

VOLUME 4

**INTERNAL MATERIALS
GUIDELINES FOR THE RESTORATION**

ANNALS OF SAINT JAMES



2010

Annals of Saint James

The Annals of Saint James

The Annals of Saint James publishes research papers and documents about the Cathedral of Saint James in Jerusalem.

The Annals will publish articles across a multi-disciplinary spectrum in English, Armenian and Italian.

The journal is dedicated to the advancement of knowledge about the site, mostly in a preservation and restoration-oriented perspective, thereby are **clearly intended as a NOT-FOR-SALE edition.**

ANNALS OF SAINT JAMES

published by BAMS® Edizioni; via Cesare Battisti, 60 - 25018 Montichiari (IT)

EDITORS: Arch. Marco Rosini, Basilio Rodella

COORDINATION and PROJECT: Arch. Fabrizio Viola

VOLUME 4: Internal Materials: Guidelines for the Restoration

ISBN - 978-88-902909-6-1



Internal Materials

Guidelines for the Restoration

Stefano Pasolini



Linee guida per il restauro dell'arredo interno della Basilica di San Giacomo in Gerusalemme

Un approccio scientifico ad un intervento di restauro necessita di una adeguata campagna diagnostica preliminare la cui finalità è quella di *caratterizzare la natura dei materiali costitutivi e dei prodotti di alterazione* scaturiti dalle interazioni chimiche degli stessi con agenti esterni, in modo comprendere a quali tipologie di materiali e di tecniche esecutive siamo di fronte ed interpretare e capire le cause del degrado in modo da poter progettare interventi di restauro il più possibile mirati, funzionali, compatibili, non invasivi e reversibili.

L'approccio scientifico consente infatti di riconoscere i materiali, di osservare la loro distribuzione, studiare i fenomeni che avvengono all'interfaccia con l'ambiente per interpretare i cambiamenti subiti. L'identificazione dei materiali ed il successivo confronto con le fonti documentarie e i dati di carattere sperimentale relativi ad indagini scientifiche eseguite su manufatti stilisticamente e tecnologicamente simili può inoltre dare un contributo importante per la corretta collocazione storico artistica del manufatto.

Sulla scorta di questa conoscenza sarà possibile progettare un intervento rispettoso dei materiali costitutivi e delle tecniche esecutive originarie, volto perciò al recupero, alla conservazione ed alla valorizzazione, oltre che dei materiali in se stessi, della storia e del "tempo vita" di un patrimonio culturale che connota ed identifica un luogo, una tradizione, una cultura. In questa direzione volge il progetto dedicato al recupero della cattedrale di San Giacomo Maggiore in Gerusalemme.

Il primo sopralluogo effettuato ha consentito di avere una visione generale del monumento e delle problematiche che ne causano il degrado. L'apparato decorativo interno della cattedrale può essere classificato in due gruppi fondamentali che si distinguono in base alla natura dei materiali costitutivi:

- **organici** (arredi e paramenti lignei);
- **inorganici** (arredi e paramenti lapidei, pavimentazioni, maioliche).

L'osservazione e lo studio dei fenomeni degradativi si è concentrato in questa fase iniziale su quelli più rilevanti ed evidenti che interessano i materiali inorganici ed in particolare il rivestimento maiolicato parietale e la pavimentazione della zona presbiteriale.

Per quel che riguarda gli apparati lignei invece lo stato di conservazione risulta essere buono.

Si riscontra un moderato attacco parassitario, concentrato nelle zone a contatto con il pavimento e quindi più umide. Le superfici dorate e dipinte appaiono intatte e coese e non si notano, ad una osservazione d'insieme, evidenti sollevamenti o cadute. In alcune aree localizzate l'azione antropica (spolveratura) ha portato ad una consunzione ed abrasione delle superfici in corrispondenza delle quali è visibile la preparazione. Apparentemente non ci sono problemi evidenti di carattere strutturale degli altari.

I battenti delle porte delle cappelle minori della parete nord ed il ciborio addossato alla cancellata presbiteriale dell'altare maggiore presentano una



decorazione ad intarsi di osso, tartaruga e madreperla con alcuni distacchi e cadute dei materiali. Una valutazione più accurata e puntuale dello stato di conservazione dal punto di vista strutturale degli altari sarà possibile in una fase successiva avvalendosi di adeguati ponteggi.

Tornando alle problematiche più evidenti, le principali cause di degrado dei manufatti di natura inorganica sono amputabili a fattori di natura fisica e chimica che andremo di seguito ad approfondire. In particolare la presenza di acqua in forma di umidità, condensa ed infiltrazioni e le variazioni termoigrometriche sono in questo caso determinanti.

Altra fonte di degrado concomitante sono gli inquinanti atmosferici: l'acidità delle acque meteoriche amplifica e compartecipa al degrado complessivo aumentando il potere solvente nei confronti dei sali.

Di grandissima rilevanza è la massiccia presenza di sali portati in soluzione all'interno delle muratura attraverso la porosità dei materiali a causa di infiltrazioni di acque meteoriche (che sono soluzioni acide e quindi più attive nella solubilizzazione di sostanze saline in particolare di natura carbonatica).

Questo fenomeno prende il nome di **efflorescenza** (definizione Normal



1/88 II° edizione) e si manifesta con la formazione di sostanze, in genere di colore biancastro e di aspetto cristallino, polverulento o filamentoso, sulla superficie del manufatto. La cristallizzazione può avvenire anche all'interno del materiale provocando, spesso, il distacco delle parti più superficiali: il fenomeno, in questi casi, prende il nome di **cripto efflorescenza** o di **sub-efflorescenza**.

Morfologia

Diversi composti salini si possono trovare presenti, sotto forma di soluzioni acquose all'interno delle murature. La loro deposizione sulle superfici dipende sia dal grado di solubilità propria di ogni composto, che dalla maggiore o minore quantità d'acqua necessaria per solubilizzarli. Inoltre, le variazioni della temperatura, l'evaporazione del solvente e l'abbassamento dell'umidità relativa nell'atmosfera circostante, sono fattori che possono produrre l'aumento della concentrazione della soluzione e la conseguente cristallizzazione delle specie saline. Se qualitativamente il fenomeno è analogo per ogni sostanza salina, diversi sono invece i valori di temperatura, di umidità relativa e di concentrazione che deter-



minano la solubilità propria di ogni sostanza. Il meccanismo di degrado è conseguente alla pressione di cristallizzazione dei sali; alcuni hanno la caratteristica di aumentare notevolmente il loro volume nel corso del passaggio alla fase solida in seguito all'evaporazione del solvente; le pressioni provocate all'interno dei pori sono tali da superare la capacità di resistenza del materiale. Il risultato è la continua erosione degli strati superficiali.

Cause

I sali possono provenire:

- dal terreno (soprattutto i Nitrati ed i Cloruri)
- dalla deposizione degli aerosol presenti nell'atmosfera (Cloruri e Solfati)
- dallo stesso materiale utilizzato per la costruzione (i solfati di metalli alcalini possono essere presenti nei mattoni; i solfati di Calcio e Magnesio possono essere presenti nei calcari, ecc.);
- dai materiali impiegati per il restauro (gesso, ettringite e thaumasite, che si originano per reazione del cemento Portland, con i composti dello zolfo).

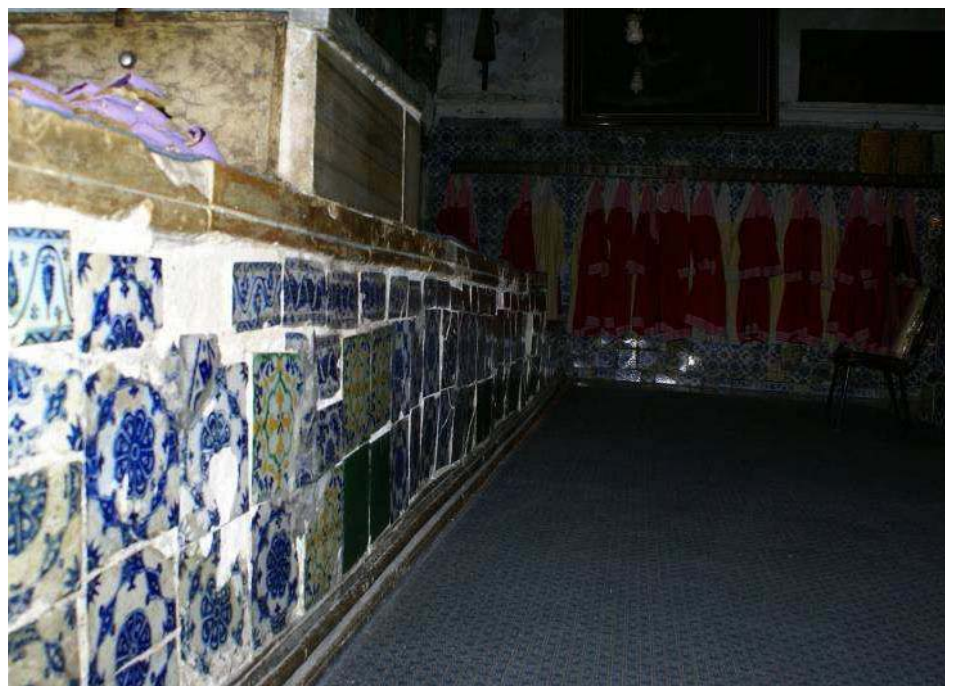
Fino a che i sali rimangono in soluzione non creano perciò problemi. Il degrado si manifesta nel momento in cui i sali, in prossimità della superficie, si disidratano e si ricristallizzano.

Cristallizzando i sali assumono il loro caratteristico *habitus cristallino* con conseguente accrescimento di volume che dà luogo ad elevate forze di compressione esercitate sulle pareti interne dei pori che producono fenomeni di frantumazione dei materiali.

A causa di questo fenomeno il **rivestimento in maiolica** si presenta in uno stato di conservazione pessimo. Sono molto ampie le cadute di materiale dovute alla disgregazione e polverizzazione della malta di allettamento di natura gessosa. Pressoché ovunque si assiste a sollevamenti delle piastrelle, molte delle quali sono fratturate o presentano cadute dell'invetriatura e della policromia.

Tutto ciò è dovuto alla fortissima umidità presente nella muratura, dovuta a fenomeni di percolazione e risalita capillare, che trasporta una grande quantità di sali solubili quali nitrati, fosfati, solfati ecc., attratti e veicolati dalla malta gessosa di allettamento delle maioliche che si comporta come una spugna. Tale umidità







è, come detto in precedenza, anche portatrice di componenti acide in soluzione che operano un degrado di tipo chimico dei materiali provocando l'indebolimento fino alla disgregazione dell'allettamento con conseguente caduta degli elementi decorativi. A ciò si associa l'azione meccanica dovuta alla ricristallizzazione, con conseguente aumento di volume, dei sali solubili sotto la superficie delle piastrelle che, essendo invetriate e non traspiranti, non consentono la fuoriuscita dei sali e tendono a frantumarsi e distaccarsi.

Il distacco parziale o totale della piastrelle interessa buona parte della superficie rivestita ed in particolare la quasi totalità della superficie della parete divisoria tra aula principale ed aula minore e il rivestimento della zona della sagrestia.

Il materiale di allettamento risulta, sempre a causa della presenza dei sali ricristallizzati che ne hanno provocato il disfacimento con conseguenza perdita delle proprietà meccaniche ed adesive, ormai totalmente inadeguato alla sua funzione.

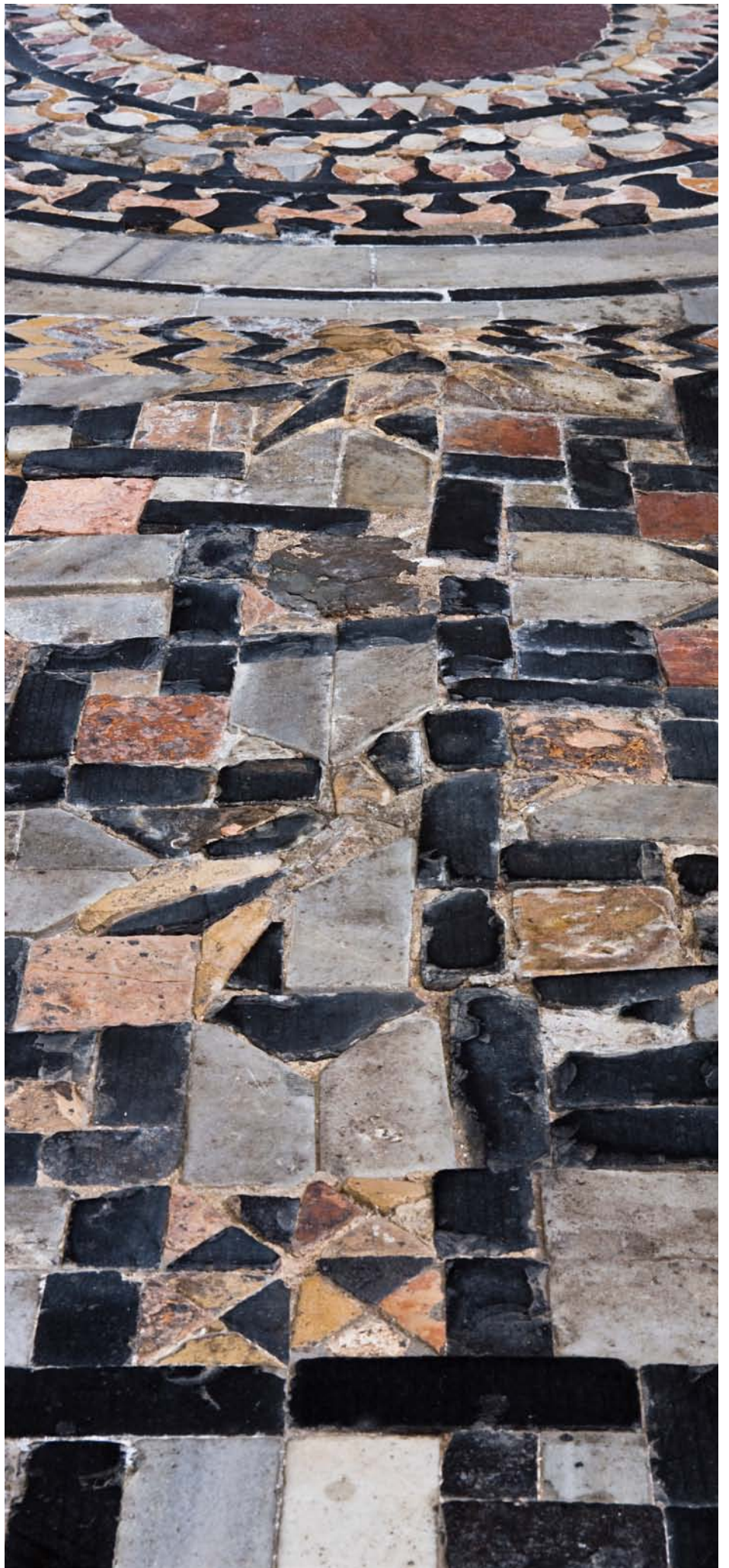
Lo stesso fenomeno della ricristallizzazione dei sali solubili ha provocato, in concomitanza con processi di natura chimica di dissoluzione dei materiali a matrice carbonatica dovuti all'acidità delle acque meteoriche, il degrado delle malte di allettamento delle tarsie marmoree del pavimento della zona presbiteriale con conseguente distacco degli elementi lapidei costituenti la tarsia stessa.

La **pavimentazione** presenta inoltre un diffuso dissesto del piano di calpestio con avvallamenti e sollevamenti. Il materiale marmoreo è caratterizzato da scagliatura e consunzione dovute al calpestio (molto evidenti nei materiali più teneri e naturalmente più soggetti a questa tipologia di degrado). Il dissesto è più accentuato in corrispondenza dell'innesto delle scalinate di accesso agli absidi minori laterali e della tarsia cosmatesca della zona presbiteriale dove la malta di allettamento si presenta in uno stato di degrado molto avanzato e non garantisce più la tenuta degli elementi decorativi stessi che si distaccano con estrema facilità.

Vi è inoltre un accentuato fenomeno di sollevamento di alcune zone che attraversano, con un andamento a fasce rettilinee, la pavimentazione del presbiterio.

Numerose e diffuse lacune sono comunque riscontrabili anche nel resto della pavimentazione ed in particolare sul piano rialzato dell'altare maggiore in corrispondenza degli altri medaglioni ascrivibili allo stile cosmatesco.

Tutta la superficie è caratterizzata da una considerevole presenza di sali so-





lubili ricristallizzati dovuti a fenomeni di risalita capillare, che provocano la disgregazione delle malte di allettamento per processi di natura chimico-fisica ed il conseguente distacco delle tarsie stesse. L'umidità di risalita, portatrice oltre che di sali anche di componenti acide in soluzione, permane più a lungo all'interno dei materiali, aumentandone il degrado, a causa della copertura di stuoie e tappeti che non consentono una adeguata traspirazione.

È stato possibile raccogliere campioni dei materiali costitutivi, dei materiali di neoformazione derivati dalle interazioni degli stessi con l'ambiente e di quelli scaturiti da eventi che hanno interessato il monumento.

Il campionamento si è indirizzato alla caratterizzazione dei materiali costitutivi interessati da un degrado più accentuato e quindi si è concentrato sui sali solubili cristallizzati, sulle pietre e le malte di allettamento delle tarsie marmoree, sulle maioliche ed il loro materiale di allettamento.

Si sono inoltre campionate la doratura e parte della policromia che rivestono i pannelli marmorei a rivestimento dell'alzata del gradino dell'altare maggiore. In questo caso la finalità dell'indagine sarà quella di caratterizzare i materiali e comprendere la tecnica di una decorazione di rilevante pregio estetico e storicoartistico.

La loro caratterizzazione attraverso le più adeguate tecniche analitiche consentirà di comprenderne la natura intima per poter poi determinare le cause dei fenomeni degradativi e di conseguenza le operazioni più consone al recupero conservativo.





Le cause di degrado

Le principali cause di degrado riscontrabili nella situazione conservativa dell'apparato decorativo sono dovute a fattori fisici e chimici.

DEGRADO FISICO

Il degrado dei manufatti in pietra, escludendo eventi catastrofici (terremoti, incendi, alluvioni, atti di terrorismo ecc.), si può attribuire a fattori ambientali. La resistenza al degrado naturale dei materiali lapidei dipende, in particolare, dalla loro struttura fisica e chimica, dalla loro porosità e capacità di essere penetrati dall'acqua.

Il degrado di tipo fisico può essere causato, oltre che da fattori intrinseci del materiale costitutivo, da numerosi fattori esterni quali: processi di lavorazione¹, ossidazione di elementi metallici², cristallizzazione di sali solubili, dilatazione termica dei materiali (in particolare di quelli metallici), eventi traumatici, ecc.

Fattori fisici

L'alterazione fisica include tutti i processi d'alterazione che agiscono attraverso meccanismi fisici (meccanici) e che portano alla rottura (frammentazione, frantumazione, riduzione dimensionale) dei materiali, senza però trasformarne la composizione chimica o mineralogica originaria. I processi di disaggregazione sono vari e la loro efficacia dipende:

- dalle caratteristiche intrinseche del materiale soggetto ai processi d'alterazione;
- dalle condizioni climatiche e ambientali al contorno.

I principali processi di disaggregazione attivi nelle regioni temperate e a clima mediterraneo sono:

NOTE

¹ Per quanto riguarda i materiali lapidei e litoidi, a partire dall'estrazione in cava fino alla realizzazione dei manufatti stessi, il materiale è sottoposto a sollecitazioni meccaniche che possono innescare ed accelerare il processo di degrado.

² La formazione di ossidi produce un accrescimento del volume degli elementi metallici che esercitano pressioni sul materiale lapideo.



Variazioni termiche

Il processo di termoclastismo è legato ai cicli di contrazione e dilatazione che tutti i materiali, naturali e artificiali, subiscono in seguito alle variazioni di temperatura giornaliere o stagionali, senza però che vi sia un intervento diretto da parte dell'acqua. L'alternanza dei cicli di riduzione e espansione volumetrica determinati dalle fluttuazioni della temperatura possono infatti portare alla decoesione, frattura e quindi frammentazione di minerali e rocce. Questo fenomeno è particolarmente rilevante nel caso della calcite a causa della caratteristica anisotropicità delle sue strutture cristalline.

Acqua e Gelo

L'acqua ha la capacità di penetrare nei pori, negli interstizi e tra le fessure delle pietre. Quando la temperatura scende al di sotto di 0°C l'acqua, che ha riempito completamente i vuoti disponibili all'interno delle pietre, solidificandosi aumenta di volume del 9.2 % esercitando sulle pareti una pressione la quale, generando delle tensioni interne, può provocare processi di disgregazione.

L'efficacia dell'azione del gelo discontinuo è direttamente proporzionale al numero di cicli di gelo-disgelo, cioè al numero di volte in cui la temperatura di 0 °C viene attraversata (in un senso o nell'altro) durante il ciclo annuale

Il comportamento delle pietre nei confronti dei cicli "gelo-disgelo" dipende, oltre che dalla loro natura, dal grado di porosità e dalla distribuzione delle dimensioni dei pori. La presenza di acqua all'interno e/o alla superficie di manufatti lapidei facilita il fenomeno di dissoluzione dei sali e di trasporto di ioni e molecole di varia natura modificando l'equilibrio chimico e fisico che si è venuto a realizzare tra le sostanze componenti il manufatto.

Anche il processo di evaporazione superficiale dell'acqua comporta tensioni con conseguenti fenomeni di degradazione.

Cristallizzazione di sali solubili

La crescita di cristalli di sali inorganici (nitrati, solfati, cloruro di sodio ecc.) all'interno dei pori di una pietra provoca la frammentazione ed in casi estremi la polverizzazione. Tale fenomeno detto aloclastismo è dovuto alla sollecitazione meccanica provocata dalla crescita di cristalli all'interno di un materiale; si tratta quindi di un processo di alterazione meccanica innescato da meccanismi di tipo chimico. Il deterioramento causato da sali è riconducibile a due distinti meccanismi:

- cristallizzazione da soluzione;
- idratazione.

La resistenza delle pietre, nei confronti dei danni provocati da sali, dipende dalla distribuzione delle dimensioni dei pori; essa, a parità di ogni altra condizione, diminuisce con l'aumentare della concentrazione di pori aventi piccole dimensioni.

Vento

Il vento aumenta la velocità di evaporazione e quindi la diffusione dell'acqua dall'interno verso l'esterno. Inoltre esso è causa di fenomeni di erosione ed abrasione favorendo ed accentuando l'impatto meccanico di particelle solide e dell'acqua piovana sulla superficie dei manufatti.

DEGRADO CHIMICO

Fattori chimici

L'alterazione chimica (o decomposizione) raggruppa tutti i processi di alterazione di minerali e rocce che portano alla trasformazione dei componenti esistenti e alla genesi di nuovi componenti minerali (neoformazione) per effetto di processi chimici.

L'alterazione chimica dipende, in prima istanza, dalle caratteristiche dei minerali sottoposti all'alterazione, in particolare dall'energia di legame della struttura cristallina, dalla quale dipende la resistenza all'alterazione dei differenti minerali; la resistenza all'alterazione delle rocce dipende quindi dalla loro composizione mineralogica.

Oltre al degrado di tipo chimico riconducibile a biodeteriogeni, i fattori che determinano in maniera sostanziale un degrado di tipo chimico sono gli agenti inquinanti presenti nell'ambiente. Gli agenti inquinanti si depositano sulla superficie dei monumenti allo stato di soluzione acquosa (*wet deposition*), oppure allo stato gassoso, passando successivamente in soluzione per effetto delle piogge o dell'accumulo di umidità sotto forma di condensa (*dry deposition*).

I più comuni agenti inquinanti presenti nell'aria sono gli ossidi di zolfo, di azoto e l'anidride carbonica.

Queste sostanze sciogliendosi nell'acqua danno luogo alla formazione di soluzioni acide capaci di reagire in particolare con i materiali di origine calcarea (calcarei, marmi, malta di calce ecc.).

Nel caso di pietre costituite da silicati il degrado ambientale è da attribuire principalmente all'azione di agenti chimici di natura acida che provoca il collasso del reticolo cristallino della matrice a seguito della sostituzione di ioni potassio e sodio con ioni idrogeno.

Gli inquinanti atmosferici

L'aria consiste di una miscela di gas e particelle sospese e la composizione di questa miscela è stata perturbata dalle attività umane. I principali gas che costituiscono l'aria atmosferica sono nell'ordine:

- l'azoto, la cui concentrazione media è pari al 78.084 % in volume
- l'ossigeno pari al 20.984 vol. %
- l'argon pari allo 0.934 vol. %

Questi tre gas principali costituiscono da soli oltre il 99.9 % del volume totale. Essi, assieme ai gas nobili He, Ne e Kr, che sono chimicamente inerti, sono presenti in rapporti costanti in tutta l'atmosfera, alla scala dei tempi umani, a causa dei loro lunghi tempi di residenza.

Ciò non è vero invece per gli altri costituenti gassosi a causa delle variazioni dei flussi in ingresso per processi sia naturali che antropici.

Le attività dell'uomo hanno determinato importanti perturbazioni, sia localmente che globalmente. L'esempio principale è rappresentato dall'anidride carbonica, la cui concentrazione nell'aria ha subito un aumento a scala globale, nel corso degli ultimi 100 anni circa, principalmente a causa dell'utilizzo dei combustibili fossili.



Oltre alla CO_2 , altri gas meno abbondanti, ma che risentono delle attività umane, sono il metano (CH_4), l'anidride solforosa (SO_2), il monossido di carbonio (CO), l'ammoniaca (NH_3), l'ossido nitroso o protossido d'azoto (N_2O) ed altri ossidi di azoto, quali l' NO_2 (diossido d'azoto o anidride nitroso-nitrica) e l'NO (ossido d'azoto o ossido nitrico), generalmente rappresentati come NO_x . La CO_2 , il CH_4 e l' N_2O hanno tempi di residenza dell'ordine di diversi anni e hanno pertanto concentrazioni relativamente omogenee in atmosfera. Oltre ai costituenti gassosi, l'atmosfera contiene gli aerosol, piccole particelle solide o liquide le cui dimensioni variano da gruppi di alcune molecole ad un massimo di circa $20\text{ }\mu\text{m}$ di raggio.

Le particelle più grosse non rimangono sospese molto a lungo a causa del loro peso. La composizione chimica dell'acqua di pioggia dipende notevolmente dalla presenza e composizione degli aerosol, perciò è bene fare una breve digressione al riguardo.

Nell'atmosfera sono presenti due tipi principali di aerosol:

- le particelle principali emesse direttamente nell'atmosfera (sale marino, polvere eolica, frammenti di piante);
- le particelle secondarie, formate da condensazione delle emissioni gassose.

Il sale marino contribuisce in maniera fondamentale al particolato atmosferico. Le particelle di sale marino si formano principalmente per "scoppio" di piccole bolle d'aria all'interfaccia atmosfera-acqua di mare. Le minute gocce di acqua marina immerse nell'aria vengono poi portate verso l'alto dalle correnti atmosferiche. Successivamente esse evaporano formando delle particelle di sale marino del raggio di $0.1\text{--}20\text{ }\mu\text{m}$. Poiché il tempo medio di residenza in atmosfera di queste particelle è di 3 giorni, esse possono essere trasportate per considerevoli distanze verso i continenti ed al loro interno.

Oltre alle particelle di sale marino, gli aerosol sono costituiti anche da polveri eoliche (provenienti soprattutto dai suoli e rappresentate da quarzo, silicati, carbonati, ossidi di ferro, ecc.) e da particelle secondarie che si formano per condensazione di sostanze gassose.

L'acqua di pioggia dunque non è affatto acqua pura e la sua composizione riflette quella delle particelle solide e dei gas che reagiscono con l'acqua sia durante la condensazione (processo noto come *rainout*) sia durante la caduta delle gocce di pioggia al suolo (processo chiamato *washout*).

Le acque di pioggia sono dunque soluzioni acquose diluite e debolmente acide.

Questi processi determinano ampie variazioni sia di composizione chimica che di pH nelle piogge. Questi parametri variano spostandosi dagli oceani (dove le piogge hanno composizione tipicamente Cl-Na) verso l'interno delle aree continentali (dove le piogge acquisiscono in genere composizione $\text{SO}_4\text{-Ca}$), e sono condizionate anche da fenomeni localizzati quali emissioni antropiche in atmosfera, presenza di vulcani attivi, ecc.

Anche i gas atmosferici si sciolgono nelle gocce di pioggia sia durante il processo di condensazione (*rainout*) sia durante la caduta delle gocce verso il suolo (*washout*). Il *washout* avviene se la concentrazione del gas nello strato d'aria al di sotto delle nubi è maggiore che nelle nubi stesse o se la dissoluzione nelle nubi è incompleta. La quantità di gas che si scioglie dipende dalla sua pressione parziale (ossia dalla concentrazione in atmosfera) e dalla sua solubilità in acqua. Fra i gas atmosferici che si sciolgono nelle piogge, l' SO_2 e gli NO_x sono di particolare rilevanza ambientale perché generano, per ossidazione ed idratazione, acido sol-

forico (H_2SO_4) e acido nitrico (HNO_3).

L'acido solforico si forma anche per ossidazione di composti gassosi dello zolfo, sia contenuti nei gas vulcanici (ricchi sia di SO_2 che di H_2S), sia di origine biogenica (H_2S , $(\text{CH}_3)_2\text{S}$, COS , CS_2), ma la fonte principale è la SO_2 prodotta ed immessa in atmosfera durante la combustione dei combustibili fossili, per ossidazione dei solfuri metallici (principalmente pirite), presenti nel carbone, e dei composti organici dello zolfo contenuti sia nel carbone che nel petrolio e derivati.

L'emissione globale di SO_2 derivata dai combustibili fossili è in crescita continua dal secondo dopo guerra ad oggi.

L'anidride solforosa ha un tempo medio di residenza in atmosfera di 2-7 giorni, prima che sia rimossa come dry fallout o convertita ad acido solforico.

Inoltre quest'ultimo può permanere in atmosfera, in forma di particolato, per altri 512 giorni. In questo periodo di tempo, lo zolfo atmosferico può essere trasportato per distanze considerevoli, prima di entrare nelle precipitazioni. Conseguentemente gli effetti della produzione di SO_2 antropica si possono risentire su vaste aree spesso a distanze di diverse centinaia di chilometri dalla fonte di inquinamento.

Il nitrato è un'altra importante componente delle piogge ed ha origine per lo più per ossidazione di NO_x . Le sorgenti di questi composti gassosi includono i seguenti processi, principalmente naturali:

- le scariche elettriche in atmosfera;
- l'ossidazione fotochimica nella stratosfera dello N_2O a NO e NO_2 ;
- l'ossidazione chimica nell'atmosfera della ammoniaca;
- la produzione di NO nei suoli attraverso processi microbici.

Le sorgenti naturali spiegano, nel loro insieme, solamente il 35 % dell'ingresso di NO_x in atmosfera, e conseguentemente dello NO_3^- nella pioggia, mentre il restante 65 % proviene da due fonti principalmente di natura antropica, ossia l'uso dei combustibili fossili e la combustione della biomassa. Analogamente a quanto visto per l' SO_2 derivata dai combustibili fossili, anche la produzione di NO_x legata a questo processo è in crescita pressoché continua dal secondo dopo guerra ad oggi. L'utilizzo dei combustibili fossili avviene principalmente nelle aree urbane, e conseguentemente vi è una maggiore concentrazione di NO_x nelle aree urbane rispetto a quelle rurali. Questo fatto si riflette in maggiori contenuti di NO_3^- nelle piogge che cadono nelle aree intensamente urbanizzate. Oltre all'ione NO_3^- , l'altra specie dell'azoto presente nelle acque di pioggia è l'ammonio. L'ammoniaca gassosa immessa in atmosfera tenderà a sciogliersi nelle piogge e, una volta entrata nella soluzione acquosa tenderà a consumare ioni H^+ per trasformarsi in ione ammonio.

L'ammoniaca è l'unico gas atmosferico che tende ad innalzare il pH della soluzione acquosa in cui si scioglie, bilanciando in parte gli effetti dei gas acidi SO_2 , NO_x e CO_2 . Sono note cinque sorgenti principali di ammoniaca atmosferica:

- la decomposizione batterica degli escrementi animali ed umani;
- la decomposizione batterica delle sostanze organiche naturali contenenti azoto, presenti nei suoli;
- il rilascio dai fertilizzanti;
- la combustione del carbone, che contiene composti organici dell'azoto;
- la combustione della biomassa.

L'ammoniaca presente in atmosfera reagisce con l'acido solforico presente come aerosol liquido, producendo un aerosol liquido/solido di solfato e bisolfato



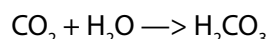
di ammonio. Questo può essere rimosso dalle piogge o come dry fallout.

Dissoluzione di carbonati

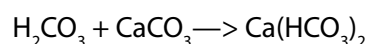
Le reazioni di dissoluzione dei carbonati, la cui solubilità aumenta al diminuire della temperatura, sono generalmente controllate dall'acido carbonico o dagli acidi organici.

Il primo composto causa di degrado è dunque il biossido di carbonio o anidride carbonica (CO_2) che è prodotta soprattutto dalle combustioni di materiali organici e per quantità in particolare da quella degli idrocarburi (es. $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$).

Questo gas è solubile in acqua secondo lo schema:



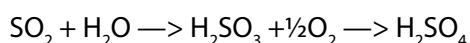
Si forma acido carbonico che, pur essendo un acido debole riesce ad attaccare tutti i litotipi di natura e a matrice carbonatica secondo lo schema:



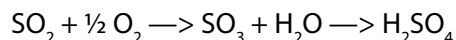
Il bicarbonato di calcio ha una solubilità molto superiore rispetto al carbonato di calcio (solubilità 166 g/l contro 0,014 g/l), pertanto, sulle superfici interessate dal dilavamento, specialmente se l'acqua scorre in condizione turbolenta, sarà solubilizzato ed asportato dall'acqua piovana favorendo il fenomeno della dissoluzione, mentre nelle parti non dilavate rimane in situ e contribuisce, almeno nelle prime fasi, alla formazione delle croste nere.

L'evaporazione del velo di acqua che porta in soluzione carbonato e bicarbonato di calcio e permane in superficie porta alla precipitazione di calcite secondaria e alla formazione delle "croste bianche".

Altra causa determinante di questo tipo di degrado sono i composti dello zolfo: in particolare il biossido di zolfo o anidride solforosa (SO_2) ed anche il triossido di zolfo o anidride solforica (SO_3) e l'acido solfidrico (H_2S). L'anidride solforosa si combina nell'atmosfera con l'acqua e ossigeno per formare acido solforico. Le reazioni si possono schematizzare come segue:

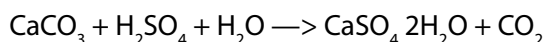


oppure



Il carbonato di calcio è attaccato dall'acido solforico con formazione di solfato di calcio biidrato o più comunemente gesso che ha una solubilità di 2 g/l a 20°C e viene solubilizzato e trasportato nella porosità. Il gesso che si forma per solfatazione è anche componente, insieme a particelle carboniose, delle croste nere.

La reazione avviene secondo lo schema:

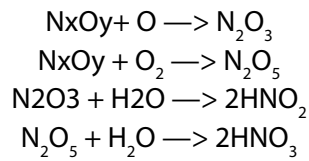


Oltre al gesso, l'acido solforico può dare luogo ad altri sali solubili quali il solfato di sodio, di potassio, di ammonio, ecc.

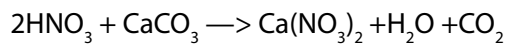
Tali sali, cristallizzando all'interno dei pori di un materiale poroso, svolgono un'azione molto dannosa di natura fisica nei confronti di materiali porosi: basti pensare che il solfato di sodio, cristallizzando in forma decaidrata (Na_2SO_4

•10 H₂O) aumenta il proprio volume del 300%.

I composti dell'azoto o nitrati sono tra i sali più solubili e derivano dalle reazioni dei numerosi ossidi di azoto in seguito a processi di ossidazione e successiva reazione con l'acqua (N₂O, NO, N₂O₃, NO₂, N₂O₅):

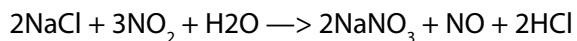


L'acido nitrico attacca il carbonato di calcio con formazione di nitrato di calcio secondo la reazione:

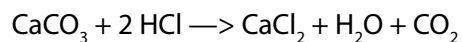


il nitrato di calcio tetraidrato ha una solubilità elevatissima : 1470 g/l ad una temperatura di 0°C.

I cloruri sono sali che derivano dalla reazione dell'acido cloridrico, acido molto reattivo e corrosivo. È naturalmente presente nella atmosfera per via dell'aerosol marino, oltre che per causa dell'inquinamento. Le microgocce di acqua salata reagiscono nell'atmosfera con il biossido di azoto dando origine all'acido cloridrico secondo la seguente reazione:



Reagisce con il carbonato di calcio con formazione di cloruro di calcio, sale molto igroscopico e con una solubilità di 750 g/l a 25°C, secondo la reazione:



Linee guida metodologiche per il progetto di restauro degli arredi interni

Le linee guida che si intendono perseguire nella progettazione e realizzazione dell'intervento di restauro sono quelle di un approccio conservativo e differenziato, che tenga conto delle caratteristiche materiche, tecniche e tecnologiche originarie dei manufatti.

Il fattore di degrado fondamentale è costituito dalla considerevole presenza di umidità e di relative efflorescenze saline che riguardano il rivestimento di maioliche dipinte e la pavimentazione, altresì interessata da problemi dovuti a cedimenti e disconnessioni del substrato.

L'intervento renderà necessaria una diffusa rimozione delle maioliche e delle tarsie marmoree, seguita da trattamenti deumidificanti e desalinizzanti (ove necessario desolfatanti) delle murature, degli elementi staccati e dei substrati di allettamento, oltre che da un ripristino della planarità delle superfici.

Le integrazioni e le ricostruzioni saranno indirizzate da uno studio approfondito dei materiali, delle tecniche e delle tecnologie originarie e messe in opera nel rispetto dei precetti di riconoscibilità e reversibilità dell'intervento.

Le operazioni di pulitura saranno precedute da analisi mirate al riconoscimento della specie chimica dei materiali di apposizione e test di solubilità per stabilire le metodologie più appropriate.

Sarà interessante e utile anche uno studio ed un monitoraggio delle condizioni microclimatiche ambientali per approntare accorgimenti non invasivi che garantiscano una stabilità dei valori di temperatura ed umidità relativa, fondamentali ai fini conservativi.

Internal Materials Guidelines for the Restoration Stefano Pasolini

STEFANO PASOLINI

restauratore e conservatore di Beni Culturali

via G.Pavoni, 12 Orzinuovi (Bs)

mobile: +39329-9263674

mail: stefano.pasolini@libero.it



Annals of Saint James
Published by BAMS Edizioni
Montichiari (BS) - Italy