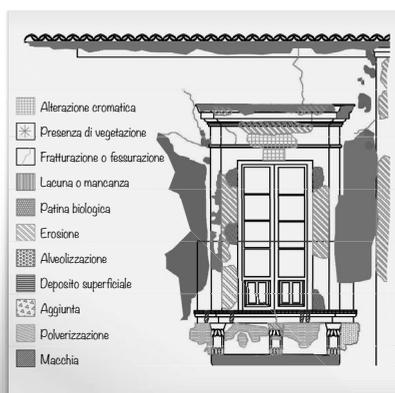


Vincenzo Calvo – Elisabetta Scalora

# IL DEGRADO DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

**MATERIALI LAPIDEI NATURALI ED ARTIFICIALI,  
CALCESTRUZZO, ACCIAIO E LEGNO**



## SOFTWARE INCLUSO

SOFTWARE PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE CAUSE DEL DEGRADO E I RIMEDI DA ADOTTARE,  
SIA PER I MATERIALI LAPIDEI CHE PER IL CEMENTO ARMATO

**Glossario** (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),  
**Test iniziale** (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)



**GRAFILL**

Vincenzo Calvo, Elisabetta Scalora  
**IL DEGRADO DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE**

ISBN 13 978-88-8207-777-8  
EAN 9 788882 077778

Manuali, 180  
Prima edizione, giugno 2015

Calvo, Vincenzo <1978->  
Il degrado dei materiali da costruzione / Vincenzo Calvo, Elisabetta Scalora.  
– Palermo : Grafill, 2015.  
(Manuali ; 180)  
ISBN 978-88-8207-777-8  
1. Materiali da costruzione – Deterioramento.  
I. Scalora, Elisabetta <1981->.  
691 CDD-22 SBN PAL0281733  
*CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"*

Il volume è **disponibile anche in versione eBook** (formato \*.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.  
Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con conto corrente postale, bonifico bancario, carta di credito e paypal.  
Per i pagamenti con carta di credito e paypal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno smartphone o un tablet il codice QR sottostante.



I lettori di codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo  
Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313  
Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail [grafill@grafill.it](mailto:grafill@grafill.it)

Finito di stampare nel mese di giugno 2015  
presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	p.	1
<b>1. DURABILITÀ DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE</b> .....	"	3
1.1. Durabilità delle pietre da costruzione .....	"	3
1.2. Durabilità del legno .....	"	4
1.3. Durabilità del cemento armato.....	"	4
<b>2. IL DEGRADO SUPERFICIALE</b> .....	"	5
2.1. Degrado fisico.....	"	5
2.2. Degrado chimico.....	"	6
2.3. Degrado biologico.....	"	7
<b>3. IL DEGRADO STRUTTURALE</b> .....	"	9
3.1. Dissesti delle fondazioni.....	"	9
3.2. Dissesti delle strutture in elevazione .....	"	12
3.2.1. Schiacciamento .....	"	12
3.2.2. Pressoflessione e carico di punta.....	"	13
3.2.3. Spinta .....	"	13
3.2.4. Torsione.....	"	13
3.3. Dissesti delle strutture orizzontali.....	"	13
3.4. Dissesti delle coperture.....	"	14
<b>4. IL RILIEVO DEL DEGRADO</b> .....	"	15
4.1. Tipi di degrado e alterazioni dei materiali .....	"	16
<b>5. INDAGINI E PROVE SULLE STRUTTURE</b>		
<b>IN CEMENTO ARMATO</b> .....	"	28
5.1. Prove non distruttive.....	"	28
5.1.1. Prove pacometriche.....	"	28
5.1.2. Prove sclerometriche.....	"	29
5.1.3. Prove ultrasoniche.....	"	30
5.1.4. Metodo combinato SONREB.....	"	32
5.1.5. Georadar.....	"	33
5.1.6. Prove termografiche .....	"	33
5.1.7. Prove del potenziale di corrosione.....	"	34
5.2. Prove moderatamente distruttive .....	"	35

5.2.1.	Pull Out .....	p.	35
5.2.2.	Prove penetrometriche: sonda Windsor .....	"	35
5.2.3.	Pull Off .....	"	36
5.2.4.	Prova di carbonatazione .....	"	37
5.3.	Prove distruttive .....	"	38
5.3.1.	Prove di compressione su carote di calcestruzzo .....	"	38
5.3.2.	Prove di trazione su barre di armatura d'acciaio estratte dalla struttura .....	"	39
<b>6.</b>	<b>INDAGINI E PROVE SULLE STRUTTURE IN MURATURA</b> .....	"	40
6.1.	Prove non distruttive .....	"	40
6.1.1.	Prove visive .....	"	40
6.1.2.	Prove soniche .....	"	40
6.1.3.	Caratterizzazione della malta .....	"	42
6.1.4.	Prove penetrometriche .....	"	42
6.2.	Prove moderatamente distruttive .....	"	42
6.2.1.	Martinetti piatti .....	"	42
6.2.2.	Carotaggi .....	"	45
6.2.3.	Endoscopie .....	"	45
<b>7.</b>	<b>INDAGINI E PROVE SULLE STRUTTURE IN ACCIAIO</b> .....	"	47
7.1.	Prove non distruttive .....	"	47
7.1.1.	Prove sclerometriche .....	"	47
7.1.2.	Prove di durezza .....	"	47
7.1.3.	Indagini ultrasoniche .....	"	47
7.1.4.	Indagini magnetoscopiche .....	"	47
7.1.5.	Indagini con liquidi penetranti .....	"	48
<b>8.</b>	<b>INDAGINI E PROVE SULLE STRUTTURE IN LEGNO</b> .....	"	49
8.1.	Prove non distruttive .....	"	49
8.1.1.	Ultrasuoni .....	"	49
8.1.2.	Raggi X .....	"	50
8.1.3.	Prove penetrometriche: Pilodyn .....	"	50
8.1.4.	Prove resistografiche .....	"	50
8.2.	Prove semi distruttive .....	"	52
8.2.1.	Carotaggi .....	"	52
8.2.2.	Endoscopie .....	"	53
<b>9.</b>	<b>MATERIALI LAPIDEI</b> .....	"	54
9.1.	Materiali lapidei naturali: pietra .....	"	54
9.2.	Materiali lapidei artificiali: laterizi .....	"	55

9.3.	Degrado dei materiali lapidei.....	p.	59
9.3.1.	Degrado di tipo chimico.....	"	60
9.3.2.	Degrado di tipo fisico.....	"	63
9.3.3.	Degrado di tipo biologico .....	"	70
<b>10.</b>	<b>LEGANTI</b> .....	"	72
10.1.	Calci aeree.....	"	72
10.1.1.	Gesso.....	"	73
10.1.2.	Cemento magnesiaco (cemento Sorel).....	"	73
10.2.	Calci idrauliche.....	"	73
10.2.1.	Calce idraulica naturale in zolle.....	"	73
10.2.2.	Calci idrauliche in polvere e calce eminentemente idraulica naturale o artificiale .....	"	74
10.2.3.	Calce idraulica artificiale pozzolanica .....	"	74
10.2.4.	Calce idraulica artificiale siderurgica.....	"	74
10.3.	Cemento.....	"	74
10.3.1.	Cemento Portland.....	"	74
10.3.2.	Cemento romano (o a presa rapida).....	"	75
<b>11.</b>	<b>MALTA E CALCESTRUZZO</b> .....	"	76
11.1.	Malta.....	"	76
11.2.	Calcestruzzo.....	"	76
11.3.	Il degrado del calcestruzzo armato (c.a.).....	"	77
11.3.1.	Aggressioni di tipo chimico .....	"	77
11.3.2.	Aggressioni di tipo fisico .....	"	79
11.3.3.	Aggressioni di tipo meccanico.....	"	80
11.4.	Come ripristinare e proteggere il cemento armato.....	"	80
<b>12.</b>	<b>INTONACI</b> .....	"	81
12.1.	Il degrado degli intonaci .....	"	81
12.2.	Le cause del degrado degli intonaci.....	"	84
<b>13.</b>	<b>MATERIALI METALLICI</b> .....	"	86
13.1.	Acciaio.....	"	86
13.2.	Corrosione dei materiali metallici.....	"	86
13.2.1.	Corrosione secca .....	"	87
13.2.2.	Corrosione umida.....	"	87
13.3.	Degrado dei materiali metallici.....	"	87
13.3.1.	Corrosione per contatto.....	"	88
13.3.2.	Corrosione per vaiolatura (pitting).....	"	88
13.3.3.	Corrosione interstiziale .....	"	88
13.3.4.	Corrosione intergranulare.....	"	88
13.3.5.	Corrosione sotto sforzo .....	"	89

<b>14. LEGNO</b> .....	p.	90
14.1. Difetti del legno .....	"	92
14.1.1. Nodi.....	"	92
14.1.2. Cipollature.....	"	93
14.1.3. Fenditure radiali .....	"	93
14.1.4. Eccentricità del midollo .....	"	94
14.2. Patologie del legno.....	"	95
14.2.1. Patologie vegetali.....	"	95
14.2.2. Patologie animali.....	"	95
14.3. Durabilità e degrado biologico del legno.....	"	95
14.3.1. Insetti.....	"	96
14.3.2. Muffe e Funghi.....	"	100
14.4. Trattamenti preservanti .....	"	101
 <b>15. LA PULITURA DEI MATERIALI LAPIDEI</b> .....	"	102
15.1. Solventi .....	"	102
15.2. Biocidi.....	"	103
15.3. Metodi di pulitura .....	"	103
15.3.1. Pulitura mediante spray di acqua a bassa pressione .....	"	104
15.3.2. Pulitura mediante idropulitrice a pressione controllata.....	"	104
15.3.3. Pulitura mediante spray d'acqua nebulizzata.....	"	104
15.3.4. Pulitura mediante acqua atomizzata.....	"	104
15.3.5. Pulitura meccanica .....	"	104
15.3.6. Pulitura mediante impacchi assorbenti a base di acqua .....	"	105
15.3.7. Pulitura mediante impacchi assorbenti a base di sostanze chimiche .....	"	105
15.3.8. Pulitura mediante impacchi assorbenti a base di carbonato e bicarbonato di ammonio .....	"	105
15.3.9. Pulitura mediante impacchi assorbenti a base di resine a scambio anionico .....	"	105
15.3.10. Pulitura mediante apparecchi aeroabrasivi .....	"	105
15.3.11. Pulitura mediante sabbiatura controllata.....	"	105
15.3.12. Pulitura a secco con spugne Wishab .....	"	106
15.3.13. Rimozione di macroflora.....	"	106
15.3.14. Rimozione di microflora .....	"	106
 <b>16. INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE DEGRADO 1.0</b> .....	"	107
16.1. Note sul software incluso.....	"	107
16.2. Requisiti hardware e software.....	"	107
16.3. Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	107
16.4. Installazione e attivazione del software.....	"	108

---

<b>17. GUIDA OPERATIVA DEL SOFTWARE DEGRADO 1.0</b> .....	p.	110
<b>17.1.</b> Barra degli strumenti .....	"	110
<b>17.2.</b> Uso del software .....	"	111
<b>DOMANDE FREQUENTI</b> .....	"	113
<b>TEST DI INGRESSO</b> .....	"	114
<b>TEST DI USCITA</b> .....	"	117
<b>GLOSSARIO</b> .....	"	120
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	"	125



## INTRODUZIONE

Il presente libro affronta il tema del degrado dei materiali da costruzione: materiali lapidei naturali ed artificiali, calcestruzzo, acciaio e legno. I materiali da costruzione comprendono tutti i materiali, naturali e artificiali, impiegati nelle costruzioni edilizie. Ad oggi esiste un elevato numero di materiali da costruzione ed ognuno di essi possiede delle particolari proprietà, che lo fanno preferire agli altri in funzione dello scopo per cui deve essere utilizzato.

In passato i materiali usati per l'edilizia erano naturali ed utilizzati per lo più allo stato grezzo, con il passare del tempo si sono realizzati nuovi materiali artificiali (calcestruzzo e metalli), che vengono realizzati sempre da materie prime presenti in natura, ma sottoposti a svariati processi di lavorazione.

In Italia la sicurezza delle costruzioni esistenti è un problema di fondamentale importanza, da un lato per l'elevata vulnerabilità sismica dall'altro per il valore storico-architettonico-artistico-ambientale di gran parte del patrimonio edilizio esistente. Il consolidamento delle strutture preesistenti è un'operazione più complessa della progettazione ex novo perché richiede un'attenta analisi del comportamento strutturale, del degrado e delle sue possibili cause ed infine richiede uno studio accurato degli interventi da effettuare preservando, il più possibile, il valore storico del manufatto. Di conseguenza il progetto di restauro dipende non solo dalle caratteristiche del manufatto ma soprattutto dallo stato di conservazione dello stesso.

L'analisi e lo studio del degrado costituiscono le fasi fondamentali per elaborazione di un buon progetto di restauro. Le cause del degrado sono dovute a diversi fattori, che generalmente si dividono in cause intrinseche (difetti di progettazione, materiali, tecnologie costruttive, ecc.) e cause estrinseche (morfologia del sito, condizioni atmosferiche, umidità, inquinamento, ecc.).

Nei progetti di restauro il così detto rilievo metrico non è sufficiente per avere un quadro generale dello "stato di salute" di un manufatto architettonico, ma è necessario effettuare un rilievo più approfondito, ovvero un rilievo materico, per identificare i materiali e le tecniche costruttive, un rilievo stratigrafico, per individuare le fasi costruttive e di trasformazione ed infine il rilievo del degrado, che miri a definire le alterazioni nei vari materiali ed un quadro fessurativo che individui le lesioni e i vari tipi di degrado, mediante prove invasive, prove non invasive e monitoraggio.

Qualsiasi sia il metodo di intervento su un manufatto storico è buona norma garantire il più possibile il rispetto dell'opera, pertanto di seguito si riportano alcuni obiettivi che il progettista deve perseguire durante gli interventi di consolidamento o di restauro:

- mantenere la massima permanenza dei materiali limitando il più possibile le trasformazioni;
- mirare l'intervento all'edificio in oggetto e alle cause del dissesto;
- realizzare interventi riconoscibili nel tempo;
- elaborare un buon piano di manutenzione.

*Arch. Elisabetta Scalora  
Ing. Vincenzo Calvo*



## DURABILITÀ DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Le principali cause di deterioramento delle costruzioni sono:

- progettazione non accurata;
- mancanza di manutenzione;
- durabilità dei materiali da costruzione.

Quando si parla di durabilità si pensa all'essere durevole nel tempo nonostante l'uso continuo e l'usura, questo periodo di tempo è notevolmente influenzato dall'ambiente in cui il materiale vive. In fase di progettazione, è buona norma scegliere i materiali da utilizzare non solo in funzione del costo ma anche in funzione della loro durata nel tempo, tale durata è influenzata sia dall'uso continuo del manufatto che ne causa l'usura, ma anche dall'invecchiamento dei materiali, con possibile diminuzione delle proprietà prestazionali.

In un edificio composto da più elementi assemblati tra di loro bisogna distinguere la durabilità dell'edificio dalla durabilità degli elementi decorativi.

In Italia la norma UNI 11156 definisce la valutazione della durabilità dei componenti edilizi come la capacità di svolgere le funzioni richieste durante un periodo di tempo specificato, sotto l'influenza degli agenti previsti in esercizio, questo periodo di tempo prende il nome di *vita utile* della struttura.

La vita utile va dal tempo zero (momento in cui l'elemento viene posto in opera) al tempo di fine vita utile (momento in cui l'elemento non soddisfa più i requisiti prestazionali di progetto.)

Al fine di garantire al manufatto un'adeguata durabilità, si devono considerare i seguenti fattori tra loro correlati (§ 11.7.9.1 delle NTC 2008):

- la destinazione d'uso della struttura;
- le condizioni ambientali prevedibili;
- la composizione, le proprietà e le prestazioni dei materiali;
- la forma degli elementi strutturali ed i particolari costruttivi;
- la qualità dell'esecuzione ed il livello di controllo della stessa;
- le particolari misure di protezione;
- la probabile manutenzione durante la vita presunta;
- adottando in fase di progetto idonei provvedimenti volti alla protezione dei materiali.

### 1.1. Durabilità delle pietre da costruzione

La pietra è un materiale naturale formato da aggregati naturali di minerali, in genere sono eterogenee (formate da più minerali) ma possono anche essere omogenee (formate da un unico tipo di materiale), hanno una buona resistenza a sollecitazioni di compressione e una bassa resistenza a sollecitazioni di trazione. Gli antichi monumenti in pietra nel corso della storia, hanno subito numerose tensioni di trazione dovuti all'ambiente, tra cui sbalzi termici, cedimenti del terreno,

sismicità, gelo, cristallizzazione dei sali, ecc.. Il livello di degrado che influenza la durabilità della pietra è molto variabile, e dipende dal tipo di pietra utilizzata, dall'esposizione e dalla disomogeneità del materiale, infatti, lo stesso blocco di pietra può avere livelli di degrado differenti in ogni suo punto. La pietra, intesa come materiale da costruzione, ha una velocità di degrado molto bassa, un fattore importante che ne influenza la durabilità è la compattezza e cioè il numero di pori che la pietra presenta, minore è la porosità e maggiore è la resistenza e quindi la durabilità.

### 1.2. Durabilità del legno

Nel legno la durabilità si può differenziare in durabilità naturale e durabilità effettiva, la prima è quel fattore che dipende fondamentalmente dalla sua essenza, i legni duri durano più a lungo piuttosto che quelli dolci. La durabilità effettiva è quel fattore che dipende dalla messa in opera, dal clima e dalla classe d'uso. In genere si pensa che il legno non è un materiale durevole, sta di fatto che esistono costruzioni in legno risalenti a migliaia di anni, quindi il legno nelle condizioni giuste è un materiale estremamente durevole, difatti la garanzia rilasciata da un costruttore per un prefabbricato in legno è di 30 anni, mentre per un edificio tradizionale in muratura è 10 anni.

Nonostante la sensibilità agli agenti atmosferici, il legno può avere una buona durabilità se viene utilizzata la specie botanica più idonea e se i dettagli costruttivi sono stati progettati e realizzati in modo da non far ristagnare l'acqua sulle superfici.

Ogni specie botanica è caratterizzata dalla sua durabilità naturale. Si definisce *durabilità naturale* di una specie legnosa, la capacità del legno di mantenere nel tempo le proprie caratteristiche fisiche e meccaniche nei confronti del degradamento dovuto a fattori climatici e biologici, senza essere trattato con sostanze preservanti.

Il legno può essere conservato mediante prodotti chimici contro il deterioramento, e pertanto un altro aspetto del legno, da non sottovalutare, è la sua trattabilità, ovvero la capacità del legno di assorbire liquidi, in particolare, preservanti.

Il legno ed i materiali a base di legno, per essere utilizzati come materiali da costruzione, devono possedere un'adeguata durabilità naturale per la classe di rischio prevista in servizio, oppure devono essere sottoposti ad un trattamento preservante adeguato.

### 1.3. Durabilità del cemento armato

Il cemento armato è un materiale eterogeneo formato da calcestruzzo e barre di acciaio, il calcestruzzo è una miscela di cemento, acqua, sabbia e aggregati.

Anche per il cemento armato la durabilità è intesa come la conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche al fine di garantire la sicurezza della struttura durante la sua vita nominale.

La vita nominale indicata con  $V_n$  è il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per opere ordinarie la vita nominale  $\geq 50$  anni per grandi opere  $\geq 100$  anni.

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo (§ 11.2.11 delle NTC 2008).

## IL DEGRADO SUPERFICIALE

Si intende per degrado il deterioramento dei materiali, delle strutture o l'assenza di attività manutentive.

L'analisi e lo studio del degrado costituiscono le fasi fondamentali per elaborazione di un buon progetto di restauro. Le cause del degrado sono dovute a diversi fattori, che generalmente si dividono in cause intrinseche (difetti di progettazione, materiali, tecnologie costruttive, ecc.) e cause estrinseche (morfologia del sito, condizioni atmosferiche, umidità, inquinamento, ecc.).

Spesso i fenomeni di degrado sono causati dall'attività dell'uomo sia nei processi di lavorazione dei materiali sia durante le operazioni di restauro, purtroppo a volte è dovuto ad atti vandalici, ne sono un esempio i graffiti.

I fenomeni naturali, sollecitazioni meccaniche o alterazioni chimiche, possono provocare danni significativi alla struttura soprattutto se si protraggono per un lungo periodo di tempo.

Fra le cause estrinseche, la presenza di umidità rappresenta una delle cause più frequenti di degrado, questa si manifesta nelle costruzioni come: risalita capillare, infiltrazioni, condensa, crescita di vegetazione, ecc. Il fenomeno della risalita capillare varia in funzione del materiale, tale fenomeno si ha maggiormente nei laterizi e quasi mai nei materiali lapidei.

L'acqua può dare vita a processi di degrado mediante formazione di cristalli di ghiaccio se la temperatura dell'ambiente è bassa, oppure mediante formazione di cristalli costituiti da sali solubili presenti in essa che, a seguito dell'evaporazione dell'acqua dovuta ad una temperatura medio-alta dell'ambiente esterno, si depositano nei pori del materiale.

L'acqua favorisce oltre che il degrado fisico anche il degrado chimico dei materiali, infatti l'acqua sotto forma di pioggia o di umidità può entrare in contatto con le superfici dei materiali rilasciando le impurità presenti nell'atmosfera, favorendo così la formazione di croste nere.

Nei metalli, l'acqua sulle superfici può dar vita al fenomeno della corrosione umida, che interessa non solo i manufatti fuori terra ma anche quelli che si trovano nel sottosuolo.

Infine la presenza dell'acqua favorisce anche il degrado biologico, poiché sotto determinate condizioni di umidità e temperatura si possono sviluppare dei microrganismi, come alghe, funghi o batteri, che degradano il materiale; tale fenomeno interessa sia il legno che i materiali lapidei e le malte.

### 2.1. Degrado fisico

Il degrado fisico dipende dalla composizione minerologica e dalla struttura granulare del materiale, è dovuto a fenomeni fisici che esercitano un'azione meccanica di frammentazione del materiale, come: sbalzi termici, cicli di gelo e disgelo, azione del vento, vibrazioni dovute al traffico veicolare, ricristallizzazione dei sali solubili, ecc..

Quindi i principali fattori sono:

- azione dei sali;
- azione del gelo;
- azione dovuta alle dilatazioni termiche.

### **Azione dei sali**

I fenomeni disgregativi possono essere causati dalla sovrassaturazione con precipitazione e/o cristallizzazione di una determinata specie salina, ciò può essere causato da:

- aumento della temperatura;
- diminuzione dell'umidità relativa esterna;
- azione eolica.

Anche l'aumento della pressione di cristallizzazione dei sali può favorire i fenomeni di degrado, poiché l'aumento di volume dei cristalli può provocare sulla superficie dei pori pressioni tali da superare le capacità di resistenza del materiale.

La formazione di cristalli, dovuti alla precipitazione dei sali, può avvenire in diverse parti della muratura ed in funzione della velocità di evaporazione si generano:

- *efflorescenze*: se l'evaporazione è lenta si ha la cristallizzazione dei sali esternamente alla superficie;
- *criptoefflorescenze*: se la velocità di evaporazione è rapida si ha la cristallizzazione ad una certa distanza dalla superficie. Poiché la cristallizzazione avviene tra la zona umida e quella asciutta, si può avere un distacco di materiale.

### **Azione del gelo**

I cicli di gelo e disgelo possono determinare il ristagno di elementi inquinanti all'interno della struttura interna del materiale, il danno è tanto maggiore quanto maggiore è il numero di cicli di gelo cui è sottoposto il materiale.

### **Azione dovuta alle dilatazioni termiche**

Tutti i materiali sono soggetti a dilatazioni termiche per effetto di cambiamenti di temperatura. Tale fenomeno non produce alterazioni significative se il materiale è lasciato libero di muoversi; provoca invece tensioni interne se vincolato rigidamente.

Il coefficiente di dilatazione termica è direttamente proporzionale alla deformabilità del materiale. Generalmente gli edifici soggetti a climi caldi umidi si degradano maggiormente per l'azione del sole e del vento, mentre gli edifici soggetti a climi più freddi si degradano maggiormente sotto l'azione dei cicli di gelo e disgelo.

## **2.2. Degrado chimico**

Il degrado chimico è dovuto generalmente alla presenza di acqua di condensa o piovana, quest'ultima a causa dell'inquinamento è ricca di sali e di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). La CO<sub>2</sub> disciolta nell'acqua determina una variazione del pH della pioggia, la quale ha un'azione più aggressiva sui materiali da costruzione.

L'anidride carbonica con l'acqua si trasforma in acido carbonico che determina un'alterazione dei materiali lapidei e metallici, dovuta a processi di carbonatazione e di ossidazione. L'anidride solforosa e l'anidride solforica, che si trovano nell'aria in piccole quantità, possono

essere assorbite da marmi e materiale calcareo, ed il processo chimico che si innesta con l'acqua o con l'ossigeno dell'atmosfera determina processi di alterazione per solfatazione e ossidazione.

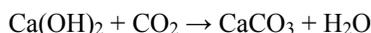
Il degrado chimico dipende dalla quantità di acqua piovana che colpisce il materiale, dalla durata del fenomeno e dalla porosità del materiale.

Il degrado di tipo chimico è dovuto dalle seguenti alterazioni:

- *carbonatazione*;
- *sofatazione*;
- *ossidazione*.

### **Carbonatazione**

La carbonatazione è un processo chimico che genera carbonati. Tale fenomeno è frequente nei materiali leganti (cemento, calce, ecc.) in cui l'idrossido di calcio presente reagendo con l'anidride carbonica forma carbonato di calcio secondo la seguente reazione chimica:



L'anidride carbonica dell'aria reagendo con la calce riduce il pH del calcestruzzo, creando così un ambiente poco alcalino per le armature. In presenza di pH inferiori a 11 il film passivante sulle armature viene neutralizzato e quindi i tondini di ferro sono esposti all'aggressione dell'ossigeno e dell'umidità presenti nell'aria. In queste condizioni si innesca il processo di corrosione delle armature, queste, aumentando di volume, generano il distacco del copriferro.

Per quanto detto nelle strutture in cemento armato la carbonatazione costituisce una delle principali cause di degrado.

### **Solfatazione**

Il processo di solfatazione è causato dalla presenza di anidride solforosa (SO<sub>2</sub>) nell'aria, prodotta da residui della combustione di oli derivati dal petrolio, dall'azione di microrganismi ed inquinanti e/o da eruzioni vulcaniche.

Nelle aree urbane tale fenomeno di degrado si configura come crosta nera, il cui colore deriva dalla presenza di inquinanti atmosferici.

### **Ossidazione**

L'*ossidazione* è una trasformazione chimica dove si verifica una perdita di elettroni da parte di una specie chimica. Il processo di ossidazione è sempre accompagnato da un processo di riduzione, ovvero il componente che cede elettroni si ossida mentre il componente che li acquisita si riduce.

## **2.3. Degrado biologico**

Il degrado biologico o biodeterioramento determina l'alterazione del substrato del materiale, esso è dovuto alla presenza e alla proliferazione di *microrganismi ed organismi autotrofi* (dal greco "*autos*" = da se stesso, e "*trophos*", alimentazione, sono capaci di nutrirsi utilizzando solamente semplici sostanze inorganiche) ed *eterotrofi* (dal greco "*héteros*" = altri e "*trophos*" = alimentazione, si nutrono di sostanze organiche prodotte dagli organismi autotrofi) sui materiali.

I *microrganismi autotrofi* si trovano solitamente nelle rocce e sono:

- solfobatteri, sono cause di efflorescenze saline a base di solfiti e solfati;
- nitrobatteri, sono cause di croste nere e di efflorescenze saline a base di nitriti e nitrati;
- alghe, sono cause di patine verdi, rivestimenti crostosi, strati gelatinosi, ecc..

I *microrganismi eterotrofi* sono:

- batteri, sono cause di patine colorate e modifica dello stato fisico superficiale del materiale che diventa pastoso;
- attinomiceti, sono cause di micelio biancastro e patina granulosa;
- funghi, sono cause di macchie scure.

Gli *organismi autotrofi* sono:

- muschi, hanno consistenza stratiforme e colore verdastro, bruno o nero;
- licheni, sono cause di patine dai colori vivaci (giallo, arancio);
- piante, creano fratture e fessurazioni nel materiale.

Gli *organismi eterotrofi* sono:

- insetti;
- aracnidi.

Il biodeterioramento comprende anche i danni provocati dalla crescita di piante infestanti e dagli uccelli.

L'attacco biologico avviene mediante le seguenti fasi: contaminazione superficiale, proliferazione, sviluppo in profondità e colonizzazione.

I fattori ambientali che ne favoriscono lo sviluppo sono: luce, ossigeno, anidride carbonica, acqua, sali minerali e fonti di carbonio organico.

Per prevenire il degrado biologico bisogna innanzitutto identificare gli agenti causa del deterioramento, definire le condizioni ambientali che ne favoriscono lo sviluppo e scegliere gli opportuni biocidi.