

STRUTTURE IN MURATURA: DEGRADO DEI MATERIALI

Flora Faleschini
Dipartimento Ingegneria
Civile, Edile e Ambientale
VMSSE 2023/2024



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

DURABILITA' DELLE STRUTTURE

- Negli ultimi decenni è emersa la problematica riguardante il costante invecchiamento del patrimonio architettonico e infrastrutturale esistente.
- Ne è emersa una crescente consapevolezza scientifica riguardante la necessità della manutenzione delle opere esistenti, a causa del loro **invecchiamento e degrado**, le quali presentavano i segni inevitabili della conclusione del loro **ciclo di vita**.

Durabilità = capacità di una struttura di conservare le sue prestazioni di progetto per tutta la durata della sua vita utile nominale, in specifiche condizioni ambientali e di manutenzione.

dipende da:

- proprietà dei materiali previsti nel progetto;
- modalità di messa in opera;
- condizioni ambientali in cui è collocata la struttura;
- interventi di manutenzione effettuati.

Fortemente connessa al concetto di **funzionalità** di un'opera.

OBIETTIVI DI INTERVENTO

Tre macro-aree:

1. Ripristino della sicurezza strutturale delle opere;
2. Ripristino della funzionalità;
3. Miglioramento o ripristino dell'estetica.

1. La perdita dei livelli di **sicurezza** minimi previsti per una struttura è connessa al superamento di uno **stato limite**. Può derivare da: azioni aggressive ambientali; azioni legate all'utilizzo; azioni eccezionali; difetti progettuali; difetti congeniti derivanti da una cattiva messa in opera.
2. La perdita di funzionalità **non compromette la statica** della struttura, ma ne può limitare fortemente il suo utilizzo.
3. La perdita dell'estetica di una struttura non è direttamente connessa né alla statica né alla sua funzionalità, ma a **lungo termine** può avere ricadute sulle stesse (es. corrosione delle armature a partire da micro-fessurazioni sulla superficie del c.a.)

OBIETTIVI DI INTERVENTO

1. Eliminare le cause responsabili delle cause di carenza strutturale, perdita di funzionalità ed estetica;
2. Eliminare il dissesto, “congelare” il degrado e le forme di alterazione ed invecchiamento dei materiali da costruzione;
3. Proteggere la struttura dal futuro degrado ed invecchiamento, per tutto il corso della sua vita utile.



1. **Riconoscere le forme di degrado** dei materiali e delle strutture;
2. Determinare e **limitare le cause responsabili** di tali dissesti;
3. **Individuare le carenze dei singoli elementi strutturali e dell'opera nel suo complesso**, anche nei confronti delle azioni eccezionali (sisma, incendio, esplosione, etc).

CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

1. CAUSE ESTERNE NATURALI AD AZIONE PROLUNGATA:

- a) Umidità (acqua di condensa, risalita capillare, etc);
- b) Fattori metereologici e climatici;
- c) Inquinamento naturale;
- d) Aggressioni biologiche;
- e) Fattori geologici ad andamento progressivo;

2. CAUSE ESTERNE NATURALI AD AZIONE IMPROVVISA:

- a) Fattori meteorologici;
- b) Fattori idro-geologici;
- c) Incendi;
- d) Aggressioni di animali;

3. CAUSE ESTERNE ANTROPICHE ad azione diretta;

4. CAUSE ESTERNE ANTROPICHE ad azione indiretta;

5. CAUSE INTRINSECHE di sito, di errori nella progettazione e nella messa in opera, o nella scelta dei materiali.



CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

Processi coinvolti:

1. di tipo **FISICO**: dissoluzione, idratazione, idrolisi dei materiali costitutivi, azione meccanica gelo, cristallizzazione dei sali;
2. di tipo **CHIMICO**: acidi e sali disciolti generano soluzioni corrosive;
3. di tipo **BIOLOGICO**: attecchimento di licheni e piante infestanti.

La causa primaria è connessa alla **PRESENZA di ACQUA** (sia sui materiali lapidei che sui leganti) :

- acqua meteorica (pioggia battente, acqua di ruscellamento);
- umidità di condensa (condensazione superficiale e interstiziale);
- umidità di risalita (acque di scorrimento, falda freatica);
- perdite da impianto idrico.

I **materiali lapidei sono rigidi e fragili** per cui sono sensibili alle sollecitazioni meccaniche esterne e interne (carichi, vibrazioni, gelo, cristallizzazione dei sali, dilatazioni termiche).

CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

Processi FISICI: **STRESS TERMICO**

Una delle principali cause legata al degrado di tipo fisico dei materiali lapidei riguarda la **variazione ciclica della temperatura** che porta ad una disgregazione del materiale.

H₂O (liquida)  H₂O (solida)

+ 9% in volume;

perdita di volume dei minerali argillosi;

aumento della pressione all'interno dei pori di dimensione capillare che contengono ghiaccio, con conseguente microfessurazione;

aumento della pressione dell'acqua verso il ghiaccio.

CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

Processi FISICI: **CRISTALLIZZAZIONE SALI SOLUBILI**

La presenza di sali solubili in acqua è molto frequente nella grande maggioranza dei materiali lapidei e costituisce uno dei maggiori problemi conservativi. I sali possono aver origine da:

- presenza nelle **rocce**;
- presenza **nell'acqua di contatto** (ad es. acqua di risalita capillare);
- presenza nel **legante** (malte).

La loro quantità può incrementare nel tempo per:

- accumulo;
- evaporazione dell'acqua.

Sali pericolosi: SOLFATI (SO_4^{2-}), CLORURI (Cl^-), CARBONATI (CO_3^{2-}), NITRATI (NO_3^-) e NITRITI (NO_2^-)

Causano:

- efflorescenze ($v_{\text{evaporazione}} < v_{\text{migrazione delle soluzioni}}$) → Sali cristallizzano in superficie
- sub-efflorescenze ($v_{\text{evaporazione}} > v_{\text{migrazione delle soluzioni}}$) → Sali cristallizzano internamente

CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

Processi CHIMICI: **BICARBONATAZIONE**

Le pietre a cemento calcareo (calcare, dolomie, marmi), le malte e gli intonaci sono attaccate da acque contenenti *anidride carbonica* che trasformano i carbonati insolubili in bicarbonati (molto solubili) tramite un processo molto lento:



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.

Si può verificare una ricristallizzazione del carbonato di calcio con formazione di **una crosta dura e compatta con** caratteristiche strutturali diverse dal materiale sottostante, suscettibile di un successivo distacco a seguito di sollecitazioni meccaniche.

CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

Processi CHIMICI: **SOLFATAZIONE**

Le pietre a cemento calcareo (calcare, dolomie, marmi), le malte e gli intonaci sono attaccate da acque contenenti *anidride solforosa* che trasformano i carbonati in solfato di calcio (gesso).



Se il **materiale è poroso** l'attacco avviene in **profondità** portando in **breve tempo** alla **disgregazione** tutto il manufatto, **se non lo è** il fenomeno interessa solo la parte superficiale portando alla **formazione di una crosta superficiale (nera) contenente gesso**.

Tale crosta si ispessisce nel corso del tempo, portando ad un suo distacco e lasciando esposto un materiale fortemente degradato e polveroso, e facilmente aggredibile sia da processi fisici che chimici.

CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

ALTERAZIONI MACROSCOPICHE DEI MATERIALI LAPIDEI (ex NORMAL 1/88 – UNI 11182)

Alterazione Cromatica



Manutenzione: limitare il contatto tra agenti aggressivi e materie degradabili. Effettuare cicli di lavaggi localizzati, pulendo la superficie della porzione del manufatto interessato. Consolidamento.

Commissione NORMAL: Normativa Manufatti Lapidei, CNR. Con il termine “materiale lapideo” si intendono i marmi, le pietre, gli stucchi, le malte, gli intonaci, i materiali ceramici, i laterizi ed i cotti. Classificazione UNI 11182.

CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

ALTERAZIONI MACROSCOPICHE DEI MATERIALI LAPIDEI (ex NORMAL 1/88 – UNI 11182)

Alveolizzazione



Manutenzione: stuccatura di cavità a lesioni.



CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

ALTERAZIONI MACROSCOPICHE DEI MATERIALI LAPIDEI (ex NORMAL 1/88 – UNI 11182)

Concrezione



Crosta nera



CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

ALTERAZIONI MACROSCOPICHE DEI MATERIALI LAPIDEI (ex NORMAL 1/88 – UNI 11182)

Deposito superficiale



Disgregazione



CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

ALTERAZIONI MACROSCOPICHE DEI MATERIALI LAPIDEI (ex NORMAL 1/88 – UNI 11182)

Distacco



Efflorescenza



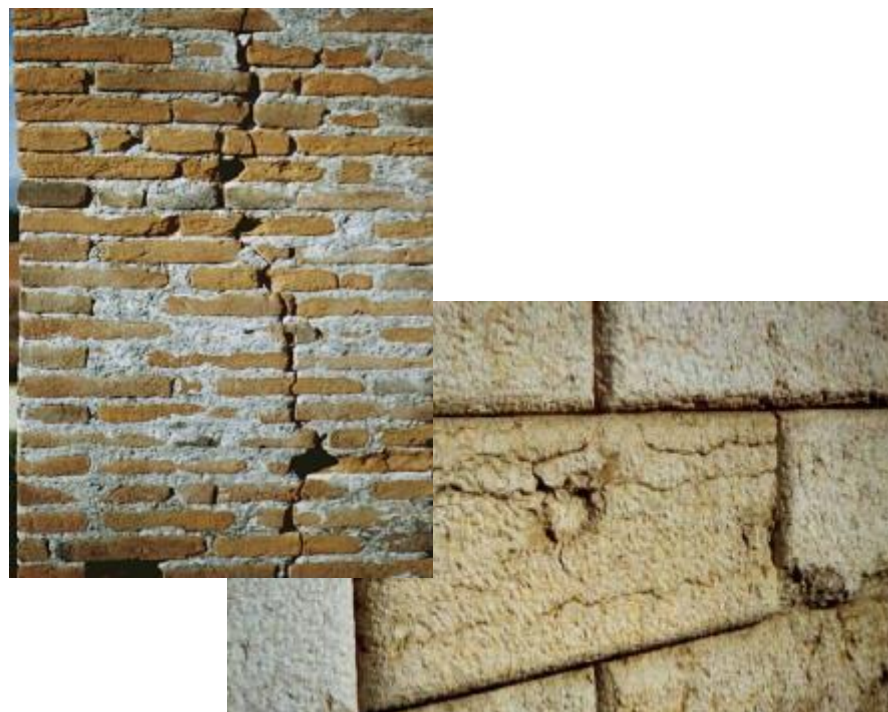
CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

ALTERAZIONI MACROSCOPICHE DEI MATERIALI LAPIDEI (ex NORMAL 1/88 – UNI 11182)

Erosione



Fessurazione



CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

ALTERAZIONI MACROSCOPICHE DEI MATERIALI LAPIDEI (ex NORMAL 1/88 – UNI 11182)

Macchia



Patina biologica



CAUSE DEL DEGRADO NELLE OPERE IN MURATURA

ALTERAZIONI MACROSCOPICHE DEI MATERIALI LAPIDEI (ex NORMAL 1/88 — UNI 11182)

Presenza di vegetazione



Rigonfiamento

