, London.

8. M. Laurenzi Tabasso, G. Torraca, 1973, *Marmo — Materiali lapidei*, in G. Urbani (a cura di), *Problemi di Conservazione*, Ed. Compositori, Bologna

9. A. Lucas, 1938 – 1931, *Reports of the Directorate*, negli Archivi dell'Israel Antiquities Authority, Jerusalem

10. Getty Conservation Institute, *Newsletter*, 11.1, Spring 1996

11. M. Laurenzi Tabasso, U.Santamaria, 2000, *Rilievi marmorei degli architravi dei portali del Santo Sepolcro: Studiodei materiali costitutivi e del loro stato di conservazione*, Rapporto interno dell'Istituto Centrale del Restauro, Roma

12. AA.VV., 1969, *Sculture all'aperto, Degradazione dei materiali e problemi conservativi*, Mostra Documentaria, Ferrara, Chiostro di S. Romano

13. R. Rossi Manaresi, E. Riccomini (a cura di), 1969, *La conservazione delle sculture all'aperto*, Atti del Convegno Internazionale di Studi, Bologna, Ente Bolognese Manifestazioni Artistiche

14. C. Gnudi, R. Rossi Manaresi, O. Nonfarmale, 1979, *Report on the Conservation of the Façade of San Petronio*, Ministero Beni Culturali e Ambientali, Bologna

15. L. Marchesini, F. Valcanover, 1966, *Su un processo di consolidamento di opere d'arte di marmo fortemente alterato*, Bollettino dell'Istituto Centrale del Restauro, Roma, 121–135

16. R. Wihr, 1976, *Deep–impregnation for effective stone protection*, Atti del Convegno Internazionale "The conservation of stone I, 317–18

17. L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, 1986, *Il restauro della pietra*, Ed. CEDAM, Padova

18. R.A. Munnikendam, 1973, *A new system for the consolidation of fragile stones*, Studies in Conservation, Vol. 18, 95–97

19. R. Wihr, 1979, *The preservation of damaged stones by the so–called "acrylic–total–impregnation–process,* Atti del 3° Congresso Internazionale "Deterioramento e Conservazione della Pietra, Venezia, Fondazione Giorgio Cini, 389–304

20. J.R. Clifton and G. J. C. Frohnsdorf, 1982, *Stone–Consolidating Materials: A Status Report*, Conservation of Historic Stone Building and Monuments, National Academy Press, Washington, D.C., 287–311

21. Doc. NORMAL 20/85, 1986, *Interventi conservativi: progettazione, esecuzione e valutazione preventiva*, CNR–ICR, Roma

22. George Wheeler, 2005, *Alkoxysilanes and the conservation of stone*, Getty Publications, Los Angeles, USA

23. M. Laurenzi Tabasso, 2008, *Testing consolidants. A case study on the selection of consolidants for the plaster of wall paintings*, Proc. of the International Internationa Seminar "Stone consolidation in cultural heritage — research and practice", Lisbon, May 2008, 15–27

24. R. Giorgi, L. Dei, P. Baglioni ,2000, *A new method for consolidating wall paintings, based on dispersions of lime in alcohol* , Studies in Conservation, 45 (2000), 154–161

25. J. Pianski, K. Brümmer, G. Ziegenbalg, 2010, *Nano–particles for stone conservation–state of the art, characteristics and recent developments* , Book of abstracts of the Int. Meeting "Recent progress in the consolidation of calcareous materials — the Stone–core Project", Litomyšl, Czech Republic, www.stonecore–europe.eu

Marisa Laurenzi Tabasso
"Sapienza" Università di Roma
m.tabasso@agora.it