

# Strumenti e metodi per la conoscenza e la gestione dello stato di degrado di strutture esistenti in calcestruzzo armato

Prof.ssa Luciana Restuccia



**Politecnico  
di Torino**

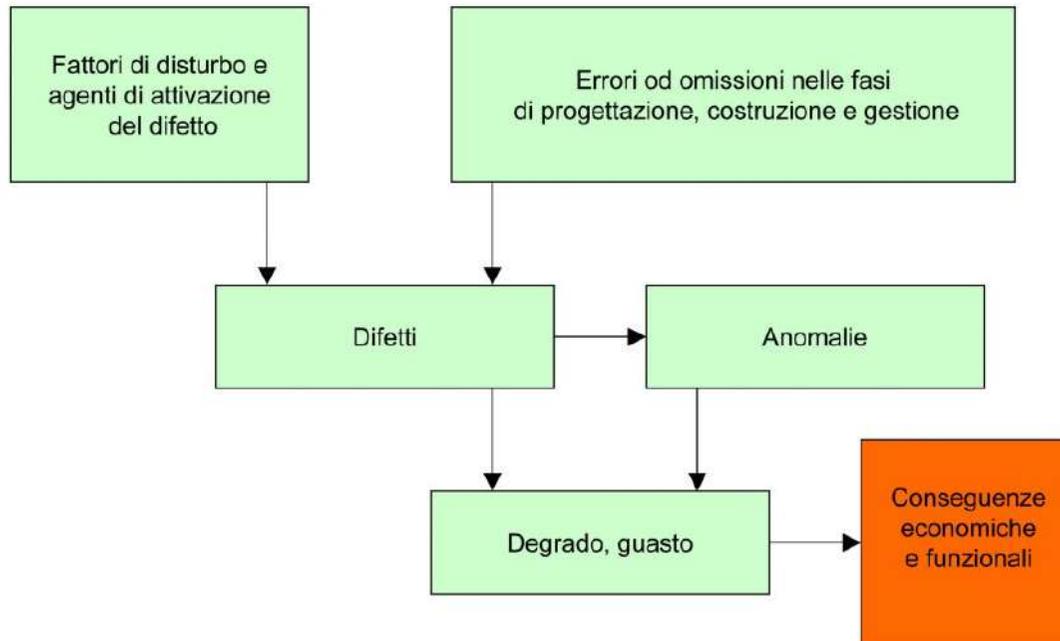
Dipartimento  
di Ingegneria Strutturale,  
Edile e Geotecnica



## Sommario

- *Il concetto di degrado e la fragilità del patrimonio edilizio italiano;*
- *L'approccio metodologico. Conoscenza, prevenzione, manutenzione;*
- *La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD.*

# Il concetto di degrado e la fragilità del patrimonio edilizio italiano



*I difetti dovuti ad errori commessi durante le fasi del processo edilizio possono dar luogo a fenomeni di degrado e guasto solamente in presenza di specifici fattori di disturbo e di specifici agenti di attivazione*

Degrado deriva dal latino **gradus** (scalino, ma anche rango, dignità) con la particella **de** che indica un movimento dall'alto in basso.

Nell'accezione più comune sta a significare una situazione problematica, di «**perdita di dignità**».

Nelle costruzioni, la perdita di dignità si trasforma in una perdita di **affidabilità strutturale**, definita come la capacità di un sistema strutturale di assolvere alle funzioni per cui è stato progettato, in determinate condizioni d'uso e per un fissato tempo di esercizio (EC2).

# Il concetto di degrado e la fragilità del patrimonio edilizio italiano

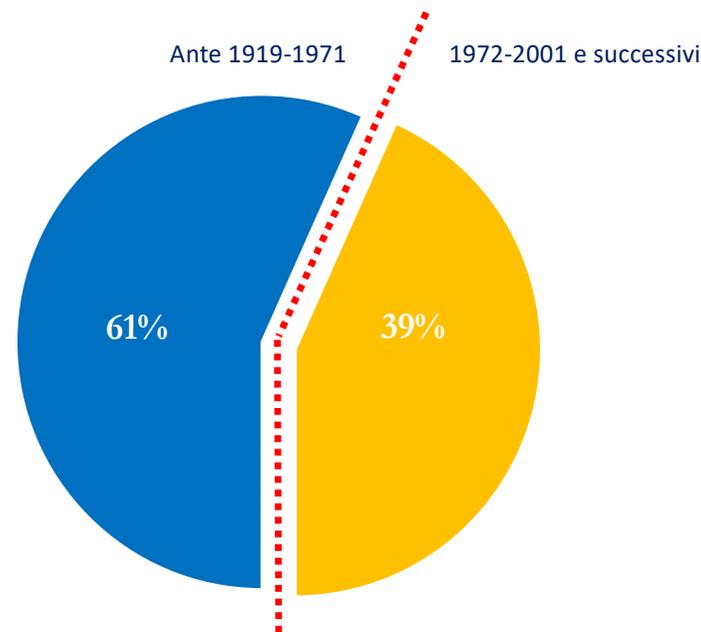
Il concetto di DEGRADO può facilmente essere espresso tramite l'**analogia** tra **l'edificio ed il corpo umano**: la vetustà, la mancanza di manutenzione, il manifestarsi improvviso di patologie... sono tutti sintomi precursori del degrado.

L' **Architetto/Ingegnere**, in tal caso, assume una *forma mentis* assimilabile a quella di un **medico** nell'esercizio delle proprie funzioni di riconoscimento delle patologie, delle loro cause e dei possibili rimedi:

- Analisi dell'edificio (epoca di costruzione, tecnologie costruttive, interventi e trasformazioni (**ANAMNESI**);
- Definizione della natura del degrado (**PROGNOSI**);
- Ricerca delle cause perturbatrici (**SEMEIOTICA**);
- Studio dei rimedi (**TERAPIA**).

# Il concetto di degrado e la fragilità del patrimonio edilizio italiano

EDIFICI		
<b>STOCK</b>	<b>11.740.083</b>	<b>100%</b>
<i>di cui:</i>		
▶ Prima del 1919	2.150.259	18,3%
▶ 1919 - 1945	1.383.815	11,8%
▶ 1946 - 1960	1.659.829	14,1%
▶ 1961 - 1971	1.967.957	16,8%
▶ 1972 - 1981	1.983.206	16,9%
▶ 1982 - 1991	1.290.502	11,0%
▶ 1992 - 2001	771.927	6,6%
▶ Dopo il 2001	532.588	4,5%

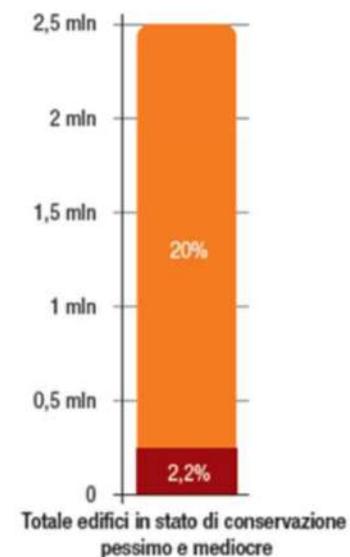
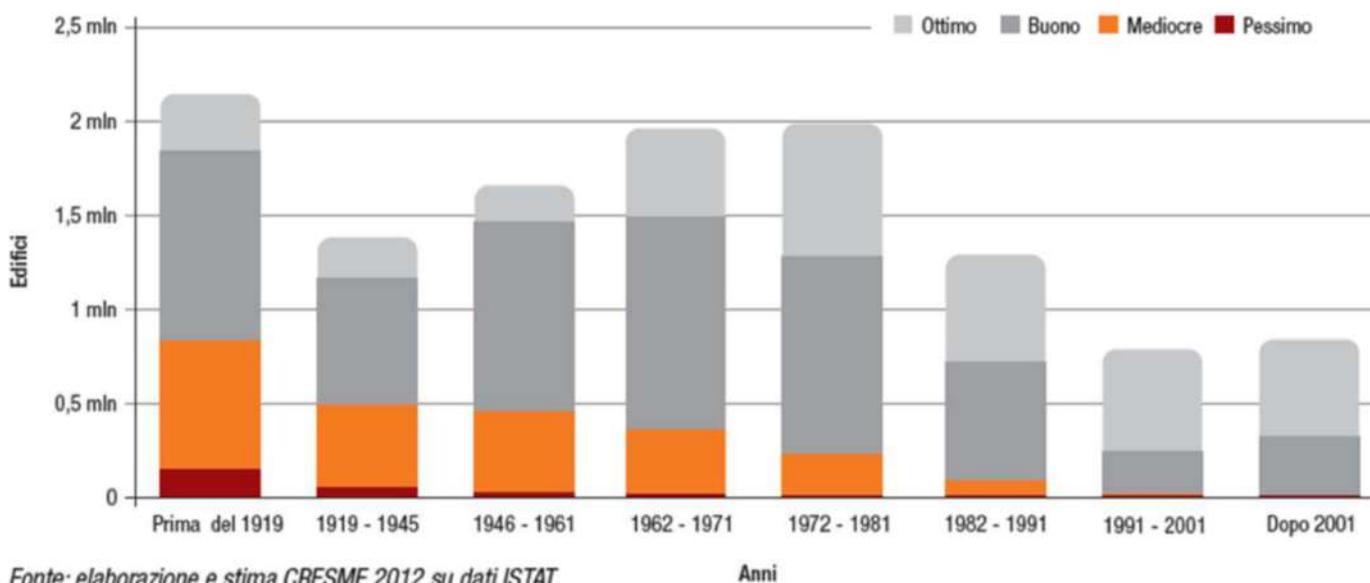


NTC2018, § 2.4.1 – VITA NOMINALE (prestazioni ordinarie)

*“numero di anni nel quale è previsto che l’opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali”*

## Il concetto di degrado e la fragilità del patrimonio edilizio italiano

L'elevata anzianità si ripercuote anche sullo stato di conservazione complessivo del sistema edilizio. Stando ai risultati del censimento 2011, **più di 2 milioni di edifici residenziali, vale a dire il 16.9% del totale, si trovano in uno stato di mediocre (15.2%) o pessima (1.7%) conservazione.**



Fonte: elaborazione e stima CRESME 2012 su dati ISTAT.

## Il concetto di degrado e la fragilità del patrimonio edilizio italiano

La **vetustà degli immobili costituisce un elemento importante** che, pur non implicando automaticamente un cattivo stato di conservazione delle strutture, **ne denota una maggiore esposizione ad alcune tipologie di rischio, derivanti in primis dalla specificità delle tecniche costruttive adottate.**

Alcune considerazioni devono essere inevitabilmente effettuate circa le **tecniche costruttive** ed **materiali impiegati**, nonché il **mutato scenario normativo** che pone gli edifici odierni in un marcato deficit prestazionale.

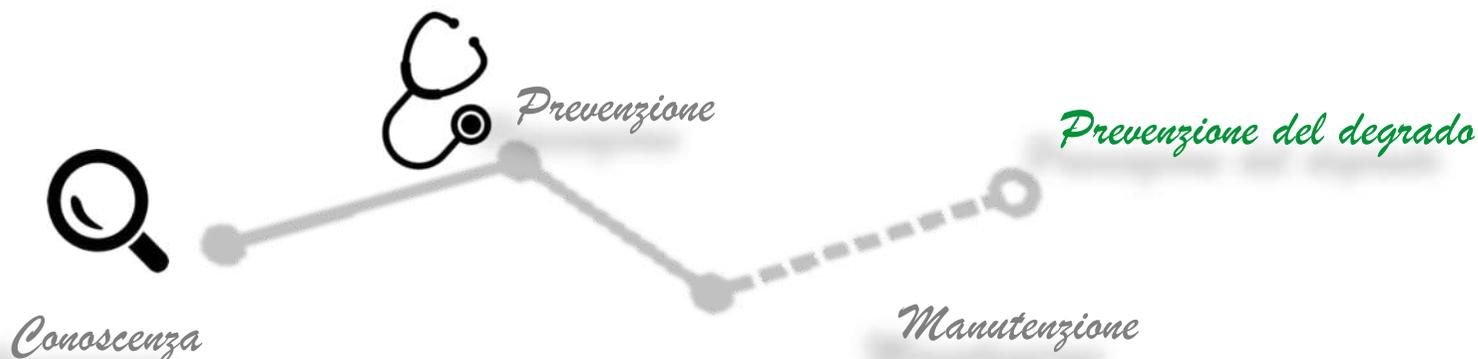
Questo perché, il **parco edilizio** (immobiliare ed infrastrutturale) è **vetusto, eterogeneo** e spesso **privo di informazioni storico-costruttive aggiornate.**

## Il concetto di degrado e la fragilità del patrimonio edilizio italiano

Molto spesso il **degrado** dipende da **deficienze di tipo progettuale ed esecutivo**. Insufficienza di armature, ferri lisci, calcestruzzi di scarse qualità fisico-meccaniche, riprese di getto e piegatura delle staffe non eseguite correttamente, livelli avanzati di degrado chimico-fisico, interventi sbagliati...sono problematiche all'ordine del giorno, che aggravano le carenze degli edifici da un punto di vista strutturale.

Si **interviene** a salvaguardia del patrimonio edilizio **solo in relazione al verificarsi di gravi situazioni di degrado o dissesto**, tali per cui si rendono necessarie operazioni importanti, costose e tendenzialmente distruttive. È invece necessario dotarsi di strategie diverse da quelle consuete: **bisogna sviluppare nuove prassi culturali e tecniche, dirette a promuovere un modo di pensare e di agire alternativo rispetto al passato.**

*Anche in considerazione della attuale scarsità di risorse, è utile favorire interventi di "cura" e manutenzione costante, puntando tutto sulla prevenzione.*



# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



1

## ANALISI STORICO-CRITICA DELL'EDIFICIO

(ricerca archivistica, bibliografica, fotografie, etc.)

2

## RILIEVO ARCHITETTONICO E STRUTTURALE

(conoscenza della struttura e delle sue peculiarità)

3

## CARATTERIZZAZIONE DELL'EDIFICIO

(indagini diagnostiche strutturali, prove su materiali)

4

## CONOSCENZA DELL'EDIFICIO

(visione d'insieme dell'edificio nella sua complessità)



# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

L'analisi e lo studio del **degrado** costituiscono **un tassello fondamentale** nel percorso di **conoscenza** di un **edificio**.

Per avere un quadro generale dello “**stato di salute**” di un manufatto è necessario **identificare** i **materiali** e le **tecniche costruttive**, individuare le **fasi costruttive** e di **trasformazione**, definire le **alterazioni** nei vari materiali, individuare **lesioni** e **dissesti**.

Il percorso metodologico prevede:

## 1. CAUSE GENERALI DI DEGRADO

(intrinseche ed estrinseche)

## 2. MECCANISMI DI DEGRADO

(alterazioni fisiche e chimiche)

## 3. TIPOLOGIE DI DEGRADO NELL'EDIFICIO

(degrado superficiale e strutturale)

## 4. INDAGINI E PROVE

(prove non distruttive, moderatamente distruttive e distruttive in edifici in C.A. e muratura)

# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

## 1. CAUSE GENERALI DI DEGRADO

### INTRINSECHE

- **Sito**  
mancato riferimento al contesto ambientale;
- **Difetti di progettazione**  
errori strutturali, distributivi, scelta dei materiali;
- **Cantiere**  
accuratezza realizzativa.

### ESTRINSECHE

- **Cause naturali ad azione prolungata nel tempo**  
umidità ed infiltrazioni;
- **Cause naturali ad azione improvvisa nel tempo**  
fattori metereologici, idrogeologici, terremoti;
- **Cause antropiche**  
mancanza di manutenzione.

# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

## 1. CAUSE GENERALI DI DEGRADO

### INTRINSECHE

- **Sito**

Nel progetto, il **mancato riferimento al contesto ambientale**, e quindi l'assenza di **un'adeguata previsione progettuale ed esecutiva**, possono contribuire all'insorgere di importanti fenomeni di **degrado intrinseco** del manufatto.

I fattori da considerare sono:

- Le condizioni meteorologiche e climatiche;
- La morfologia e orografia del sito;
- La composizione geologica del terreno.

# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

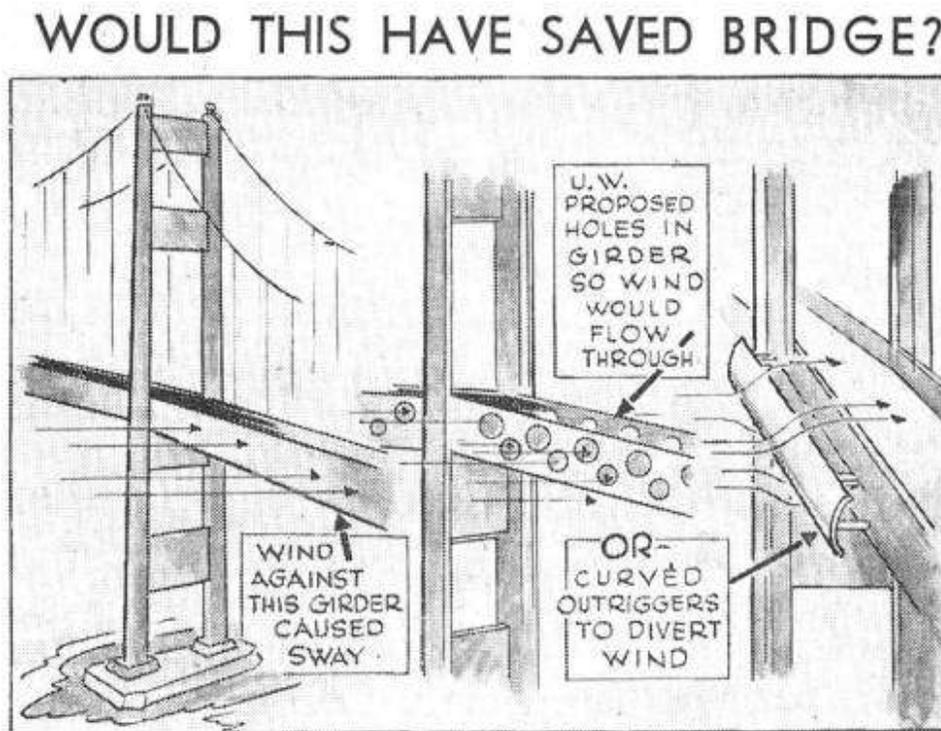
## 1. CAUSE GENERALI DI DEGRADO

### INTRINSECHE

- Difetti di progettazione

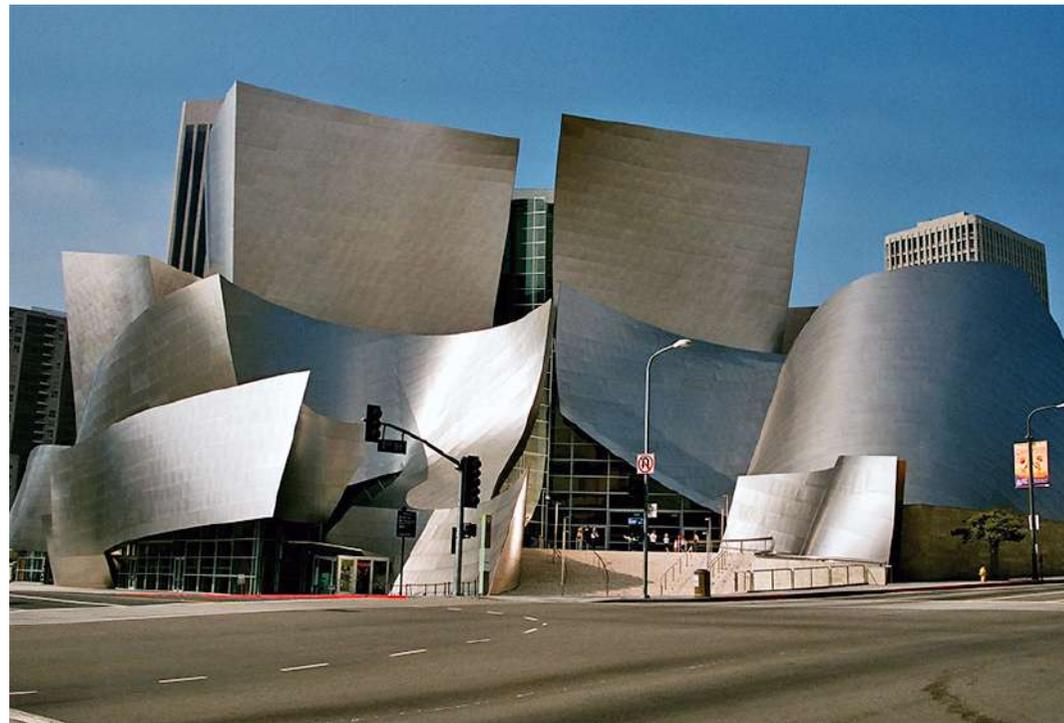
1. Errori di carattere tecnologico/strutturale (il **sottodimensionamento** della struttura resistente, la realizzazione di elementi spingenti non adeguatamente contrastanti);
2. Scelta di **materiali inadeguati** alla funzione dell'edificio; abbinamento di materiali non compatibili;
3. Inadeguatezza tipologica e impiantistica possono agire sia come fattori di degrado diretti, provocando danni al fabbricato, sia indiretti, postulando successivi interventi di adeguamento, tali da alterare la consistenza originale del manufatto.

# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



Tacoma Bridge, Stati Uniti, 1940

# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



Walt Disney Concert Hall, Gehry. Los Angeles, 1991

## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

## 1. CAUSE GENERALI DI DEGRADO

### INTRINSECHE

- **Cantiere**

L'esecuzione dell'opera effettuata in maniera non appropriata può essere causa di degrado intrinseco dell'opera.

## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

## 1. CAUSE GENERALI DI DEGRADO

### ESTRINSECHE

- **Cause naturali ad azione prolungata nel tempo**  
Umidità ed infiltrazioni.

## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



Distacco di porzioni d'intonaco a causa di infiltrazioni d'acqua.

## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

## 1. CAUSE GENERALI DI DEGRADO

### ESTRINSECHE

- **Cause naturali ad azione improvvisa nel tempo**  
Fattori metereologici, idrogeologici, terremoti.

## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

## 1. CAUSE GENERALI DI DEGRADO

### ESTRINSECHE

- **Cause antropiche**  
Mancanza di manutenzione, interventi agli impianti.

## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

## 2. MECCANISMI DI DEGRADO

### ALTERAZIONI FISICHE

I meccanismi di alterazione fisica possono essere presenti alla scala **macroscopica** (attraverso meccanismi che riguardano la **solidità strutturale** dell'elemento coinvolto) o alla scala **microscopica** (quando le sollecitazioni agenti sul singolo elemento resistente possono risultare da «**stress interni**», conseguenti ad alterazioni meccaniche, termiche, tensioni provenienti da cicli di gelo-disgelo, etc.)

### ALTERAZIONI CHIMICHE

Comportano la **profonda modifica della composizione del materiale**.

L'alterazione chimica si verifica prevalentemente in presenza dell'acqua. In modo particolare, l'acqua proveniente dall'esterno, di condensa o piovana, è veicolo per i fenomeni di alterazione chimica.

# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

## 3. TIPOLOGIE DI DEGRADO NELL'EDIFICIO

### SUPERFICIALE

- **fisico**  
gelività, cristallizzazione sali, erosione alveolare, polverizzazione;
- **chimico**  
carbonatazione, attacco di solfati, solfuri e cloruri, reazione alcali-aggregati;
- **biologico**  
presenza di micro e macro organismi (batteri e funghi).

### STRUTTURALE

I fenomeni di dissesto strutturale si manifestano generalmente in forma di quadri fessurativi e deformazioni - più o meno pronunciate - degli elementi costruttivi (strutturali e non).

In genere si distinguono:

- **dissesti delle fondazioni;**
- **dissesti delle strutture in elevazione;**
- **dissesti delle strutture orizzontali.**

# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

## 3. TIPOLOGIE DI DEGRADO NELL'EDIFICIO

### SUPERFICIALE

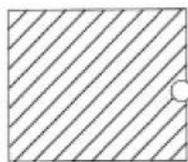
- **fisico**  
gelività, cristallizzazione sali, erosione alveolare,  
polverizzazione;

# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

La **gelività** prevede la formazione dei cristalli di ghiaccio nei pori più grandi del calcestruzzo (mentre è interdetta in una fase iniziale in quelli più piccoli, a causa dell'attrazione capillare esercitata dalle pareti sulle molecole d'acqua).

Quando lo spazio del poro grande è saturo, **rimangono alcuni canali in grado di esercitare un'attrazione capillare e di produrre una pressione tale da orientare le diverse molecole d'acqua contenute nei capillari più piccoli**, determinando la formazione di nuovi cristalli.

La **variazione di pressione determina l'insorgere di stress all'interno del materiale**. Le tensioni interne generano la frantumazione del materiale in corrispondenza della superficie esterna.



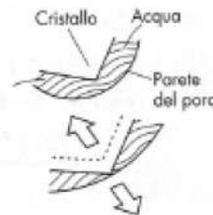
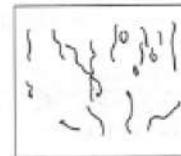
Materiale bagnato



Porzione del materiale bagnato



Formazione del ghiaccio

Richiamo dell'acqua per capillarità  
crescita del cristallo  
tensioni interne

Fratturazione del materiale

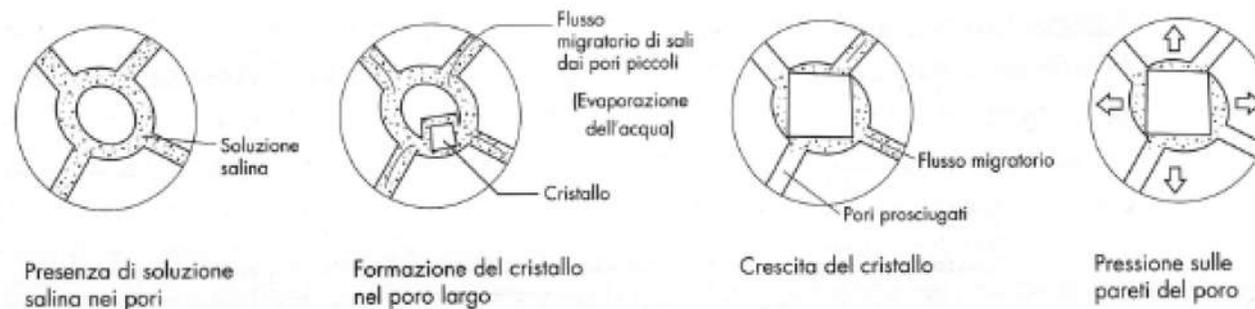


## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

Il fenomeno della **crystallizzazione dei sali** nelle strutture in calcestruzzo è legato principalmente alla presenza di **acqua**.

Superata la condizione di **saturatione**, i sali cristallizzano all'interno dei pori provocando tensioni che possono portare a fratture nel materiale. La cristallizzazione genera una pressione sulle pareti dei capillari che è proporzionale al tipo di sale, alla sua concentrazione e alla dimensione del cristallo, ma inversamente proporzionale alla concentrazione di saturazione e al raggio del poro.

L'**evaporazione** dell'acqua permette la **crystallizzazione dei sali trasportati** e il danneggiamento del materiale; gli effetti dovuti alla cristallizzazione si differenziano con la velocità di evaporazione dell'acqua (veloce: meccanismo di SUBFLORESCENZA; lenta: meccanismo di EFFLORESCENZA).



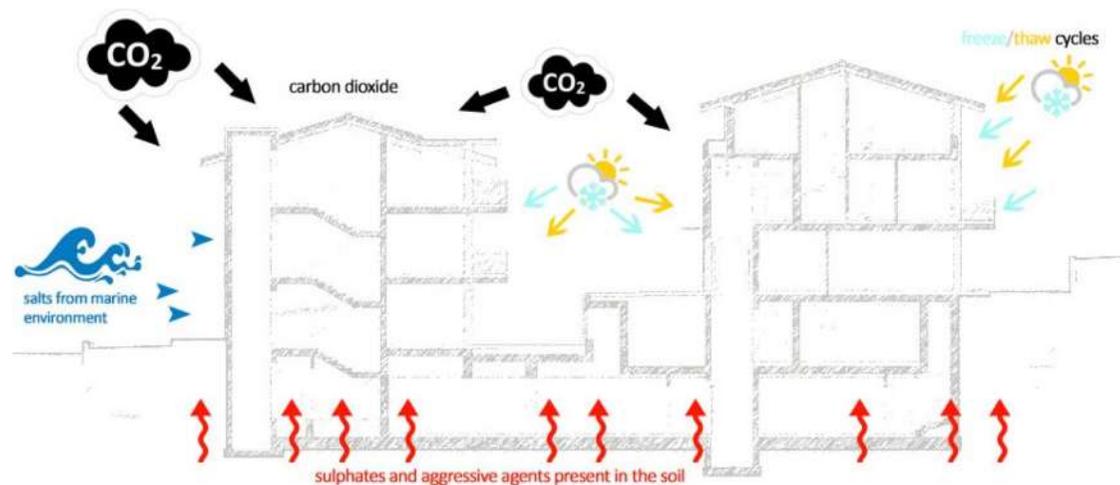
# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

## 3. TIPOLOGIE DI DEGRADO NELL'EDIFICIO

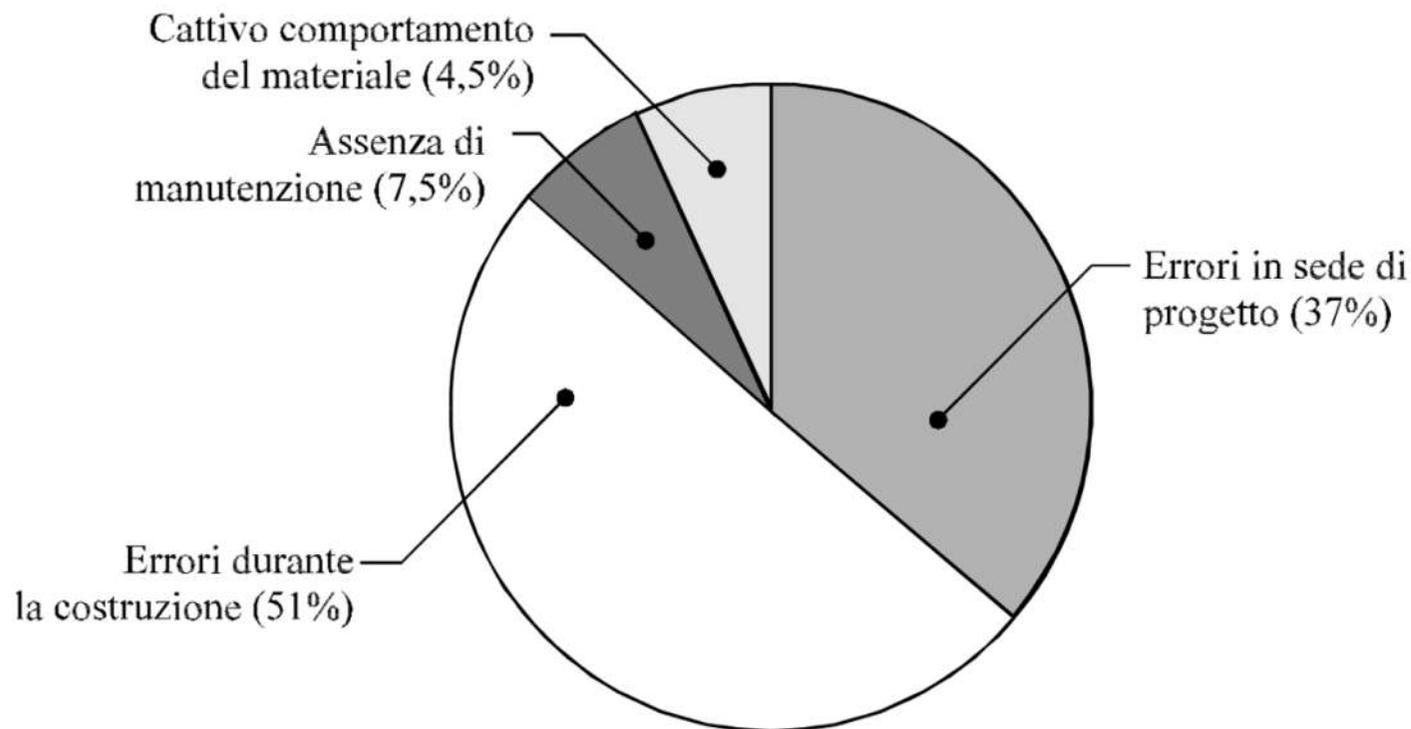
### SUPERFICIALE

- **chimico**

carbonatazione, attacco da parte di solfati, solfuri e cloruri, reazione alcali-aggregati.



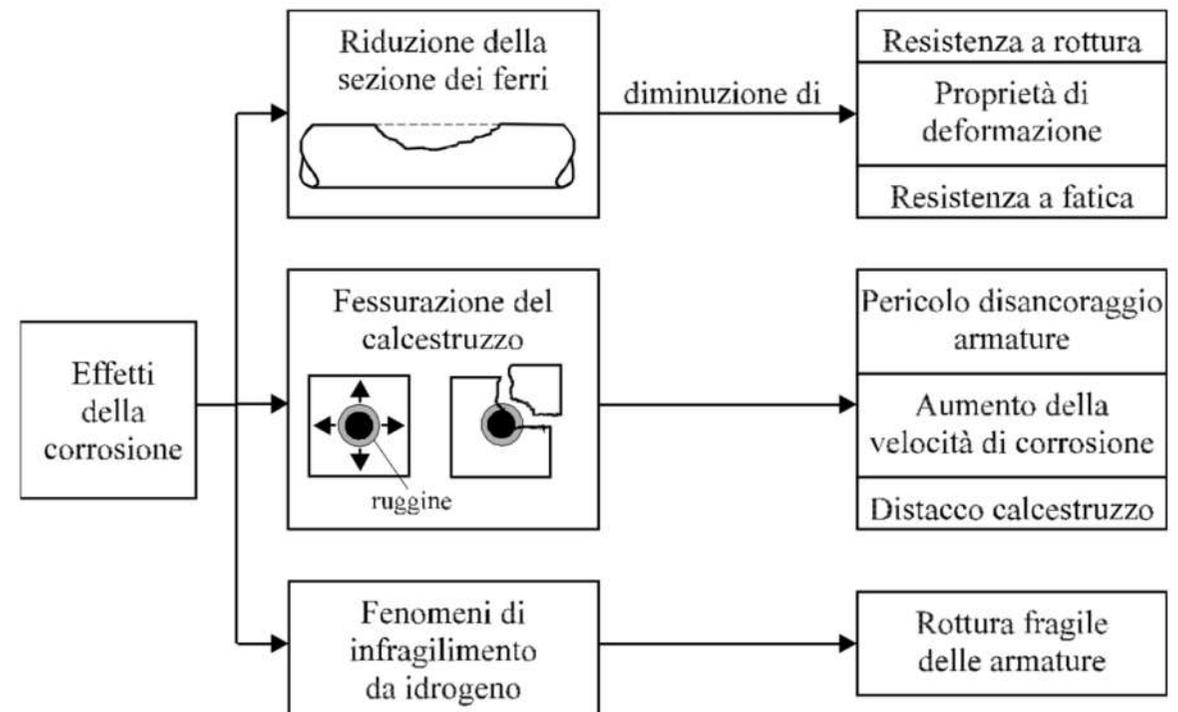
## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



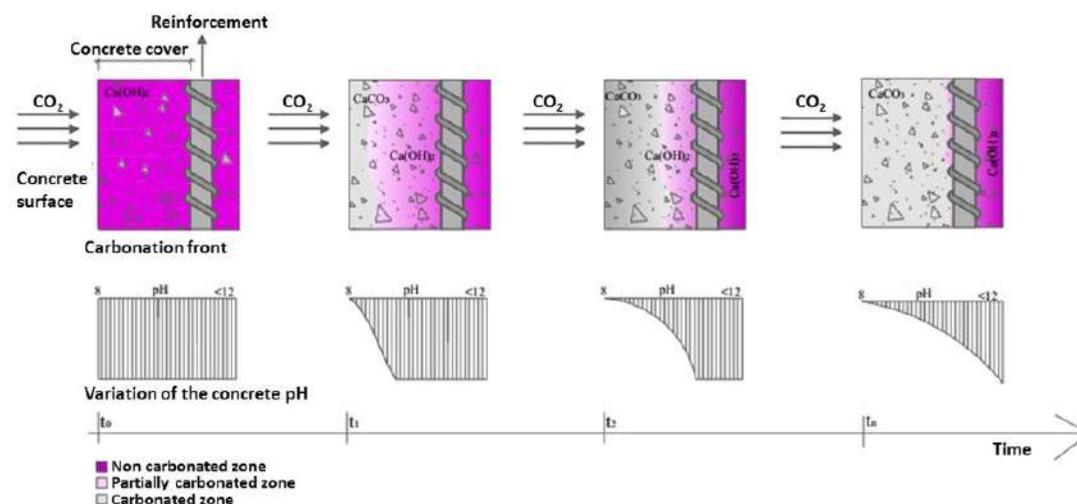
Cause di corrosione su 10000 casi esaminati (Patterson, 1984).

## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

La **carbonatazione** è la causa di degrado più comune delle strutture in calcestruzzo armato. Più il calcestruzzo è poroso e più risulta permeabile all'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ), all'ossigeno ed all'umidità presenti nell'atmosfera. Il fenomeno non comporta di per sé diminuzioni di resistenza nel calcestruzzo, ma diventa estremamente pericoloso per i ferri d'armatura che vengono a trovarsi in un ambiente acido.



# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione



- 1 La  $\text{CO}_2$  (anidride carbonica) inizia a neutralizzare il calcestruzzo.
- 2 Il fronte di carbonatazione si sposta dalla superficie all'interno del calcestruzzo.
- 3 Il fronte di carbonatazione raggiunge i ferri di armatura. In combinazione con acqua e ossigeno si avvia la corrosione dell'acciaio.
- 4 La ruggine occupa un volume molto maggiore rispetto all'acciaio ed esercita quindi una forte pressione sulla copertura in calcestruzzo; questa si spacca lasciando scoperti i ferri di armatura.

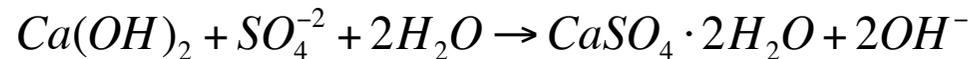
## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

**Attacco da parte dei solfati:** si manifesta quando il manufatto entra in contatto con acque e terreni contenuti solfati, acque marine e ambienti industriali (vapori o gas ricchi di  $SO_2$  e/o  $SO_3$ ).

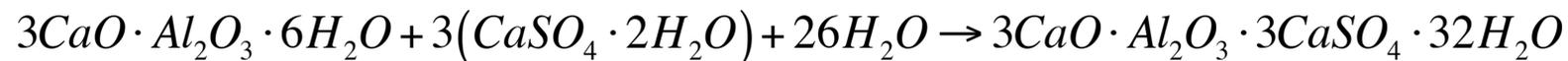
Si possono verificare reazioni chimiche che causano **rigonfiamento del calcestruzzo**, in genere in corrispondenza delle **zone corticali**, con annesso distacco del materiale.

Reazioni chimiche:

1. Con l'idrossido di calcio che porta alla formazione di **gesso biidrato (riduzione di resistenza meccanica):**



2. Con gli alluminati idrati di calcio che provocano la formazioni di **ettringite (aumento di volume solido del calcestruzzo)**

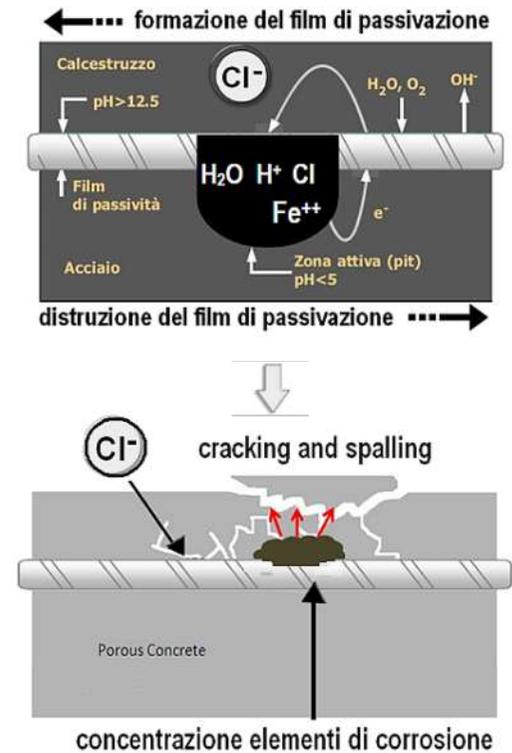


# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

**Attacco da parte dei cloruri:** si manifesta nelle strutture esposte ai sali disgelanti e nelle strutture marine. Quando il *ph* del calcestruzzo scende al di sotto di **6**, gli idrati di calcio presenti nella pasta di cemento possono passare in soluzione con velocità tanto maggiore quanto maggiore è la permeabilità del calcestruzzo (poroso):

I cloruri, in funzione delle condizioni di esposizione, attraversano il calcestruzzo secondo i seguenti meccanismi:

- **diffusione** – in presenza di un gradiente di concentrazione i cloruri entrano nel calcestruzzo (in direzione ortogonale alla superficie di calcestruzzo) attraverso i pori della pasta cementizia saturi di acqua;
- **assorbimento capillare** – quando la superficie di un calcestruzzo non saturo viene a contatto con una soluzione contenente cloruri, tale soluzione è assorbita nel calcestruzzo.
- **permeazione** – riguarda la penetrazione di un liquido a seguito di una differenza di pressione.
- **migrazione** – è il trasporto degli ioni cloruri, carichi elettricamente, sotto l'azione di un campo elettrico. Nelle strutture reali, il trasporto dei cloruri nel calcestruzzo attraverso un copriferro insufficiente, poroso e fessurato, avviene attraverso la combinazione dei meccanismi sopra elencati.



## L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

**Reazione alcali-aggregati:** si manifesta se il calcestruzzo presenta aggregati contenenti alte percentuali di **silice amorfa**. In presenza di ambienti fortemente umidi e di alte temperature, si possono verificare reazioni con gli ioni idrossidi ( $\text{OH}^-$ ) associati agli alcali presenti nel cemento (dando luogo a **prodotti espansivi** che danneggiano il calcestruzzo).

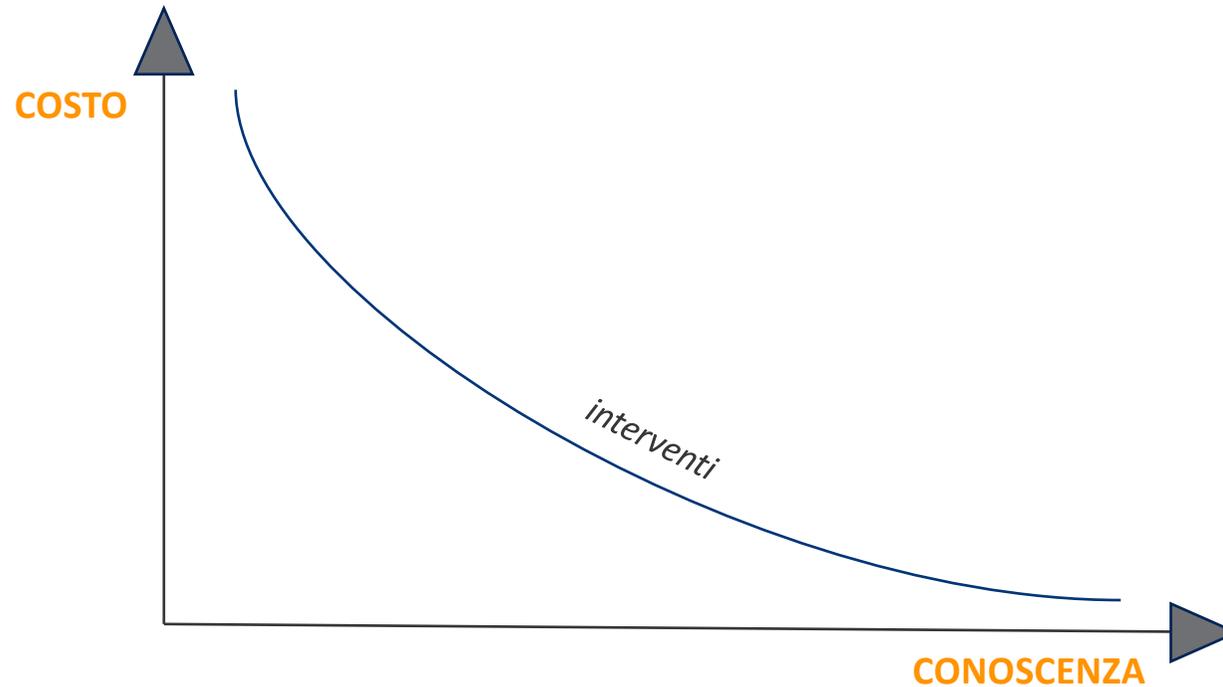
In genere il calcestruzzo si presenta fessurato, con le fessure che possono essere distribuite in modo del tutto casuale sulla superficie dello stesso.

La loro forma e distribuzione è fortemente influenzata dalla presenza delle armature metalliche e dallo stato tensionale del calcestruzzo.



# L'approccio metodologico: conoscenza, prevenzione, manutenzione

La difficoltà ad operare sul costruito consiste nella **non-conoscenza** dello stesso e nella difficoltà ad individuare eventuali cause di **patologie**. Le strutture esistenti, in quanto tali, presentano un elevato grado di incertezza.



# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## 4. INDAGINI E PROVE

Per conseguire un'adeguata conoscenza dell'edificio, è necessario valutare le caratteristiche dei materiali che lo compongono e la loro condizione «di salute».

Ci si può basare sulla documentazione già disponibile, ma è fortemente consigliato effettuare verifiche visive *in situ* e indagini sperimentali.

*La famiglia delle indagini per la diagnostica delle costruzioni esistenti è quella delle così dette **PROVE NON DISTRUTTIVE (PnD)**, che si basano essenzialmente su:*

- **Metodi Meccanici\*** [valori di resistenza e stato di sollecitazione della struttura]
- **Metodi Acustici** [stato di aggregazione del materiale]
- **Metodi Chimici\*** [costituenti microstrutturali del materiale]

*\*Prove semi-distruttive*

# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## 4. INDAGINI E PROVE

Le principali caratteristiche delle tecniche d'indagine non distruttive consistono nel:

- ***Rispetto della consistenza della materia dell'oggetto;***
- ***Lettura «sotto pelle»;***
- ***Possibilità di fornire risultati di tipo qualitativo (presenza e andamento di un fenomeno) e/o di tipo quantitativo (consistenza del fenomeno stesso);***
- ***Flessibilità di impiego in condizioni di normale esercizio.***

L'impiego della diagnostica non distruttiva permette spesso di prevedere elementi e situazioni altrimenti non indagabili, portando così a un notevole risparmio di tempi e costi nella progettazione dell'intervento (che rimane nel campo della manutenzione ordinaria e perde la caratteristica di straordinarietà che troppo spesso interessa il nostro patrimonio).

# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## 4. INDAGINI E PROVE

### PER IL RILIEVO DEI DETTAGLI STRUTTURALI

- Prove pacometriche
- Indagini termografiche ad infrarossi
- Indagini endoscopiche
- Saggi a vista

### PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE

- Prelievo e prove di trazione sulle barre di armatura
- Carotaggio e prove di compressione sul calcestruzzo
- Prove di Pull Out
- Sclerometro, ultrasuoni e metodo combinato SONREB

### PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL COMPORTAMENTO IN ESERCIZIO

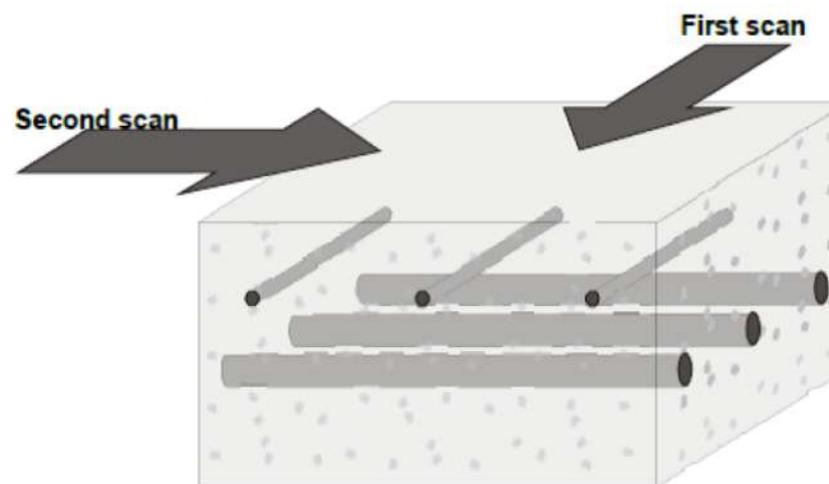
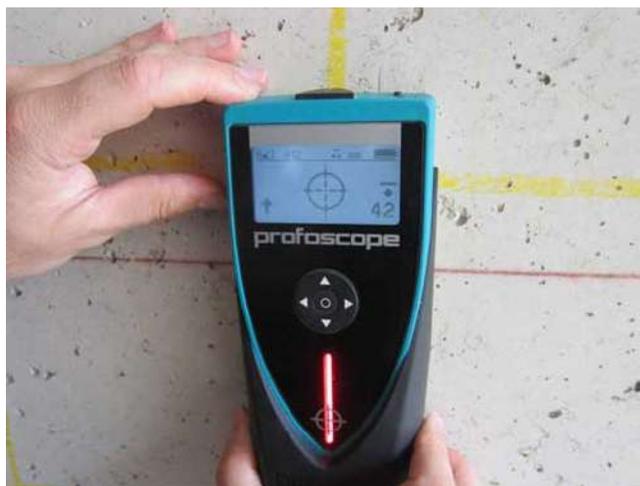
- Prove di carico

# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## RILIEVO DETTAGLI STRUTTURALI - PROVA PACOMETRICA

Il **pacometro** è uno strumento digitale che permette di rilevare la presenza di **elementi metallici** nelle strutture in C.A., misurando le correnti passive indotte dal campo magnetico generato dal ferro.

Permette di determinare la **posizione** delle **barre d'armatura**, lo **spessore** del **copriferro** e, con buona approssimazione, il **diametro** dei ferri stessi. Dal punto di vista operativo si fa scorrere sulla superficie da esaminare la sonda, la quale emette un segnale sonoro nel momento in cui individua la massima presenza di materiale metallico.



# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## RILIEVO DETTAGLI STRUTTURALI - INDAGINE TERMOGRAFICA

La **termografia** è una tecnica diagnostica non invasiva che fornisce la distribuzione delle temperature sulle superfici misurando la radiazione infrarossa emessa dai corpi.

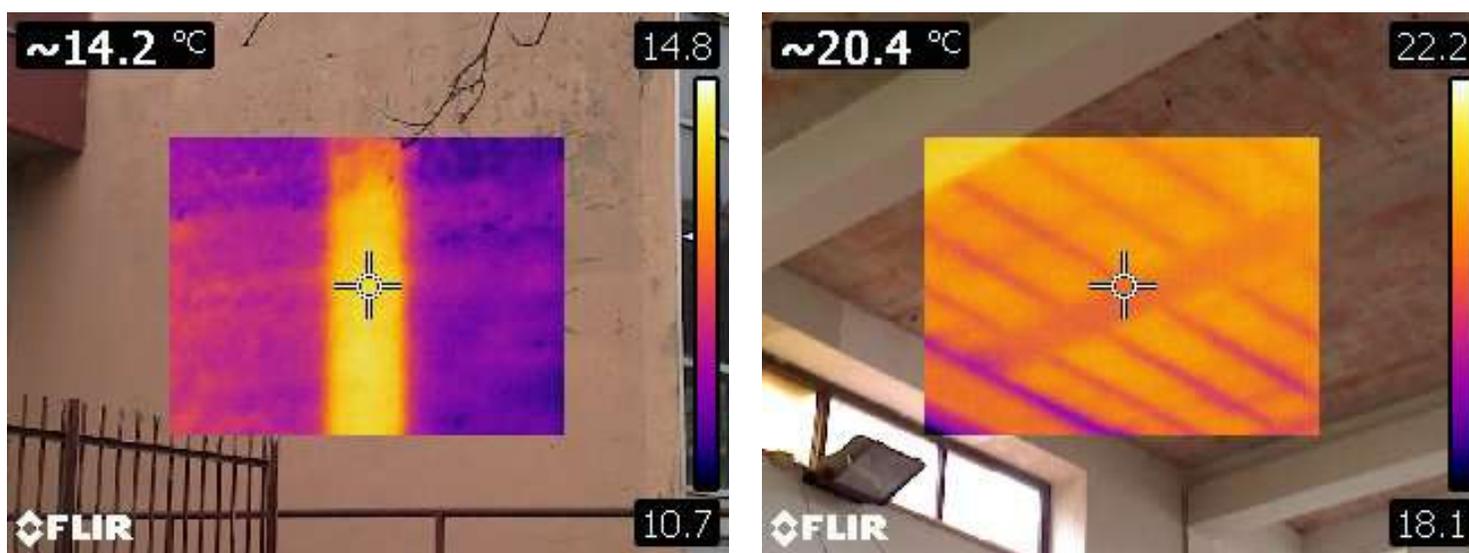


- Permette di interpretare come anomalie o difetti le eventuali differenze di temperatura su di una superficie;
- Permette di effettuare ispezioni senza contatto con le superfici;
- Può essere condotta in condizioni di normale esercizio dei fabbricati, senza l'ausilio di ponteggi.

# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## RILIEVO DETTAGLI STRUTTURALI - INDAGINE TERMOGRAFICA

La **termografia** permette di rilevare la presenza e la posizione di elementi strutturali, di individuare ponti termici, di valutare l'umidità per infiltrazione, di identificare l'orditura dei solai. etc.



Le prove sono condizionate dai fattori climatici al contorno e devono essere soddisfatti determinati requisiti di prova prima di procedere con l'indagine, al fine di ottenere dati utili (temperatura, U.R.)

# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## RILIEVO DETTAGLI STRUTTURALI - INDAGINE ENDOSCOPICA

L'indagine si può classificare come micro-invasiva in quanto l'**endoscopio**, per mezzo di un foro eseguito con un trapano a punta svasata, consente di classificare la tipologia, stratigrafia, consistenza e natura del materiale che costituisce la struttura indagata, attraverso la visualizzazione digitale immediata.

Può essere utile per ispezionare cavità e difetti macroscopici già presenti nella struttura.



L'indagine è di tipo puntuale, ossia fornisce informazioni relative alla zona di ispezione ed è spesso non estendibile, come esito, a tutta la superficie.

# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## RILIEVO DETTAGLI STRUTTURALI - SAGGI ISPETTIVI A VISTA

I **saggi ispettivi a vista** permettono di indagare le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali e dei particolari costruttivi.

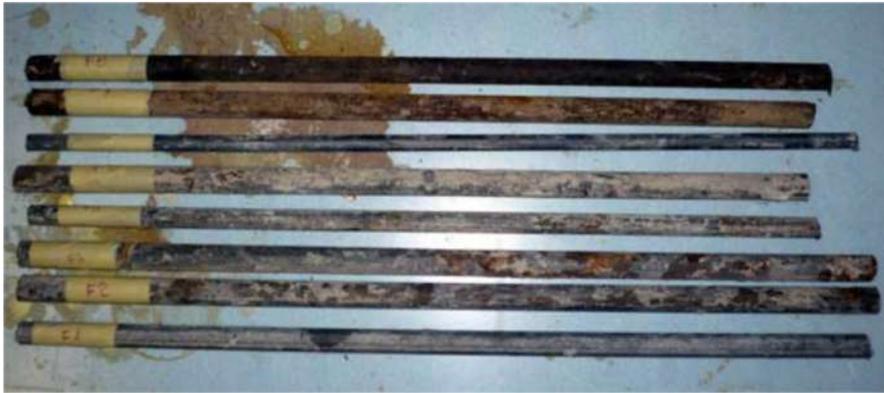
Sono molto utili per determinare lo stato di conservazione dei materiali (calcestruzzo, ferri d'armatura).



# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## PROPRIETÀ MECCANICHE - PRELIEVO E PROVE DI TRAZIONE SU BARRE DI ARMATURA

- I prelievi di barre metalliche di armatura vengono effettuate *in situ* nelle zone meno sollecitate dell'elemento strutturale. La lunghezza di prelievo è calcolata in funzione del diametro delle barre di armatura da prelevare;
- Prova di tipo “distruittivo”: è necessario l'immediato ripristino mediante saldatura di nuovi monconi di armatura nelle zone di prelievo;



- Metodo meno invasivo: determinare la durezza del campione con durometro per metalli (prova Brinell, che permette di ricavare una relazione lineare tra durezza e resistenza meccanica.



# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## PROPRIETÀ MECCANICHE - ESTRAZIONE DI CAROTE IN SITU

- Prelievo di campioni cilindrici (**carote**) di calcestruzzo al fine di valutare la resistenza meccanica del calcestruzzo in opera.
- I rapporti preferenziali **lunghezza  $l$ /diametro  $D$**  sono:  
**2:1** se il risultato di resistenza deve essere paragonato alla resistenza cilindrica;  
**1:1** se il risultato deve essere paragonato alla resistenza cubica.
- Le carote estratte devono essere identificate in modo chiaro ed indelebile, fotografate ed infine opportunamente protette e sottoposte a prova di rottura a compressione (UNI EN 12504-1).



# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## PROPRIETÀ MECCANICHE - ESTRAZIONE DI CAROTE IN SITU

La resistenza misurata sulle carote risente di alcuni fattori che la differenziano da quella che si misurerebbe su un equivalente provino standard:

- posizione del prelievo nell'ambito dell'elemento strutturale (ad es. al piede o alla testa di un pilastro, parallelamente o ortogonalmente alla direzione di getto);
- disturbo che inevitabilmente consegue alle operazioni di prelievo;
- dimensioni delle carote (ad es. nel caso di micro-carote o con  $l/D$  diverso da 2).

Tali fattori tendono in generale a far sottostimare la resistenza  $f_c$ . Per correggere ciò si fa ricorso a coefficienti correttivi opportunamente calibrati:

$$f_c = f_{core} \cdot F_{l/d} \cdot F_d$$

- $f_{core}$  : è la resistenza scaturita dalla prova di compressione del campione;
- $F_{l/d}$  : correzione per snellezza del provino, pari a:  $0.83 + (1 - 0.83) (l/D - 1)$
- $F_d$  : correzione per il disturbo, pari a  $1/0.85$ .

# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## PROPRIETÀ MECCANICHE - ESTRAZIONE DI CAROTE IN SITU

- La determinazione della **profondità di carbonatazione**, che deve essere effettuata immediatamente dopo il prelievo del campione, avviene spruzzando la soluzione di **fenolftaleina** sul provino;
- Il calcestruzzo carbonatato non modifica il suo colore, mentre quello non ancora raggiunto dalla carbonatazione assume il tipico colore rosso magenta del reagente in ambiente alcalino.



# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## PROPRIETÀ MECCANICHE - PROVA DI PULL OUT

La prova consente una valutazione della resistenza media a compressione del calcestruzzo attraverso l'inserimento e la successiva estrazione di tasselli metallici ad espansione (standardizzati).

La forza necessaria all'estrazione del tassello standardizzato viene ricavata dalla lettura della pressione misurata dal martinetto.

La correlazione tra la forza d'estrazione **F**, ricavata dalla pressione misurata al martinetto, e la resistenza cubica **R<sub>c</sub>** del calcestruzzo è del tipo:

$$R_c = A + B \cdot F$$

in cui i coefficienti **A** e **B** sono opportunamente calibrati mediante le prove di compressione su carote estratte.

N.B.: in ogni area di misura si devono effettuare almeno 3 estrazioni.



# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## PROPRIETÀ MECCANICHE - SCLEROMETRO

Lo **sclerometro** è uno strumento utilizzato per effettuare prove non distruttive, stimando la resistenza meccanica sperimentale attraverso l'utilizzo di curve di correlazione in rapporto all'entità del rimbalzo misurato.



- pulire la superficie da esaminare e individuare i punti di misura (almeno 9);
- posizionare lo strumento perpendicolarmente alla superficie da investigare, aumentando gradualmente la pressione sul martello fino a produrre l'urto;
- dopo l'urto, leggere l'indice di rimbalzo su una scala graduata e la media di tutte le misure effettuate;
- utilizzando opportune curve di correlazione si ricava la resistenza a compressione cubica del calcestruzzo

Velocità di prova ed economicità sono i punti forti, ma l'interpretazione dei risultati è spesso incerta (manca una stretta relazione fisica tra durezza superficiale e resistenza del calcestruzzo).

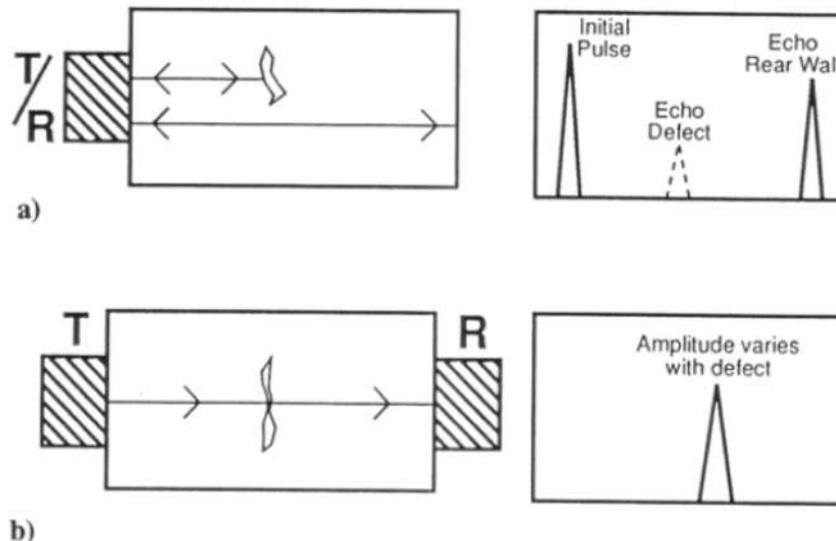
Inoltre, i calcestruzzi carbonatati danno sempre una sovrastima della resistenza.

# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## PROPRIETÀ MECCANICHE - ULTRASUONI

Prove non distruttive basate sulla misurazione del tempo di propagazione delle onde ultrasoniche attraverso l'elemento strutturale. In base alla propagazione sono definite tecniche «per riflessione» (a) o «per trasmissione» (b).

Sono utili per determinare l'indice dei vuoti, la presenza di fessure ed altri difetti.



I risultati non sono significativi se si testano materiali a grana grossa che disperdono le onde incidenti

# La diagnostica delle costruzioni esistenti in calcestruzzo armato: PnD

## PROPRIETÀ MECCANICHE - METODO SONREB

Uso combinato di due prove (sclerometrica + ultrasuoni) che consente di valutare la resistenza a compressione del calcestruzzo  $R_c$  confrontando la **velocità ultrasonica  $V$  (SONIC)** con il valore della durezza al rimbalzo **indice di rimbalzo  $S$  (REBOUND)** di uno sclerometro.

$$R_c = a S^b V^c$$

$R_c$  è la resistenza cubica a compressione in  $[N/mm^2]$ ,  $S$  è l'indice sclerometrico e  $V$  è la velocità ultrasonica in  $[m/s]$ ;  $a$ ,  $b$  e  $c$  sono parametri di correlazione adimensionali da determinare con le misure sperimentali.



*Tab. IV – Correlazioni Metodo SonReb (Resistenze in MPa – Velocità in m/sec).*

Correlazione	Autore
$R = 7.876 \cdot 10^{-19} V^{4.636} I^{1.747}$	Lenzi, Versari, Zambrini (2010)
$R = 7.695 \cdot 10^{-11} V^{2.60} I^{1.40}$	RILEM – NDT4 (1993)
$R = 1.2 \cdot 10^{-9} V^{2.446} I^{1.058}$	Di Leo e Pascale (1994)
$R = 1.51 \cdot 10^{-7} V^{0.8084} I^{1.8815}$	Masi (2005)
$R = 8.06 \cdot 10^{-8} V^{1.85} I^{1.246}$	Gasparik (1992)
$R = 0.9 \cdot I + 0.022 \cdot V - 94$	Tanigawa, Baba, Mori

**Grazie**

**Prof.ssa Luciana Restuccia**



**Politecnico  
di Torino**

Dipartimento  
di Ingegneria Strutturale,  
Edile e Geotecnica

