
Ripristino e consolidamento del calcestruzzo e di strutture esistenti in cemento armato: dalla diagnosi alle soluzioni di intervento.

Al fine di garantire la durabilità delle strutture in cemento armato è fondamentale la conoscenza dei meccanismi di degrado e dei fattori che influenzano tale fenomeno. Vediamo come, grazie al contributo tecnico del Gruppo G&P intech, è possibile procedere al ripristino e al restauro di tali strutture e quali tecnologie è più opportuno adottare.

Vincenzo de Martino

Valutazione della sicurezza degli edifici esistenti NTC 18

Attualmente la verifica delle costruzioni esistenti, identificata come "Valutazione della Sicurezza", è disciplinata dal paragrafo **8.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018** e ha essenzialmente lo scopo di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso); (Beni Culturali, strutture strategiche);
- sia necessario aumentare la sicurezza strutturale mediante interventi locali, di miglioramento e/o di adeguamento sismico.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi delle costruzioni esistenti devono tenere conto, inoltre, dei seguenti aspetti della costruzione:

- lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;
- difetti insiti ma non palesi di impostazione e di realizzazione;
- azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;
- degrado e/o modifiche significative, rispetto alla situazione originaria.

Pertanto, è necessario conoscere la geometria e i particolari costruttivi, le proprietà meccaniche dei materiali e dei terreni ed i carichi permanenti agenti sulla struttura.

Infine, si fa notare che la valutazione della sicurezza degli edifici esistenti deve essere effettuata in funzione di due parametri introdotti dalle NTC2018 che rappresentano il confronto tra l'azione sopportabile della struttura esistente e quella richiesta per il nuovo:

- ζ_E definito come il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione sul medesimo suolo e con le medesime caratteristiche
- ζ_V definito come il rapporto tra il valore massimo del sovraccarico verticale variabile sopportabile dalla parte i-esima della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.



TI ASPETTA
STAND C15
NUOVO PADIGLIONE

Con importanti novità per le **tecnologie antisismiche** e relativi **software di calcolo**

FRP SOFTWARE
FRP NODE
FRCM WALL
CRM WALL

SAIE
Bari, 19/21 ottobre 2023

Indagini diagnostiche per la caratterizzazione dei materiali per le strutture esistenti in c.a.

Una conoscenza approfondita dello stato di fatto dell'opera e dei suoi materiali costituisce la base per una valutazione della sicurezza e per eventuali interventi.

In particolare, le indagini diagnostiche sul calcestruzzo hanno lo scopo di determinare il valore della resistenza alle sollecitazioni e l'eventuale stato di degrado presente.

Relativamente alla caratterizzazione dei materiali, la Circolare Esplicativa al DM 17/01/2018 (§ C8.5.3.2) distingue **3 livelli di prova**:

- **prove limitate** che prevedono un numero limitato di prove in-situ o su campioni, impiegate per completare le informazioni sulle proprietà dei materiali, siano esse ottenute dalle normative in vigore all'epoca della costruzione o dalle caratteristiche nominali riportate sui disegni costruttivi o nei certificati originali di prova;
- **prove estese** che consistono in prove in-situ o su campioni più numerose rispetto alle prove limitate e finalizzate a fornire informazioni in assenza sia dei disegni costruttivi, sia dei certificati originali di prova o quando i valori ottenuti con le prove limitate risultino inferiori a quelli riportati nei disegni o sui certificati originali;
- **prove esaustive** che prevedono prove in-situ o su campioni più numerose rispetto alle prove estese e finalizzate a ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, sia dei certificati originali di prova, o quando i valori ottenuti dalle prove, limitate o estese, risultino

inferiori a quelli riportati sui disegni o nei certificati originali, oppure nei casi in cui si desideri una conoscenza particolarmente accurata.

Per numero e localizzazione delle prove in situ in base al livello di conoscenza richiesto si dovrà pertanto considerare quanto previsto nelle NTC e cioè la combinazione degli effetti quali l'analisi storico-critica, la documentazione progettuale disponibile e il rilievo geometrico. Inoltre, è importante eseguire verifiche preliminari della sicurezza statica e della vulnerabilità sismica della struttura al fine di identificare ulteriori prove in situ.

Le prove devono identificare per il calcestruzzo la resistenza e il modulo elastico mentre per l'acciaio lo snervamento, la rottura e l'allungamento.

Una premessa fondamentale a tutto quanto si dirà nel seguito è che **un'errata o non perfetta esecuzione delle prove può influenzare significativamente i risultati dell'indagine al punto da compromettere la validità delle valutazioni sulla sicurezza dell'opera e delle decisioni progettuali**, a partire da quella principale, riguardante la sua conservazione o la demolizione.

Non è superfluo sottolineare che rispetto a quest'ultimo punto, una cattiva esecuzione delle indagini conoscitive dei materiali e della struttura possono condurre a incrementi di spesa ingiustificati e, nel caso in cui tale spesa sia a carico dello Stato, **a un danno erariale**.

In funzione della maggiore o minore invasività, le **prove** si suddividono in **distruttive** e **non distruttive**, suddivise a loro volta in base alla tipologia strutturale (calcestruzzo armato o muratura).

Le **prove distruttive** (PD), fondamentali per la caratterizzazione meccanica dei materiali, implicano l'asportazione localizzata del materiale il che comporta un danneggiamento sugli elementi indagati e, quindi, necessita di cautela e di personale specializzato sia per la loro realizzazione sia per il conseguente ripristino strutturale. Occorre poi **particolare attenzione e cura nella pianificazione e interpretazione dei risultati**, al fine di ottimizzare il numero di prove necessarie in relazione al livello di conoscenza da conseguire.

Tra le principali **prove distruttive** su costruzioni di calcestruzzo armato vi è il **carotaggio** che consiste nel prelevare dalla struttura dei provini normalizzati affinché siano determinate le caratteristiche meccaniche (resistenza a compressione per schiacciamento) e chimico-fisiche (composizione degli inerti, qualità del conglomerato cementizio). La misura della resistenza cilindrica del calcestruzzo correlata alla resistenza cubica è ottenuta tramite la formula:

$$R_c = \frac{f_c}{0,83}$$

dove f_c , rapporto altezza/diametro, è pari a 2.

L'estrazione dei campioni avviene attraverso una carotatrice, ovvero una macchina utensile portatile in grado di estrarre dei campioni cilindrici di profondità e diametro (solitamente Ø 100 mm) scelti in base alle dimensioni degli inerti.

Altri metodi di prove distruttive, per calcestruzzo e acciaio, sono:

- prove di **pull off** per determinare la resistenza a trazione del calcestruzzo, necessaria per l'impiego di sistemi FRP (> 0,9 MPa);

- prove di **trazione su barre di armatura d'acciaio** estratte dalla struttura (NTC) con prelievo da elementi poco sollecitati a trazione e lunghezza della barra pari a 450 mm;

Le **prove non distruttive** (PnD), invece, determinano la resistenza per via indiretta, attraverso la misura di parametri ad essa correlata, **senza arrecare sostanziali disturbi ai materiali e alla struttura**. Essendo un metodo indiretto, quindi, **è però importante calibrare i risultati su un adeguato numero di indagini distruttive**.

I principali metodi di prova non distruttivi sono:

- prova **pacometrica** che consiste nell'identificare la presenza di armature negli elementi strutturali in cemento armato (travi, pilastri, pareti);
- prova con **sclerometro** finalizzata ad ottenere una stima rapida della resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo mediante la valutazione della durezza superficiale del materiale;
- prova **ultrasonica** basata sulla misura della velocità di propagazione di ultrasuoni e consiste nello studio della propagazione di onde elastiche longitudinali all'interno del calcestruzzo;
- prova di **estrazione** (pull-out) consiste nel determinare la resistenza del calcestruzzo e nel fornire informazioni sulla sua omogeneità, densità e consistenza;
- prova **SonReb** volta a stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo in situ riducendo al minimo le indagini distruttive;
- prove **georadar** che consentono di rappresentare parametri fisici bi-tridimensionali evidenziando particolari caratteristiche dei volumi investigati (presenza di metalli, cavità, tubazioni, ecc.);
- prove di **carico** (NTC) le quali consentono di determinare il comportamento elastico di solai e scale. Il carico applicato deve indurre le massime sollecitazioni di esercizio "per combinazioni rare" e deve essere preferibilmente uniformemente distribuito;

Altre prove **PnD**, meno indicative per il tema in esame, sono quelle **tomografiche, di caratterizzazione dinamica e termografiche**.



Azioni e cause di degrado del calcestruzzo e dell'acciaio

I fattori che possono provocare il degrado del calcestruzzo sono, come detto inizialmente, di diversa natura ma possono essere comunque ricondotti a tre categorie:

- aggressioni di tipo chimico;
- aggressioni di tipo fisico;
- aggressioni di tipo meccanico.

Tra le **cause di natura chimica** che portano al degrado del calcestruzzo si cita l'**aggressione da anidride carbonica** che può manifestarsi in due diversi modi. Per opere esposte all'aria si verifica la carbonatazione del calcestruzzo, mentre nelle opere idrauliche s'instaura il fenomeno del dilavamento della pasta cementizia che consiste nell'asportazione di matrice cementizia dovuta ad un'azione meccanica dell'acqua sul calcestruzzo. In particolare il fenomeno della **carbonatazione** è dovuto alla penetrazione della CO_2 all'interno del calcestruzzo. Solitamente un calcestruzzo sano ha un pH maggiore di 13 (ambiente di tipo basico) e in tali condizioni sui ferri di armatura si crea un film protettivo (passivante) il quale evita il passaggio di ossigeno e di umidità che ne impedisce la corrosione. Quando però il pH risulta inferiore a 11, il film passivante viene neutralizzato lasciando così i ferri esposti all'aggressione dell'ossigeno e dell'umidità presenti nell'aria. In queste condizioni si innesca il processo di corrosione delle armature che, aumentando di volume, portano all'espulsione del copriferro. Una volta che il calcestruzzo è degradato il deterioramento dei ferri sarà sempre più veloce in quanto si creeranno vie di accesso più facili per ossigeno e umidità. In definitiva si può asserire che il fenomeno della carbonatazione è dannoso solo per le strutture armate per i motivi sopra menzionati, mentre non è determinante in quelle realizzate in calcestruzzo non armato.



Fenomeno della carbonatazione

Altri fattori che possono causare degrado nelle strutture in cls possono essere l'**aggressione da cloruri** che penetrando all'interno della struttura in calcestruzzo, raggiungono i ferri d'armatura ed eliminano il film protettivo che ricopre i ferri d'armatura, l'**aggressione da solfati** e la **reazione alcali-aggregati** che si

manifesta nella parte corticale del cls, mostrando sulla sua superficie delle micro o macro fessurazioni, oppure rialzando una piccola porzione di calcestruzzo al di sopra dell'aggregato siliceo reattivo (pop-out), quest'ultimo fenomeno è possibile riscontrarlo nelle pavimentazioni industriali.



Quadro fessurativo dovuto a reazione alcali aggregati



Corrosione dovuta all'attacco dei cloruri

Tra le **aggressioni di tipo fisico** si ricordano gli effetti di **gelo e disgelo** sia sulla matrice cementizia che sugli aggregati, le **piogge acide**, le **alte temperature** dovute ai danni provocati dal fuoco, il **ritiro plastico** che avviene quando il calcestruzzo, ancora in fase plastica, cede parte della sua umidità all'ambiente esterno causando così una contrazione, e il **ritiro igrometrico** dovuto alla cessione di umidità all'ambiente con un U.R. bassa lungo tutto l'arco della vita utile.



Lesioni da ritiro plastico



Effetto di gelo/disgelo

Infine, le **aggressioni di tipo meccanico** sono le seguenti:

- l'**abrasione** fenomeno che si instaura quando un materiale viene investito ripetutamente da particelle provenienti da un altro corpo più duro;
- gli **urti**;

- l'**erosione** causata dal vento, dall'acqua o dal ghiaccio il che provoca l'asportazione di materiale dalla superficie
- la **cavitazione** che si presenta laddove c'è la presenza di acqua in movimento.

Classi d'esposizione

Al fine di garantire la **durabilità ed evitare fenomeni di degrado nelle strutture in calcestruzzo armato**, è necessario in fase di progettazione considerare attentamente l'ambiente in cui queste saranno realizzate e messe in opera.

Infatti, secondo le norme **UNI-EN 206-1** (*Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità*) e **UNI 11104:2004** (*Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206*), il livello di rischio per una determinata opera dipende dall'ambiente in cui la stessa è esposta. Tale Norma individua 6 classi d'esposizione, per ognuna delle quali vengono date indicazioni per la progettazione, confezionamento e messa in opera del calcestruzzo.

Classe di esposizione	Ambiente	Tipo di struttura coinvolta	Sottoclassi
X0	Nessun rischio di corrosione (interni con U.R. bassa)	Non armata e armata	1
XC	Corrosione delle armature promosso dalla carbonatazione	Armata	4
XD	Corrosione delle armature promossa dai cloruri esclusi quelli presenti in acqua di mare	Armata	3
XS	Corrosione delle armature promossa dai cloruri dell'acqua di mare	Armata	3
XF	Degrado del calcestruzzo per cicli di gelo-disgelo	Non armata e armata	4
XA	Attacco chimico del calcestruzzo (incluso quello promosso dall'acqua di mare)	Non armata e armata	3

Tabella 1 - Classi di esposizione secondo la UNI-EN 206

Interventi per il ripristino/recupero del calcestruzzo e dei ferri d'armatura

Sempre più spesso si parla di recupero. Infatti negli ultimi anni, ogni operatore del settore deve confrontarsi con il patrimonio edilizio esistente che necessita di interventi di ripristino e successivamente di rinforzo strutturale specialmente quando si parla di calcestruzzo la cui durabilità è influenzata da molteplici fattori come abbiamo visto nei paragrafi precedenti.

Pertanto in molti si chiedono quali siano e come scegliere le tecniche e le soluzioni di intervento più consone a seconda del manufatto su cui si interviene.

Di seguito si riportano nel dettaglio le principali modalità di intervento proposte dal **Gruppo G&P intech** specializzato nell'ambito del ripristino e del rinforzo strutturale antisismico di edifici esistenti in calcestruzzo armato e muratura.

1. Il primo passo da compiere è la **valutazione dello stato di deterioramento** del calcestruzzo esistente, con determinazione dei fenomeni di corrosione dell'acciaio di rinforzo, profondità di carbonatazione e resistenza di adesione della superficie del calcestruzzo.
2. Successivamente si passa alla **preparazione delle superfici** in funzione delle valutazioni sopra indicate con **rimozione dello strato superficiale di calcestruzzo carbonatato** e/o debolmente adeso, a bassa resistenza, al fine di ottenere una superficie ruvida che sia in grado di supportare uno strato di malta per la riparazione; la **demolizione** della superficie degradata del calcestruzzo (anche delle malte di ripristino applicate) **può essere effettuata** per mezzo di **idrodemolizione** e/o **idrosabbatura fino a scoprire i ferri d'armatura** con seguente pulizia della superficie da polvere, sporco, materiali incoerenti, olii, grassi, ecc.. mediante lavaggio con acqua in pressione.
3. Vi è poi una fase di **pulitura della superficie dei ferri** mediante spazzolatura a secco e/o sabbatura
4. **Applicazione di passivante** protettivo bi-componente **FERROSAN** della G&P intech sui ferri d'armatura che garantisce una perfetta adesione alle armature metalliche, al cls e alla malta e offre un' ottima resistenza ai cloruri, solfati e al passaggio di CO₂. In presenza di forti riduzioni delle sezioni d'acciaio, valutare la possibilità di **integrare l'armatura esistente**.



5. **Iniezioni di resine** per il consolidamento di eventuali fessurazioni con sigillatura delle stesse (fino a 3 mm) mediante stucco epossidico **RESIN 90** della G&P intech, inserimento degli iniettori ogni 50 cm circa, esecuzione dell'iniezione con resina epossidica fluida **RESIN INJECT SF** della G&P intech.



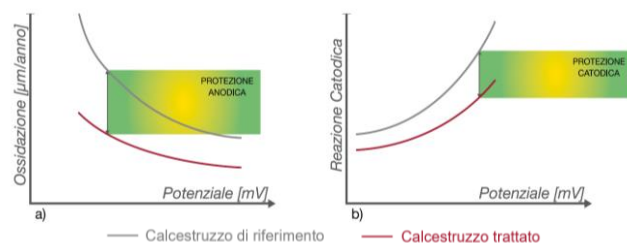
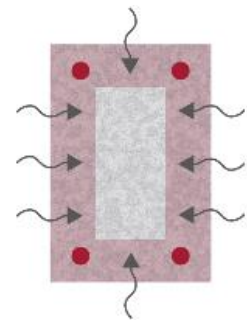
6. **Ricostruzione delle sezioni e delle parti ammalorate** con malte apposite secondo il seguente procedimento:

- eventuale applicazione di primer **RESIN 78** allo scopo di migliorare l'adesione;
- applicazione di **malta cementizia monocomponente CONCRETE ROCK V**, fibrorinforzata, antiriro e tixotropica; in alternativa **malta cementizia bi-componente CONCRETE ROCK V2**, per una migliore adesione al supporto
- possibilità, per spessori fino a circa 6-7 cm di impiegare **malte colabili** entro cassero, tipo **CONCRETE ROCK H**, additivate anche con inerti.



7. **Protezione anticarbonatante** del calcestruzzo eseguita secondo il procedimento di seguito riportato:

- **rasatura** con rasante polimerico bicomponente a basso spessore **RASEDIL AS**;
- stesura di **vernice metacrilica RESINCOLOR** in alternativa impiego di vernice bicomponente poliuretana a maggiore elasticità **RESINLAST S**
- **protezione catodica - anodica** con inibitore di corrosione **ROCK MCS**, in grado di penetrare fino alle armature interne grazie alla tensione di vapore delle sue molecole





TI ASPETTA
STAND C15
NUOVO PADIGLIONE

Con importanti novità per le **tecnologie antisismiche** e relativi **software di calcolo**

FRP SOFTWARE
FRP NODE
FRCM WALL
CRM WALL

SAIE
Bari, 19/21 ottobre 2023

Interventi di rinforzo strutturale: come incrementare la resistenza e la duttilità negli elementi in c.a.

A seguito degli **interventi di recupero** e di **ripristino** degli elementi in c.a., è possibile valutare l'impiego di sistemi di **rinforzo strutturale antisismico** per mezzo di **materiali compositi** costituiti essenzialmente da due fasi distinte, ossia fibra e matrice. Negli ultimi anni tali materiali hanno avuto una grande diffusione grazie appunto alla capacità di conferire elevate resistenze meccaniche e importanti incrementi di duttilità agli elementi strutturali da rinforzare, mantenendo spessori contenuti e pesi molto leggeri.

I materiali compositi a fibra continua e pultrusi che il **Gruppo G&P intech** propone e impiega nell'ambito del consolidamento degli edifici civili, industriali, storico-monumentali e delle infrastrutture (ponti, viadotti e gallerie), sono i seguenti:

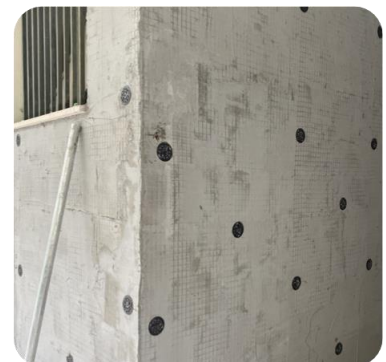
FRP SYSTEM

FRP SYSTEM (Fiber Reinforced Polymer) è un sistema di consolidamento strutturale per muratura e calcestruzzo, che **utilizza prodotti laminati in carbonio pultrusi, tessuti e reti unidirezionali, bidirezionali, quadriassiali, barre e sistemi di ancoraggio, adesivi e malte** approvati per il consolidamento di strutture in calcestruzzo, murature, legno e acciaio. È una tecnica ampiamente diffusa nel mercato nazionale ed internazionale, e viene largamente impiegato nel settore della conservazione e messa in sicurezza di edifici storici e monumentali.



FRCM SYSTEM

FRCM SYSTEM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix) è un sistema che prevede l'impiego dei rinforzi sotto forma di **intonaci armati strutturali sottili con leganti cementizi, in calce e pozzolana, reti in fibra di carbonio C-NET, vetro AR G-NET, basalto B-NET (FRCM) e tessuti in acciaio galvanizzato UHTSS ad altissima resistenza STEEL NETG (SRG)** connessi al supporto per mezzo di idonei sistemi di ancoraggio (connettori).



FRCM SYSTEM è una tecnologia versatile, con peso e **spessori contenuti (15-20 mm)**, che consente consolidamenti strutturali e sistemi di rinforzo strutturale per muratura e calcestruzzo dei Beni Culturali e delle dimore storico- artistiche.

CRM SYSTEM

L'intonaco armato **CRM** (Composite Reinforced Mortar), è **realizzato mediante una rete preformata rigida in composito GFRP inserita in una malta ad uso strutturale** e applicata sulla superficie dell'elemento strutturale in muratura da rinforzare.

In detto sistema la rete in GFRP è in grado di assorbire gli sforzi di trazione, mentre la malta strutturale contribuisce ad assorbire gli sforzi di compressione. Il trasferimento degli sforzi fra il supporto e la rete di rinforzo è garantito anche dalla presenza dei connettori, che assicurano la collaborazione strutturale fra l'elemento murario e l'intonaco armato. Lo **spessore dei sistemi di rinforzo CRM** è compreso, di norma, tra **30 mm e 50 mm**, al netto del livellamento del supporto.



Per maggiori approfondimenti consulta il sito di [G&P intech](https://www.gpintech.com)

G&P intech: Eccellenza nell'antisismica

G&P intech, con oltre 30 anni di esperienza di settore, ha l'obiettivo di offrire un servizio altamente qualificato nel settore dei **consolidamenti strutturali, dell'adeguamento antisismico e della riqualificazione funzionale di edifici civili, industriali, monumentali e delle infrastrutture** con materiali compositi e dispositivi antisismici. Annovera inoltre altri importanti **settori** tecnologici quali i **sistemi di impermeabilizzazione attiva sotto falda per gli interrati e intonaci termici per il risparmio energetico**. Nel tempo ha deciso di focalizzare il suo core business soprattutto nell'ambito della ricostruzione e della prevenzione sismica, investendo ingenti risorse nella ricerca, certificazione e sviluppo di **tecnologie** per il **rinforzo strutturale antisismico (FRP-FRCM-CRM)** altamente all'avanguardia, **atte a mitigare il rischio sismico nazionale** per il costruito residenziale, industriale, monumentale e infrastrutturale.