MATERIALI LAPIDEI – IL DEGRADO

INDICE:

1 Introduzione

2 Degrado: cause

2.1 Cause fisiche
2.1.1 Crescita dei cristalli
2.1.2 Espansioni termiche
2.1.3 Abrasione eolica
2.1.4 Esposizione alle radiazioni luminose
2.1.5 Tensionamento meccanico

2.2 Cause chimiche

2.2.1 Idratazione
2.2.2 Idrolisi
2.2.3 Dissoluzione
2.2.4 Carbonatazione
2.2.5 Ossidazione

2.3 Cause biologiche

3 Degrado: manifestazioni

4 Le pietre

4.1 Minerali
4.2 Rocce

5 Diagnosi del degrado

1) INTRODUZIONE

Il termine materiale lapideo naturale indica marmi, pietre, graniti, nonché qualsiasi altra "roccia" impiegata in architettura. Per definire i singoli materiali lapidei naturali esistono due tipi di classificazione:

1- una classificazione tecnologica codificata da UNI (Norma UNI 8458)
2- una classificazione petrografica, basata su criteri rigorosamente scientifici, notevolmente in contrasto fra loro.

In generale si intendono come materiali lapidei le pietre naturali e i materiali artificiali utilizzati in edilizia e in architettura, quali stucchi, malte, prodotti ceramici (laterizi, terrecotte, vetri) ottenuti, attraverso processi particolari di lavorazione, da materiali naturali.

I materiali lapidei naturali o artificiali, sono soggetti ad alterazione ed a degrado:

A- alterazione: modifica del materiale che non comporta necessariamente un peggioramento delle caratteristiche sotto il profilo conservativo;
B- degrado: modifica del materiale che comporta necessariamente un peggioramento delle caratteristiche sotto il profilo conservativo. Spesso l'alterazione, che potrebbe influire negativamente sull'aspetto estetico del materiale, rappresenta l'inizio della degradazione.

2) DEGRADO: CAUSE

Da un paio di secoli a questa parte nell'atmosfera ci sono sostanze inquinanti. L'inquinamento influisce anche gravemente sul paesaggio attraverso le piogge acide (piogge ricche di anidridi).
L'acido carbonico attivandosi sulle rocce (generalmente costituite da silicati di potassio e alluminio) le trasforma in argille, cioè terre che vengono poi dilavate dall'acqua; esso agisce anche sul calcare e sul carbonato di calcio.
La stessa cosa succede con l'acido cloridrico che trasforma il carbonato di calcio in cloruro di calcio + acido carbonico che continua l'opera di "guastamento". Anche il cloruro di calcio viene dilavato.
L'anidride solforosa + l'acqua dà l'acido solforico che trasforma il carbonato di calcio (il marmo) in gesso; con l'umidità questo gonfia e viene dilavato dalla pioggia.

Le cause di degrado possono essere di tipo fisico, chimico o biologico.

2.1) CAUSE FISICHE

Sono dovute a fenomeni fisici che esercitano un'azione meccanica di disgregazione e frammentazione della pietra o del manufatto.

2.1.1) Crescita dei cristalli

- **Cristalli di ghiaccio**: la formazione di ghiaccio per congelamento dell'acqua (temperatura inferiore a 0°C) è accompagnata da un aumento di volume del 9,2%. L'acqua presente nelle fratture dei lapidei compatti o nei pori e nei vacuoli dei lapidei porosi comincia a gelare dalla superficie esterna esercitando forti pressioni dapprima sull'acqua più interna e successivamente sulle pareti della frattura o dei pori superando valori massimi di 150 kg/cm².
  Questa azione è indicata col nome di gelivazione, gelifrazione, azione gelo-disgelo o processo crioclastico (=frammentazione per il freddo). Più che la durata della gelata in questo fenomeno ha grande importanza il ripetersi frequente dei cicli di gelo e disgelo.

- **Cristalli di sali**: crescita di cristalli per precipitazione di sali disciolti nelle acque presenti nelle fratture o nei pori; la cristallizzazione dei sali di neoformazione esercita nella massa lapidea forti pressioni di tipo meccanico dovute all'aumento di volume. Questa azione è indicata col nome di effetto salsedine (per i sali di provenienza marina) o disgregazione salina o processo aloclastico (=frammentazione per mezzo di

- sale). I sali in soluzioni possono provenire dal materiale stesso (carbonati, solfati, nitrati), da zone circostanti (malte di allettamento, restauri), dal terreno limitrofo o dall'atmosfera (solfati, fluoruri e cloruri da spruzzi di acque marine, trasportati dai venti anche a grandi distanze).

2.1.2) Espansioni termiche

Le elevate escursioni termiche inducono nei componenti dei materiali variazioni volumetriche, espansioni e contrazioni differenziali; ogni singolo minerale cioè è caratterizzato da un proprio coefficiente di dilatazione termica e risponde singolarmente ad un aumento di temperatura. Al variare della temperatura, quindi, nel materiale composto da cristalli di natura differente si instaurano sollecitazioni meccaniche differenziate che ne causano la disgregazione. Questa azione viene indicata col nome di processo termoclastico (frammentazione per calore).
Un elemento lapideo sottoposto a sbalzi termici di una cinquantina di gradi (cosa non infrequente nei paesi dell'area del Mediterraneo) potrà subire variazioni dimensionali dell'ordine di qualche decimo di millimetro per metro di lunghezza.

2.1.3) Abrasione eolica

Fenomeno di abrasione ad opera delle particelle trasportate in sospensione dal vento che per impatto vanno a scalzare piccoli frammenti di materiale.

2.1.4) Esposizione alle radiazioni luminose

Raggi Infrarossi: comporta degli incrementi localizzati di temperatura che possono determinare delle dilatazioni termiche (seppur localizzate) differenziate (processo termoclastico);
Raggi Ultravioletti: possono innescare processi chimici connessi, soprattutto, con le sostanze organiche superficiali.

2.1.5) Tensionamento meccanico

Fenomeno dovuto a forze di compressione o di trazione agenti sul materiale che può reagire, a seconda della sua natura, con deformazioni plastiche o fratturazione (a piccola o grande scala).

2.2) CAUSE CHIMICHE

Sono dovute a meccanismi di tipo prettamente chimico e sono vincolate all'interazione tra acqua/lapideo. L'alterazione chimica porta ad una profonda modificazione del materiale iniziale, che viene trasformato in minerali argillosi , soluzioni saline, e minerali insolubili (mentre il deterioramento fisico porta a un residuo di materiale roccioso o lateritico per lo più chimicamente inalterato).

2.2.1) Idratazione

E' l'incorporazione di acqua nelle strutture molecolari dei minerali che genera un aumento di volume del cristallo (es. passaggio da anidrite a gesso, per idratazione, ossia inglobamento di 2 molecole d'acqua nella struttura cristallina, con aumento di volume ed effetto macroscopico di sfarinamento della pietra). Più di frequente interessa i materiali ceramici, rimasti a lungo in contatto con l'acqua, soprattutto se, durante la cottura, non sono state raggiunte le temperature idonee, a trasformare i minerali delle argille dell'impasto. I minerali delle argille non trasformati possono così essere in grado di recuperare l'acqua di costituzione (molecole d'acqua che entrano a far parte della struttura cristallina e che vengono perse in modo irreversibile durante la cottura a temperature idonee). Il minerale che recupera nel suo reticolo cristallino l'acqua di costituzione, aumenta di volume, generando forti pressioni nella struttura circostante. Questo processo nei minerali delle argille prende il nome di riargillificazione.

2.2.2) Idrolisi

Letteralmente significa rottura per mezzo di acqua ed indica la rottura di legami (e di conseguenza la formazione di nuovi); è attiva sui silicati e un esempio significativo ne è l'attacco del K-feldspato (minerale diffusissimo nelle rocce magmatiche e in quelle metamorfiche che ne derivano).

L'acqua meteorica resa acida dalla dissoluzione dell'anidride carbonica (CO_2)attacca i silicati ed in particolare i feldspati che risultano i più facilmente alterabili. Il contatto prolungato con l'acqua resa aggressiva porta i silicati a catturare gli ioni H^+ con conseguente formazione di idrossidi di Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+. Il processo di idrolisi è molto lento e porta ad un arricchimento in allumina e ferro e quindi alla formazione di minerali argillosi.

2.2.3) Dissoluzione

Scioglimento di sostanze solubili ad opera dell'acqua. Poche sono le rocce facilmente solubili in acqua pura, mentre aumenta la solubilità di certi materiali in acqua contenente altre molecole disciolte, come CO_2 (che dà carbonatazione) e O_2.(che dà ossidazione); l'arricchimento dell'acqua in queste sostanze avviene nell'atmosfera e durante il passaggio del liquido nel terreno (acque di percolazione).

2.2.4) Carbonatazione

Formazione di carbonati $(CO_3)^{2-}$ e bicarbonati $(HCO_3)^-$ come prodotti di reazioni con acqua contenente anidride carbonica disciolta.
La calcite è un minerale che a temperatura ambiente è poco solubile in acqua pura, ma lo diventa apprezzabilmente in acqua contenente anidride carbonica disciolta

$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \leftrightarrow Ca(HCO_3)_2$

CALCITE	ANIDRIDE CARBONICA	ACQUA	BICARBONATO DI CALCIO
poco solubile			molto solubile

Questa reazione avviene nei due versi:

- verso destra ottenendo dalla calcite il bicarbonato di calcio sciolto in acqua
- verso sinistra dalla soluzione di bicarbonato di calcio, per evaporazione di acqua e sviluppo di anidride carbonica, si ottiene precipitazione di calcite.

Questo processo di dissoluzione dei calcari è molto importante ai fini del degrado delle rocce carbonatiche, nel momento in cui la soluzione di bicarbonato viene allontanata ed asportata.
Lo stesso processo è molto importante per la distruzione di intere formazioni geologiche di calcari, accompagnate, però, da altre nuove formazioni di travertini e alabastri.

2.2.5) Ossidazione

E' un processo di combinazione con l'ossigeno disciolto nell'acqua. Il ferro rilasciato dall'attacco dei silicati si ossida per dare ematite o limonite

2.3) CAUSE BIOLOGICHE

Sono cause legate all'azione dei biodeteriogeni, ossia agenti biologici responsabili di degrado. Si possono distinguere tra organismi autotrofi ed eterotrofi.

3) DEGRADO: MANIFESTAZIONI

Il degrado dei materiali lapidei, pietre, laterizi, prodotti ceramici, si può manifestare visivamente ed indipendentemente dalla causa che lo ha determinato, attraverso fenomeni di: fratturazione e fessurazione, distacchi, esfoliazione, deposito superficiale, polverizzazione, alveolizzazione. Può, inoltre essere accompagnato da efflorescenze, patine, incrostazioni, presenza di incrostazione, pellicole. Esempi di forme di alterazione macroscopiche del materiale lapideo:

Alveolizzazione: formazione di cavità di forme e dimensioni variabili, distribuiti in modo non uniforme. Spesso le cavità derivano da un ampliamento disomogeneo della naturale porosità preesistente. Per coalescenza gli alveoli sono spesso interconnessi.
Efflorescenza: formazione superficiale di sostanze cristalline, generalmente di colore biancastro e di aspetto pulverulento o fibroso.

Criptoefflorescenza: cristallizzazione salina che procede dall'esterno verso l'interno del materiale che spesso provoca il distacco delle parti superficiali.

Corrosione: erosione chimica

Deposito superficiale: accumulo di materiali estranei, di varia natura, come polvere, terriccio, guano,... Ha spessore variabile e generalmente scarsa coerenza e aderenza col materiale sottostante.

Distacco: Discontinuità tra strati superficiali del materiale, sia tra loro che rispetto al substrato; prelude, normalmente, alla caduta della porzione più superficiale.

Esfoliazione: degradazione che si manifesta con distacco, spesso seguito da caduta di uno o più strati superficiali subparalleli tra loro.

Fratturazione o fessurazione: degradazione che si manifesta con la formazione di discontinuità nel materiale che può implicare lo spostamento reciproco delle parti.

Incrostazione: deposito stratiforme, compatto e generalmente aderente al substrato, composto da sostanze inorganiche o di natura biologica.

Patina: alterazione strettamente limitata a quelle modificazioni naturali della superficie dei materiali non collegabili a manifesti fenomeni di degradazione e percepibili come una variazione del colore originario del materiale.

Patina biologica: strato sottile, morbido ed omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore variabile , per lo più verde.

Pellicola: strato superficiale di sostanze coerenti tra loro ed estranee al materiale lapideo. Ha uno spessore molto ridotto e può distaccarsi dal substrato che in genere si presenta integro.

Polverizzazione: decoesione che si manifesta con la caduta spontanea del materiale sotto forma di polvere o granuli.

Croste nere: incrostazioni composte da più strati che si accrescono progressivamente per deposito di materiali particellari dispersi nell'atmosfera: residui della combustione di idrocarburi e di carbone, composti bituminosi (questi tre elementi sono responsabili del colore nero), microcristalli di ossidi di ferro, di gesso e di calcite (queste due componenti conferiscono coesione alle particelle dell'incrostazione), pollini, e spore fungine. Quasi sempre non aderisce direttamente al materiale lapideo ma ad uno strato di spessore variabile di gesso, puro o mescolato a calcite, che si approfondisce in vario modo nel lapideo soprattutto lungo fratture ed in corrispondenza di pori.

4) LE PIETRE

4.1) MINERALI

I minerali sono sostanze naturali, in genere cristalline e inorganiche, con un ben definito campo di composizione chimica e di proprietà fisiche. Una sostanza si definisce cristallina quando al suo interno gli atomi sono disposti in strutture tridimensionali ordinate (per un minerale è possibile, cioè individuare una *cella elementare*, con i vari atomi ai vertici -*nodi*-, che si ripete costantemente in tutto il minerale a dare il *reticolo cristallino* caratteristico di quel minerale).
Le sostanze non cristalline sono vetrose e in esse gli atomi sono distribuiti in maniera disordinata (queste sostanze sono paragonabili a dei liquidi sopraraffreddati es.: vetro, vetro vulcanico, ossidiana... Anche l'opale non ha struttura cristallina, essendo la forma amorfa di SiO_2).
Ogni minerale, avendo determinata composizione chimica e determinato reticolo cristallino, è caratterizzato da una definita struttura e possiede delle proprietà fisiche, utilizzando le quali si può riconoscere il minerale stesso (es.: colore, lucentezza, sfaldatura, durezza, peso specifico, forma cristallina, fluorescenza, solubilità, magnetismo, radioattività,...)

Essendo l'ossigeno (O) e il silicio (Si) gli elementi più abbondanti nella crosta terrestre, gran parte dei minerali sono silicati e derivano appunto dal modo in cui si uniscono questi due elementi.

4.2) ROCCE

Le rocce sono aggregati di uno o più minerali, costituenti una parte essenziale della Terra. Possono essere formate da un solo minerale, come i calcari costituiti da calcite ($CaCO_3$), o più spesso da tanti minerali.

Le rocce vengono classificate in base alla loro origine e si distinguono, perciò, in:

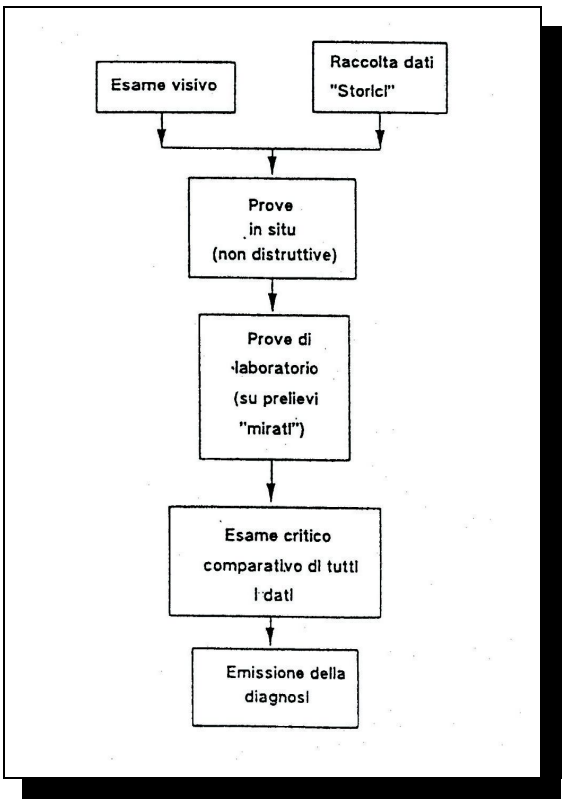
- rocce ignee derivate dalla solidificazione di un magma fuso;
- rocce sedimentarie derivate da disgregazione o da alterazione chimica di rocce preesistenti e deposte da acqua, vento e ghiacciai;
- rocce metamorfiche che derivano da profonde trasformazioni di rocce preesistenti dovute alle condizioni di pressione e temperatura dell'interno della Terra.

Le rocce ignee e metamorfiche sono generate da processi che avvengono entro la Terra (eccetto che per le rocce ignee che solidificano in superficie -lave-), quelle sedimentarie da processi che avvengono in superficie.

5) DIAGNOSI DEL DEGRADO

Nel restauro di chiese, palazzi, delle opere edilizie in genere, si pongono problemi di conservazione spesso complessi che necessitano conoscenze preliminari sui materiali costitutivi e sullo stato di conservazione di tali opere.
La fase operativa dell'intervento deve pertanto essere preceduta da un esame visivo accompagnato da una documentazione fotografica che illustri lo stato dell'edificio in tutti i suoi aspetti, e dalla raccolta di dati storici. Soltanto a questo punto si può procedere con indagini mirate che possono essere prove in situ e/o prove di laboratorio.

Qui di seguito possiamo schematizzare come si può configurare il **processo diagnostico**:



Architetto Paolo Filotto