

**IL RIPRISTINO DEL CEMENTO ARMATO.
PATOLOGIE, DEGRADO E TECNICHE D'INTERVENTO.**

Indice.

1 Introduzione.

1.1 Generalita'.

1.2 Proprieta' fisiche.

1.3. Un materiale eterno?

1.4 Strategie di ripristino del calcestruzzo: la necessità di una Norma Europea.

1.5 Cause principali del degrado del cemento armato.

1.6 Riepilogo delle cause del degrado del cemento armato.

2 Il ripristino del calcestruzzo.

2.1 Generalita'.

2.2 Un tecnologia di successo.

2.3 Patologie e degrado.

2.4 Interventi e prevenzione.

3 Un esempio di intervento.

4 Tecniche tradizionali.

5 Nuove tecnologie per il recupero.

5.1 Sistema idrocinetico.

5.2 Risanamento di strutture in cemento armato con il metodo della protezione catodica. Elkinet "C"

5.3 Risanamento "Edilan" a pressoflessione di pilastri in cemento armato.

5.4 Le nanotecnologie per la riparazione del calcestruzzo.

6 Elenco ditte.

7 Bibliografia.

1 Introduzione.

1.1 Generalità.

Il cemento armato (la cui definizione più corretta sarebbe calcestruzzo armato o meglio ancora conglomerato cementizio armato) è un materiale usato per la costruzione di edifici, ponti, gallerie, acquedotti, ecc. composto da calcestruzzo (una miscela di cemento, acqua, sabbia e aggregati, cioè elementi lapidei, come la ghiaia) e barre di acciaio annegate al suo interno ed opportunamente sagomate ed interconnesse fra di loro. È un materiale utilizzato sia per la realizzazione dello scheletro degli edifici (ovvero dell'ossatura portante), al posto del più costoso acciaio, che dei solai o di manufatti come ad esempio, ma non solo, i muri di sostegno dei terrapieni. Come l'acciaio, anche il cemento armato può essere realizzato in officina per produrre elementi prefabbricati (in genere travi e pilastri). La produzione in officina permette di avere un miglior controllo sulla qualità del calcestruzzo, ma, essendo più costosa, viene utilizzata con regolarità quando le condizioni climatiche del cantiere sono proibitive (non a caso la prefabbricazione si è sviluppata moltissimo in Russia), o quando gli elementi da produrre richiedono dei controlli rigorosi, come può essere il caso di alcune tecnologie con le quali viene realizzato il cemento armato precompresso. In cantiere, la tecnologia del calcestruzzo gettato in opera ha il vantaggio di creare meno problemi nei nodi tra gli elementi, cioè in quei punti in cui si uniscono travi e pilastri.

1.2 Proprietà fisiche.

Il cemento armato sfrutta l'unione di un materiale da costruzione tradizionale e relativamente poco costoso come il calcestruzzo, dotato di una notevole resistenza alla compressione ma con il difetto di una scarsa resistenza alla trazione, con un materiale molto più costoso quale l'acciaio ma dotato di un'ottima resistenza a trazione. Quest'ultimo è utilizzato in barre (che possono essere lisce o ad aderenza migliorata con opportuni risalti) e viene annegato nel calcestruzzo nelle zone ove è necessario far fronte agli sforzi di trazione. Le barre hanno diametro variabile commercialmente da 4 mm a 32 mm e possono essere impiegate sia come "armatura corrente" o longitudinale, sia come "staffe", ovvero come barre che racchiudono altre barre (in genere di maggior diametro) a formare una sorta di "gabbie" opportunamente dimensionate secondo le necessità d'impiego. Le barre si possono presentare anche sottoforma di reti elettrosaldate (nei diametri da 4 a 10 mm) a maglia quadrata con passi variabili da 10 a 20 cm e vengono, in questo caso, impiegate per armare solette o muri in elevazione. La collaborazione tra due materiali così eterogeni è spiegata tenendo presenti due punti fondamentali: Tra l'acciaio ed il calcestruzzo, si manifesta un'aderenza che trasmette le tensioni dal calcestruzzo all'acciaio in esso annegato. Quest'ultimo, convenientemente disposto nella massa, collabora assorbendo essenzialmente gli sforzi di trazione, mentre il calcestruzzo assorbe quelli di compressione. I coefficienti di dilatazione termica dei due materiali sono sostanzialmente uguali. Per aumentare l'aderenza tra i due materiali da qualche decennio al posto delle barre lisce d'acciaio vengono utilizzate barre ad aderenza migliorata, cioè barre sulle quali sono presenti dei risalti.

1.3. Un materiale eterno?

Il termine "**durabilità**" definisce l'attitudine di un materiale a resistere e a mantenere inalterate le proprie qualità, nel tempo e nei confronti delle condizioni aggressive dell'ambiente in cui è posto. La durabilità è pertanto strettamente correlata sia alle caratteristiche intrinseche del materiale sia

ai fattori ambientali che agiscono sul manufatto.

Purtroppo, nella troppo rapida ascesa del cemento armato stesso vanno in parte ricercate le ragioni del parziale fallimento: la frenesia speculativa, unita ad un'eccessiva fiducia nella standardizzazione del processo costruttivo, hanno portato, molto spesso, in effetti a disattendere la qualità ed accuratezza delle opere, riducendo così drammaticamente le prestazioni e la durevolezza dei manufatti. Se si pensa che in altre epoche i monumenti erano costruiti per durare millenni, e tanti esempi di edilizia minore sono comunque sopravvissuti per centinaia di anni, parlare oggi di Restauro e Consolidamento per le opere in cemento armato, a distanza di appena 100 anni dalla sua nascita, è sicuramente segno di un parziale insuccesso, o quanto meno di un tradimento delle grandi aspettative di cui tale tecnologia era stata caricata alle soglie del Ventesimo secolo. Ma anche da un punto di vista puramente tecnologico, lo stesso slogan coniato dai precursori "il cemento armato è per sempre", sembra essere diventato improvvisamente inadeguato. In pochi anni, il problema della conservazione e del restauro delle strutture in cemento armato è diventato questione fondamentale, anche da un punto di vista quantitativo. Non è un caso che le prime incrinature nella più bella costruzione agiografica mai dedicata ad un materiale composito coincidano con l'interruzione dell'attività, nel 1967, dell'impresa Hennebique. La scarsa durabilità degli attuali calcestruzzi ha portato alla ribalta questo tema, nuova sfida con la quale una moderna opera di progettazione deve oggi confrontarsi. Infatti, interi capitoli delle normative più avanzate sono dedicati alla definizione di dettaglio delle operazioni di verifica di durabilità, che assumono importanza almeno pari a quelle di verifica tensionale. La questione dell'invecchiamento diviene così il vero punto base delle moderne teorie strutturali sul cemento armato.

1.4 Strategie di ripristino del calcestruzzo: la necessità di una Norma Europea.

Come abbiamo osservato, molte sono le cause del degrado di una struttura in calcestruzzo. La riparazione del calcestruzzo è un'attività specialistica che richiede l'intervento di personale competente e qualificato in tutte le fasi del processo. Fin ad oggi non esisteva un comune standard europeo che disciplinasse queste attività. Spesso, ci si è limitati a "rattoppare e a coprire con una mano di pittura", strategie utilizzate per riparazioni cosmetiche superficiali di breve durata, che non andavano quindi alla radice del problema. Ma questo approccio può comportare - come ha infatti comportato - insoddisfazione e malumore da parte dei proprietari e dei committenti. La nuova Norma europea UNI EN 1504 è destinata a regolamentare le attività di riparazione stabilendo una disciplina uniforme e fornendo un quadro migliorato che consenta la realizzazione di riparazioni a regola d'arte, durevoli, garantendo la piena soddisfazione del committente. E' importante tuttavia rilevare che questa norma (probabilmente a partire dal 31 dicembre 2008) si occuperà di TUTTI gli aspetti coinvolti nel processo di riparazione, tra cui:

- definizioni e principi di riparazione,
- l'esigenza di porre diagnosi precise ed accurate delle cause prima di redigere la specifica del metodo di recupero più idoneo,
- una comprensione completa, fin nei dettagli, delle esigenze del cliente,
- requisiti dei prodotti, metodi di prova, controllo di produzione dei materiali e valutazione di conformità,
- metodi di posa in opera e controllo di qualità dei lavori.

Diagnosi accurate e soluzioni integrate per soddisfare le esigenze dei committenti - una ricetta semplice per il successo

I principi che regolano la riparazione del calcestruzzo - un'unica fonte per una riparazione integrata .

La norma UNI EN 1504 offre un aiuto a coloro che redigono i capitoli d'appalto stabilendo tutta una serie di principi generali applicabili ai sistemi di riparazione del calcestruzzo.

- Principio 1 (PI) Protezione dall'ingresso .
- Principio 2 (MC) Controllo dell'umidità .
- Principio 3 (CR) Ripristino del calcestruzzo .
- Principio 4 (SS) Rinforzo strutturale .
- Principio 5 (PR) Resistenza fisica .
- Principio 6 (RC) Resistenza chimica .
- Principio 7 (RP) Conservazione o ripristino della passività .
- Principio 8 (IR) Incremento della resistività .
- Principio 9 (CC) Controllo catodico .
- Principio 10 (CP) Protezione catodica .
- Principio 11 (CA) Controllo delle zone anodiche .

1.5 Cause principali del degrado del cemento armato.



Figura 0. Esempio di degrado nel calcestruzzo armato.

Inizialmente e per molti anni si pensò che il calcestruzzo armato potesse avere una vita eterna; purtroppo ciò è evidentemente falso, perché entrambi i materiali che lo costituiscono sono soggetti a problemi che ne compromettono la resistenza nel tempo. Il calcestruzzo, se non adeguatamente protetto, può essere attaccato da sali presenti nell'acqua di mare e nell'aria in prossimità delle coste, da acidi dei fumi industriali, dal fenomeno della carbonatazione. Esso risente inoltre delle variazioni di temperatura, ed in particolare è vulnerabile al gelo. L'acciaio, se non ben protetto da uno strato di calcestruzzo (copriferro), è soggetto ad ossidazione, cioè tende ad arrugginirsi. Questo problema è visibile nell'immagine riportata sopra. L'ossidazione fa aumentare il volume dell'acciaio che può così rompere ed espellere il calcestruzzo che lo ricopre. L'ossidazione può essere provocata da vari fattori, per esempio da infiltrazione di acqua o vapore acqueo attraverso le fessurazioni del calcestruzzo che si producono naturalmente quando l'elemento strutturale è sollecitato a flessione: il calcestruzzo, non reagendo a trazione, nella parte tesa della sezione tende a fessurarsi, aprendo così la strada, quando tali fessure sono di entità rilevante, agli agenti ossidanti. L'entità e la pericolosità delle fessurazioni sono calcolabili attraverso semplici modelli matematici descritti nella scienza delle costruzioni e nelle norme UNI. È virtualmente impossibile realizzare un calcestruzzo armato che non si fessura, perché il modulo di elasticità (o modulo di Young) dei due materiali (acciaio e calcestruzzo) differisce troppo per consentire una omogeneità di dilatazione sotto sforzo. Tuttavia, rimanendo entro i limiti normativi per la fessurazione, l'ossidazione dell'acciaio può essere considerata trascurabile, allungando di molto la durabilità del manufatto. Negli ultimi tempi alcune ditte hanno cominciato a proporre l'acciaio inossidabile per l'armatura del calcestruzzo. Tale materiale è sensibilmente più costoso dell'acciaio

"normale" (semplice lega di ferro e carbonio), perché più complesso da produrre, meno resistente e più fragile. Ha però un vantaggio indiscusso: il fatto di non subire la ruggine e il conseguente aumento di volume. I costi proibitivi ne consentono l'utilizzo, per ora, solo in strutture in cui la manutenzione è particolarmente gravosa o l'aggressività degli agenti atmosferici particolarmente elevata, quali, per esempio: ponti, dighe, strutture portuali, infrastrutture viarie sospese e simili. In questi casi, il risparmio dovuto alle opere di manutenzione può giustificare una maggiore spesa per la realizzazione del manufatto. Rimane il fatto, però, che la struttura è più pesante perché necessita di una maggiore quantità di acciaio in quanto l'acciaio inossidabile è meno resistente di quello al solo carbonio e ne serve dunque una maggiore quantità per rientrare nei limiti di legge.

La norma ENV 206 stabilisce che il degrado del calcestruzzo avviene per azioni di sostanze presenti nell'ambiente per azioni fisiche e meccaniche inerenti all'esercizio stesso o esercitate dall'ambiente e per fattori intrinseci al calcestruzzo stesso. Le cause di degrado possono essere schematicamente distinte tra esterne e intrinseche: Tra le cause esterne le più rilevanti sono: gli agenti chimici aggressivi quali attacco acido, attacco solfatico, la carbonatazione, il gelo e disgelo. Le cause intrinseche sono legate all'impiego di materiali inadeguati, alle reazioni alcali-aggregati (formazione di gel espansivo), al processo noto come FEF (delayed ettringite formation) ecc. Il degrado è difficilmente attribuibile ad una sola delle cause elencate, poiché spesso i processi avvengono contemporaneamente interagendo a volte in modo sinergico. Non dimentichiamo, come già accennato in precedenza, che nelle opere in calcestruzzo armato, la corrosione delle armature rappresenta una delle conseguenze più importanti ai fini della durabilità. Il ferro nel calcestruzzo è, in condizioni ottimali, molto ben protetto a causa dell'elevata alcalinità dell'ambiente cementizio che normalmente (calcestruzzo sano) presenta valori di pH compresi tra 12,6 e 13,8. Il ferro può assumere, in un ambiente così alcalino, condizioni di passività dovute alla formazione di uno strato protettivo di ossidi che riducono la velocità di corrosione a valori praticamente trascurabili. Una volta venute a meno le condizioni di passività si avvia il processo corrosivo dell'armature che provoca un aumento di volume dei ferri (fino a 2,5 volte quello originale) con conseguenti pressioni in grado di provocare il collasso superficiale del manufatto, evidenziato da crepe, fessure, rigonfiamenti. L'attivazione dei ferri, nella maggior parte dei casi, è dovuta al processo di carbonatazione oppure alla penetrazione dei cloruri che, in genere, destabilizzano lo strato di ossidi protettivi generati durante la fase di presa. L'anidride carbonica presente nell'atmosfera quando viene a contatto con il calcestruzzo neutralizza, dagli strati più esterni, i suoi componenti alcalini. Il pH della soluzione contenuta nei pori si riduce dai valori usuali (attorno a 13-14) a valori inferiori a 9, cioè ben al di sotto del pH 11,5 che, come già osservato, è il valore necessario per assicurare, in assenza di cloruri, le condizioni di passività dell'armatura. Il fenomeno della carbonatazione è dunque legato in maniera evidente al trasporto dell'anidride carbonica dell'atmosfera attraverso i pori del cemento. Una volta che l'armatura risulta depassivata e sono presenti sulla sua superficie acqua e ossigeno, si produce una corrosione di tipo generalizzato. La carbonatazione del calcestruzzo e la conseguente depassivazione delle armature non provocano invece corrosione se l'acqua e l'ossigeno non sono presenti sulla superficie delle armature o lo sono in tenori molto bassi. Ad esempio, in un calcestruzzo carbonatato, la corrosione risulta trascurabile sia quando si trova a contatto con un'atmosfera di umidità relativa <70% (per mancanza d'acqua) sia quando è immerso in acqua (per scarso apporto di ossigeno alla superficie delle armature). Pertanto le condizioni di umidità ambientale più critiche per il prodursi della corrosione (una volta che la carbonatazione è avvenuta) sono quelle con umidità relativa compresa tra 80 e 98% oppure quelle caratterizzate da condizioni di alternanza asciutto-bagnato (che di fatto mantengono a lungo alla superficie delle armature tenori di acqua e di ossigeno analoghi a quelli presenti nel calcestruzzo in equilibrio con umidità comprese nell'intervallo critico 80+98%). La carbonatazione inizia dalla superficie esterna e penetra verso le regioni più interne, la velocità con cui il processo avanza all'interno del calcestruzzo, dipende da fattori relativi al calcestruzzo stesso e da fattori ambientali. Tra i fattori relativi al calcestruzzo: la sua permeabilità (e quindi i fattori che la determinano quali il rapporto acqua/cemento, la compattazione e maturazione del getto), la sua riserva di alcalinità (e quindi il tipo e la quantità di cemento impiegato). Tra i fattori ambientali: l'umidità atmosferica (massima nell'intervallo compreso tra il 50 e il 70%) e la presenza di "bagnamenti" intermittenti, come quelli provocati dalla pioggia.

E' opportuno notare come nelle condizioni in cui la velocità di penetrazione della carbonatazione è massima (50-70% UR) la velocità di corrosione è trascurabile (almeno in climi temperati). Per

questo motivo in calcestruzzi poco umidi (ad esempio all'interno di un edificio) anche se la carbonatazione raggiunge le armature in tempi relativamente brevi, non si producono apprezzabili attacchi corrosivi. In calcestruzzi più umidi, o soggetti all'azione della pioggia, succede il contrario: la penetrazione della carbonatazione avviene più lentamente, ma una volta raggiunte le armature provoca un attacco che si produce con velocità elevata. La determinazione sperimentale dello strato carbonatato si può effettuare in modo molto semplice spruzzando sulla superficie del calcestruzzo una soluzione alcolica di fenoftaleina. Le zone a pH superiore a 9 assumono la colorazione rosa tipica della fenoftaleina in ambiente basico.

1.6 Riepilogo delle cause del degrado del cemento armato.

Corrosione dei ferri d'armatura per effetto della perdita di alcalinità della pasta di cemento attorno ad essi

Cause tipiche:

- Piogge acide,
- Biossido di carbonio, biossido di zolfo e altri inquinanti atmosferici.

Altri fattori:

- scarsa qualità o insufficiente spessore del copriferro.
- Stagionatura assente o inadeguata.
- Ubicazione ed età della struttura.
- Condizioni climatiche prevalenti.

Corrosione dei ferri d'armatura indotta dagli ioni cloruro.

NB: I cloruri possono arrecare gravi danni e perdita dell'integrità strutturale anche quando il copriferro non è andato incontro a carbonatazione e i ferri d'armatura sono ancora passivati.

Cause tipiche:

- Ambienti marini. Contatto diretto con l'acqua di mare o con cloruri veicolati dal vento.
- Sali disgelanti.
- Cloruri incorporati nel getto di calcestruzzo, veicolati dall'acqua d'impasto contaminata, dagli inerti, ecc

Altri fattori:

- Calcestruzzo di elevata porosità e di bassa qualità.
- Condizioni del calcestruzzo, ad es. presenza di fessurazioni.
- Direzione prevalente del vento, ubicazione e durata dell'esposizione.

Degrado fisico del calcestruzzo

Cause tipiche:

- Incrostazioni superficiali, esfoliazione e fessurazione dovuta a cicli di gelo e disgelo o a dilatazione termica.
- Ritiro da essiccamento;
- Abrasione od erosione causata da agenti veicolati dal vento o dall'acqua.
- Cedimento / assestamento fisico.
- Urti.
- Danno sismico.

Altri fattori:

- Ubicazione ed ambiente.
- Inadeguato rapporto acqua/cemento.

Altre cause del degrado del calcestruzzo

Cause tipiche:

- Reazione alcali-aggregato.
- Insufficiente maturazione.
- Problemi di posa durante la costruzione, come ad esempio una vibrazione inadeguata o eccessiva con conseguenti fenomeni di segregazione e bleeding.
- Movimento delle casseforme o delle armature durante la posa del calcestruzzo.
- Progettazione inadeguata.
- Attacco da parte di sostanze chimiche aggressive come acidi o zuccheri o da acqua dolce.
- Aggressione di sostanze biologiche negli impianti fognari.
- Correnti vaganti o corrosione elettrolitica.

Altri fattori:

- Materiale inerte di qualità scadente, caratterizzato da reattività agli alcali.
- Ubicazione ed ambiente.
- Temperatura, concentrazione e durata dell'esposizione.
- Variazione della destinazione d'uso o delle condizioni d'esposizione rispetto al progetto iniziale.
- Qualità del calcestruzzo di progetto e degli eventuali rivestimenti protettivi impiegati.

2 Il ripristino del calcestruzzo.

2.1 Generalità.

Questa riflessione avrebbe dovuto chiamarsi "Restauro delle Architetture in Cemento armato". Perché si sia scelta una formula tanto più arida ed asettica, apparentemente precisa ed evocativa di aspetti scientifici e tecnici? La ragione non è tanto legata alla necessità di rimarcare un ambito disciplinare specialistico e ben definito all'interno di un settore che comunque - per sua natura - si serve delle più varie competenze e chiede sempre nuovi contributi di conoscenza, ma che ci si sente di fronte ad uno spazio "grigio" e sfumato, al cui nome - che pure già spontaneamente esiste - non ci si può ancora riferire con certezza e precisione. Si sta vivendo una "palingenesi" della cultura tecnica che per decenni si è nutrita fiduciosamente delle teorie del cemento armato. La crisi di un modello costruttivo tanto consolidato e diffuso, se sta sicuramente preparando il terreno ad un nuovo gradino del progresso tecnologico, o forse semplicemente al

ritrovamento della consapevolezza tecnologica, deve fare i conti col suo troppo breve passato. La mancanza di soluzioni tecnologiche di sicura validità è la spia che la discussione e la riflessione sui principi del Restauro nell'applicazione alle opere architettoniche in cemento armato devono essere ancora maggiormente sollecitate e promosse. La prima questione che si pone è la stessa definizione del valore monumentale delle opere architettoniche in cemento armato, condizione indispensabile affinché ne siano garantite la salvaguardia e conservazione e definiti coerentemente i criteri di gestione. Se le diverse carte del restauro (Carta di Venezia, 1964; Ministero LL.PP., 1972; CNR, Carta della Conservazione e del Restauro degli oggetti d'arte e di cultura, 1987) indicano chiaramente che la nozione di monumento va riferita "ad ogni epoca e area geografica che rivestono significativamente interesse artistico, storico e in genere culturale", è altrettanto vero che l'attenzione è sempre richiamata sulle opere artistiche e monumentali "antiche", e lo spazio del moderno come patrimonio a rischio è ancora tutto da definire. Soprattutto poi nel caso di opere infrastrutturali o industriali (che hanno peraltro rappresentato una proficua e feconda forma di espressione nella storia dello sviluppo del cemento armato), la coscienza del valore "monumentale", in quanto testimonianza culturale e storica dello sviluppo tecnologico non è percepita a livello amministrativo e politico, mettendo tante opere di grande interesse architettonico e formale, oltre che tecnico, a serio rischio di sopravvivenza.

2.2 Una tecnologia di successo.

A livello tecnico e scientifico, la consapevolezza che il calcestruzzo armato è materiale estremamente sensibile all'azione deteriorante del tempo è ben consolidata, ed è ampiamente dimostrata dalle scarse prestazioni di tanti edifici in c.a., ben note a tutti gli addetti ai lavori. Solo negli ultimi anni, però, la percezione delle problematiche di un patrimonio edilizio fortemente a rischio nonostante la sua età ancora giovane comincia a diffondersi su una scala più ampia (e purtroppo solo a seguito di ripetuti, drammatici crolli). Al vasto dibattito tecnico sulla sicurezza delle costruzioni in cemento armato esistenti si contrappone infatti un immaginario "popolare" in cui ancora questo materiale è considerato all'avanguardia ed "eterno", infinitamente resistente e durevole, e persino simbolo di riscatto sociale ed economico. Non bastano sicuramente i numerosissimi pregi (economicità, semplicità e rapidità di esecuzione, resistenza al fuoco, "igienicità") a spiegare come il cemento armato sia riuscito a conquistare tanto rapidamente ed efficacemente un predominio schiacciante nel mondo della costruzione, soppiantando senza troppe opposizioni le tecniche tradizionali. Certo è che nell'arco di appena un secolo, dalle applicazioni dei primi audaci inventori e sperimentatori di fine 800, la tecnologia del cemento armato è diventata protagonista indiscussa di una nuova Era della Costruzione, paradigma di Modernità e di Progresso. A ragione si potrebbe definire questo semplice e geniale abbinamento di ferro e conglomerato una delle brillanti invenzioni che hanno giocato un ruolo essenziale nella seconda rivoluzione industriale, la vera "pietra filosofale" del XX secolo. L'apice del successo, praticamente incontrastato e incondizionato, viene raggiunto a partire dagli anni '50: le antiche costruzioni sono sistematicamente abbandonate a favore di un modello abitativo e costruttivo più sicuro e funzionale. Fondamentale, però, per comprendere appieno la portata del fenomeno, è lo scenario che in tutta Europa si configura all'indomani della Seconda guerra mondiale: "In quest'opera di ricostruzione il cemento armato ha giocato un ruolo immenso! Noi non possiamo nemmeno immaginare cosa ci sarebbe stato senza di esso, di quanti anni o decenni ci sarebbe stato bisogno per compiere lo stesso lavoro di ricostruzione adoperando materiali e tecniche costruttive tradizionali." (dalla conferenza di M. Christian Pineau, Ministro dei Lavori Pubblici, Trasporti e Turismo di Francia alla cerimonia inaugurale de "Les journées du Centenaire", Parigi 8 Novembre 1949). Senza il cemento armato, lo straordinario boom edilizio ed economico che ha caratterizzato il dopoguerra in tutta l'Europa non avrebbe forse mai avuto luogo.

2.3 Patologie e degrado.

Negli ultimi 30 anni si è progressivamente presa coscienza delle carenze prestazionali costituzionali dei calcestruzzi armati e della conseguente necessità di progettare manufatti durevoli, oltre che resistenti, vale a dire capaci di conservare inalterate nel tempo le caratteristiche funzionali e di

resistenza proprie. La curabilità dipende non solo dalle caratteristiche intrinseche di durezza del materiale, ma anche dalle condizioni al contorno, ed in particolar modo dalle tecniche di progettazione ed esecuzione seguite nella realizzazione dell'opera. Questi aspetti sono ricordati in tutte le normative vigenti e negli studi di settore a proposito non solo delle nuove costruzioni, ma anche degli interventi sull'esistente: "Nella concezione ed esecuzione degli interventi di seguito illustrati, particolare attenzione deve essere dedicata ai problemi della durabilità...". Sia pure in maniera semplificata, si possono individuare due elementi principali che determinano una scarsa durabilità per le strutture in calcestruzzo: l'intervento di fattori umani di inadempienza alla regola dell'arte, e l'esistenza di una vulnerabilità intrinseca del materiale cemento armato. Per quanto riguarda la durata a brevemedio termine (40-50 anni), considerando le normali esigenze di manutenzione, si può ragionevolmente affermare che solo l'insorgenza di elementi di negligenza umana può inficiare la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato. Inadeguata selezione dei materiali adoperati; errata progettazione della miscela in termini di rapporto acqua/cemento, granulometria, porosità; progettazione strutturale carente e scarsa cura per i dettagli costruttivi (in termini di copriferro, diametro e posizione delle armature, forma e dimensione degli elementi strutturali); modalità di messa in opera non adeguate (compattazione difettosa, getti disomogenei, effetto vaglio) sono tutti elementi che hanno un gravissimo impatto sulle prestazioni future del materiale e della struttura, e che solo la mano dell'uomo può gestire e controllare. Per esempio, una cattiva progettazione strutturale che causi eccessive fessurazioni sotto carico (Fig. 1) comporterà una maggiore rischio e velocità di avanzamento dei fenomeni di attacco chimico e fisico. Tra tutti gli elementi menzionati, un cenno particolare merita il rapporto acqua/cemento, parametro da sempre ritenuto fondamentale per la realizzazione di calcestruzzi duri e resistenti. E' interessante ricordare che nelle prime opere in cemento armato le miscele erano confezionate con una quantità così bassa di acqua da presentare scarsissima lavorabilità (a cui si suppliva con un'accurata lavorazione manuale in cantiere). Tale consuetudine portò alla realizzazione di conglomerati cementizi di ottime prestazioni, in termini non solo di resistenza, ma anche di durata. In effetti una consapevolezza scientifica del problema era già sviluppata: nel 1892 e 1897 un laboratorio ufficiale francese pubblicò i risultati di una serie di test dai quali emergeva che, a parità di altri elementi, la resistenza a compressione del calcestruzzo aumentava con il quadrato del rapporto tra la quantità di cemento e acqua.



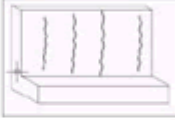


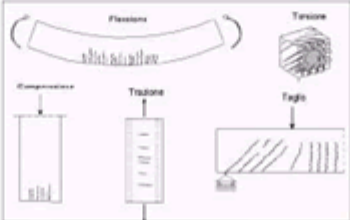
PATOLOGIA	TEMPO DI FORMAZIONE	MANIFESTAZIONE		OSSERVAZIONI
Assestamento plastico	Prime ore dopo il getto	Fessure lungo le linee di sviluppo delle armature; fessure nelle discontinuità geometriche delle sezioni.		Le fessure possono essere abbastanza ampie (oltre 1 mm)
Ritiro plastico	Prime ore dopo il getto	Fessure reticolate o lunghe fessure sulla superficie di pietra gettate in ambiente secco (es. pavimentazioni in g.s.)		Le fessure possono essere molto ampie (anche 2-4 mm)
Fessure per sviluppo termico iniziale	Anche alcuni mesi o anni dopo il getto	Larghe fessure lungo le pareti.		Le fessure possono essere controllate (< 0.4 mm) disponendo adeguate armature nelle pareti, limitando la porosità o controllando la temperatura durante il getto
Ritiro	Anche alcuni mesi o anni dopo il getto	Fessure simili morfologicamente a quelle causate da stati di trazione o flessione	Cfr. "carichi di esercizio"	Normalmente piccole (< 0.4 mm) in presenza di efficiente armatura.
Corrosione	Non prima di alcuni mesi o anni dopo il getto	Fessure lungo le linee di sviluppo delle armature con espulsione del sottile.		Inizialmente piccole (0.2 mm circa), aumentano col tempo anche notevolmente.
Reazione Alkali Aggregati	Anche alcuni mesi o anni dopo il getto	Fessure reticolate Avviene solo in presenza di aggregati silicei reattivi, in presenza di acqua o forte umidità.		Le fessure possono essere ampie (> 1mm).
Carichi di servizio	A seconda dell'uso della struttura			Generalmente piccole (<0.4 mm) se sono rispettati i requisiti agli Stati Limite Ultimi. Fessure ampie sono sintomo di una errata concezione progettuale della struttura.
Vincoli	A seconda dai fattori esterni (cedimenti, distorsioni, ...)			Generalmente piccole (<0.4 mm) in presenza di una sufficiente armatura

Figura 1. Il degrado nel calcestruzzo armato: patologie e manifestazioni. (da Manuale di Ingegneria Civile Ed. Cremonese-Zanichelli, AA.VV. - II vol.).

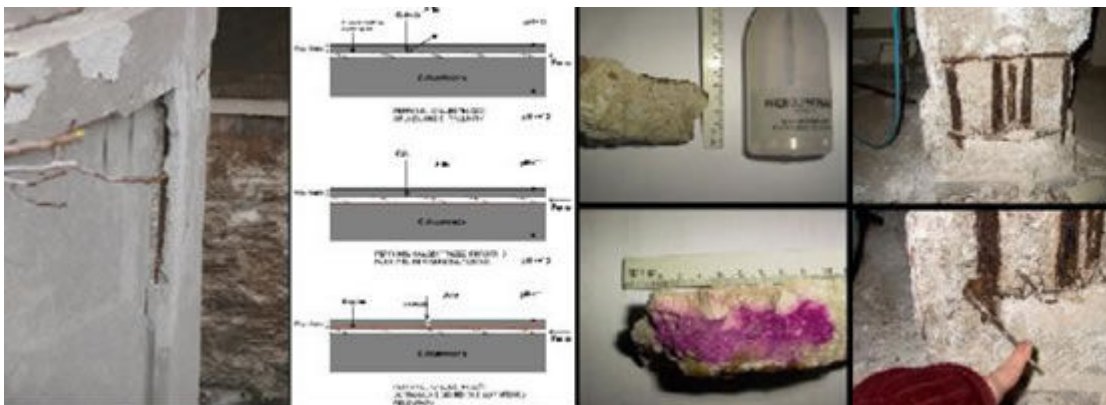


Figura 2. Meccanismo chimico della carbonatazione.

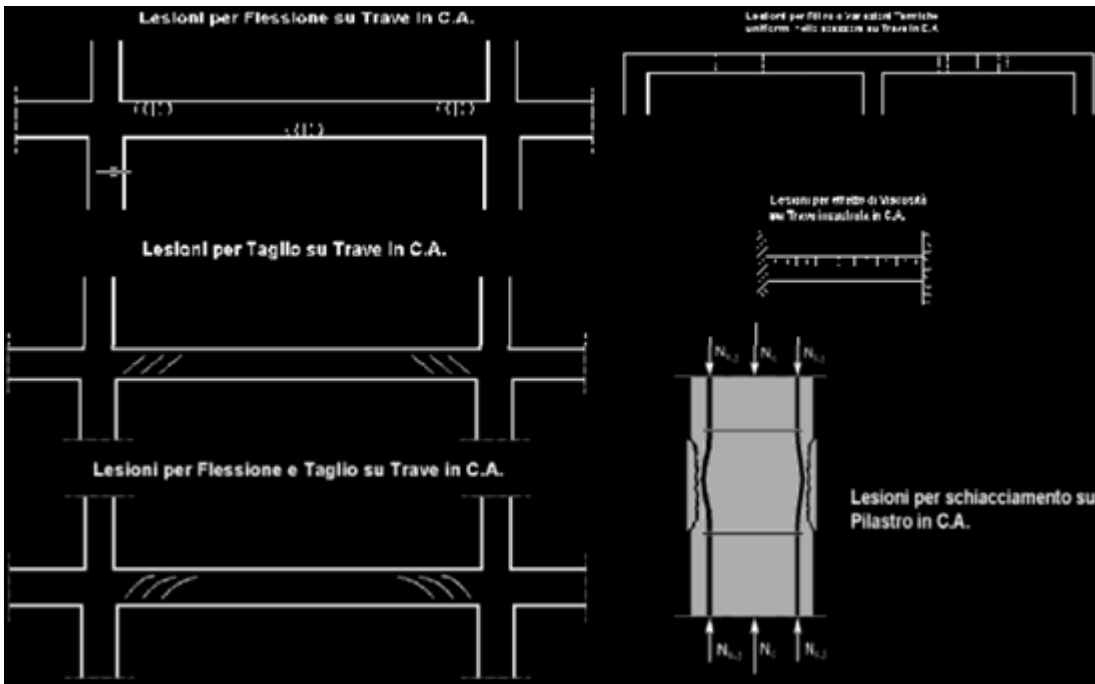


Figura 3. Quadri fessurativi e degrado di elementi in calcestruzzo dovuto a cause "meccaniche".

		CALCESTRUZZO			ACCIAIO	
Degrado chimico	X	X	Carbonatazione	}	Degrado chimico	Corrosione
	X	X	Penetrazione cloruri			
		X	Reazione Alkali-Silice			
		X	Formazione ritardata di ettringite			
Degrado meccanico	X	X	Fessurazione meccanica	}	Degrado chimico	Corrosione
	X	X	Fessurazione dovuta a ritiro o variazioni termiche			
	Fenomeno fisiologico	Intervento umano				

Figura 4. Le cause del degrado per i costituenti del calcestruzzo armato.

Quando pure tutte le inadempienze riconducibili all'uomo siano controllate, bisogna però ricordare che sui lunghi periodi, purtroppo, bisogna fare i conti con una vulnerabilità intrinseca del sistema acciaio-calcestruzzo, ben superiore a quella delle costruzioni in muratura e delle antiche strutture in calcestruzzo non armato. Questa innata difettosità dipende essenzialmente da tre fattori: debole resistenza a trazione; elevato modulo di elasticità (che causa la trasformazione di deformazioni termiche e da ritiro impedito in tensioni di trazione relativamente alte); sviluppo di microfessure e danno sin dalle primissime fasi di vita della struttura come conseguenza delle prime due cause (Fig. 1). Anche per strutture in c.a. ben progettate ed eseguite, la presenza di un quadro microfessurativo "fisiologico" fornisce una via di penetrazione preferenziale agli agenti aggressivi esterni che, provocando l'ossidazione dei ferri di armatura, trasformano la microfessurazione in un quadro microfessurativo che porta al progressivo deterioramento dell'intero manufatto (Fig. 3). Durante la sua vita il conglomerato cementizio armato è soggetto ad una serie di fenomeni chimico-fisici che, in maniera diretta o indiretta, diminuiscono le capacità prestazionali della struttura. Alcuni dipendono solo da precisi errori o negligenze, ad esempio, lo sviluppo di reazione Alkali-Silice per inadeguata scelta degli inerti (Fig. 5). Altri, come la

carbonatazione (Fig. 2) e la penetrazione degli ioni cloruro, sono sostanzialmente fisiologici, ed eventualmente resi più severi dalla inadempienza umana (Fig. 4).

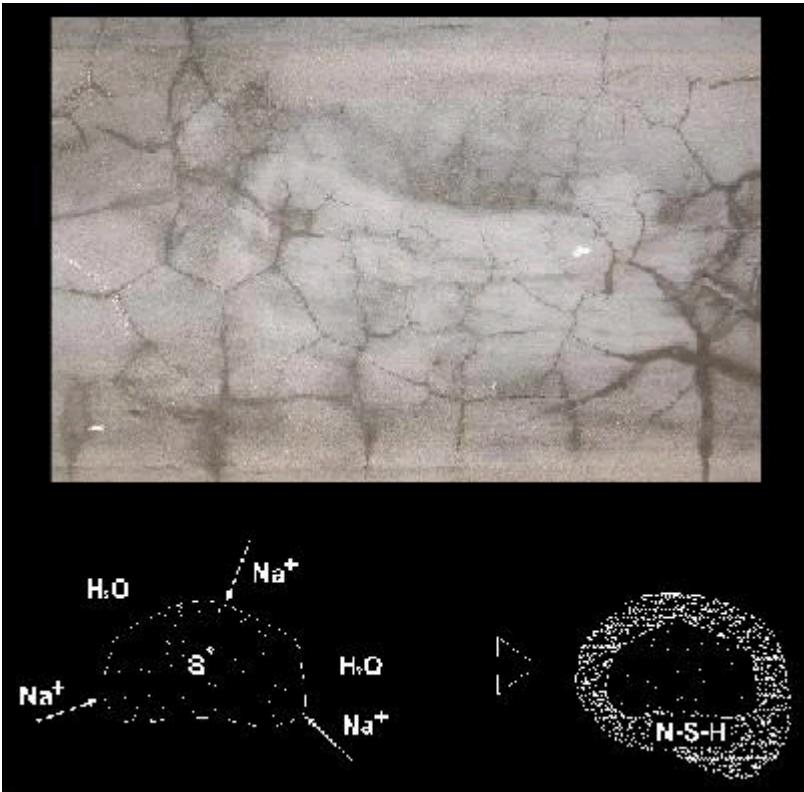


Figura 5. Effetti della reazione alcali - silice per inadeguata scelta degli aggregati.



Figura 6. Degrado delle barre: espulsione del copriferro e corrosione dovute ad attacco di cloruri e a carbonatazione del calcestruzzo.

2.4 Interventi e prevenzione.

Mentre le strutture murarie sono per loro natura facilmente smontabili e montabili, il c.a. nasce come materiale "monolitico", ed è un serio problema intervenire per variare a posteriori una data forma strutturale. I metodi di riparazione e rafforzamento devono tener conto di tali difficoltà, e per questo tecniche e materiali innovativi sono continuamente sviluppati e sperimentati, soprattutto con riferimento ai danni subiti dagli edifici durante i sismi. Le uniche normative che si interessano degli interventi sugli edifici esistenti in c.a., in un quadro normativo nazionale in tema di riabilitazione strutturale assolutamente carente, sono in effetti quelle sismiche che, dovendo affrontare la delicata questione della emergenza post-terremoto, forniscono indicazioni progettuali e metodi di calcolo precisi per il rafforzamento e l'adeguamento strutturale. Manca ancora però la coscienza diffusa che un manufatto in c.a. di interesse storico e monumentale richiede tecniche e cautele specifiche, ancora tutte da precisare. Le indicazioni pratiche fornite rappresentano tuttavia un punto di riferimento utile, anche perché contengono una rassegna sintetica dei metodi di intervento più diffusi, nel panorama odierno caratterizzato dalla proliferazione di prodotti e proposte commerciali non sempre di agevole gestione (Figg. 7-8).

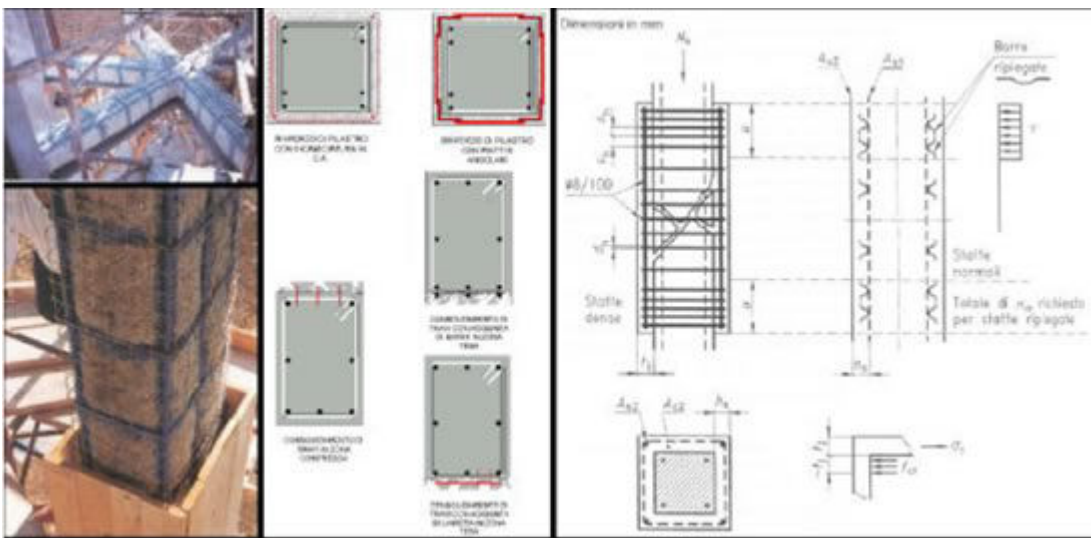


Figura 7. Interventi di ripristino e rinforzo dell'armatura metallica.



Figura 8. Interventi di protezione delle armature contro la corrosione.

3 Un esempio di intervento.

Un caso paradigmatico delle tematiche qui trattate è quello riferito al patrimonio delle Ferrovie Appulo-Lucane nella città di Bari che con i suoi “Monumenti” in Cemento Armato, il Viadotto di Corso Italia, l'annesso deposito locomotive ed altre opere minori, costituisce una esemplare testimonianza del livello di eccellenza tecnica e formale raggiunto nel campo delle costruzioni in cemento armato agli inizi del '900 (Fig. 9). Su tali opere, infatti, gli interventi di manutenzione programmata, progettati e diretti dalla proprietà hanno rivelato un elevato livello di accuratezza in termini di progettazione e di realizzazione dell'opera. In particolare, il Viadotto di Corso Italia (Fig. 10) si presenta come una vera “opera d'arte” di innegabile eleganza ed essenzialità, che ne individua il grande valore storico, culturale e di testimonianza di un'epoca di grandi aspettative. Il viadotto risale all'inizio del 1915, anno in cui fu annunciata l'apertura di una nuova linea ferroviaria tra la Puglia, Basilicata e Calabria. Faceva parte di essa il tratto Bari–Atena, lungo 280 km, che comincia a Bari con un percorso iniziale sopraelevato, dapprima su una struttura ad archi in muratura, e poi su di un viadotto in calcestruzzo armato, lungo più di un chilometro, che “...presenta l'aspetto caratteristico di una ferrovia sopraelevata sul tipo di quelle delle grandi metropoli dell'estero” ([23] Rivista Mensile del TCI, 1915). In effetti, il Viadotto di Corso Italia costituisce uno dei primi esempi in Europa di sopraelevazione di una linea ferroviaria mediante l'impiego della nuova tecnologia del calcestruzzo armato. Tutta l'impresa di ampliamento della rete fu caratterizzata da notevole impegno e difficoltà, ma grazie ad essa si ebbe l'occasione per realizzare, in Sud Italia, un significativo e rilevante esempio di uso della “moderna” tecnologia. Il Viadotto fu progettato e realizzato dall'impresa Porcheddu, che completò i lavori in soli 8 mesi di febbrile attività, nonostante le restrizioni e difficoltà imposte dalla guerra. Il collaudo avvenne il 23 Luglio 1915, e la nuova opera fu accolta dalla stampa locale come un simbolo di Modernità e Progresso tecnologico.



Figura 9. Il patrimonio monumentale in c.a. delle Ferrovie Appuro-Lucane.



Figura 10. Il Viadotto ferroviario di Corso Italia a Bari.

4 Tecniche tradizionali.

Il ripristino del cemento armato passa attraverso tre tipologie di intervento ,che possiamo definire tradizionali, di seguito sono dettagliate.

Risanamento corticale

L'intervento consiste nell'applicazione, previa rimozione delle parti incoerenti, pulizia e passivazione dei ferri, di malte cementizie mono o bicomponenti, antiritiro.

Ricostruzione

L'operazione consiste, previa totale rimozione del cls disgregato, pulizia, sostituzione e/o aggiunta di ferri di armatura e cassetta, nel colaggio di una malta pronta espansiva monocomponente avendo l'accortezza di impiegare, ove possibile un primer epossidico.

Verniciatura

A completamento degli interventi si può applicare un ciclo di Impregnazione o verniciatura, a rullo o a spruzzo, con prodotti protettivi ed impermeabilizzanti.

La soluzione dei problemi collegati alle operazioni di risanamento, consolidamento ed adeguamento di strutture murarie o in cls, di beni monumentali o di edifici moderni, implica la consapevole padronanza di metodologie sempre più specializzate per la continua introduzione sia di nuovi materiali in interventi ormai classici, sia di nuove ma sperimentate tecnologie.

Ecco alcuni tra i materiali e le metodologie di consolidamento e risanamento utilizzate:

Betoncini - Trovano largo impiego in tutti quei casi ove un adeguamento delle strutture a nuove destinazioni d'uso o normative richiedano un incremento di resistenza per maggiorazione di carico. In particolare questa tecnologia permette di ampliare la sezione di pilastri con camicia cementizia armata realizzata con malta espansiva colabile, realizzare cappe di consolidamento di volte in pietra o mattoni costruite impiegando calcestruzzi leggeri strutturali. Il consolidamento di volte in pietra o mattoni può essere realizzato anche con l'impiego di cappe in malte epossidiche che assommano i vantaggi della resistenza con l'elasticità, la leggerezza e, non ultima per importanza, la traspirabilità.

Perforazioni armate e non - La solidarizzazione di barre in acciaio per ancoraggi di catene, chiavi, ecc., può essere realizzata sostituendo la classica boiaccia cementizia. Le perforazioni armate e non utilizzano in modo intensivo malte espansive colabili o iniettabili a base di leganti idraulici a basso contenuto di sali solubili e formulati epossidici - se la natura delle fessurazioni dei conci, della malta o del cls lo richiedono.

Beton plaqué (Cerchiaggi e rinforzi strutturali) - Il placcaggio in acciaio ha rappresentato per anni un punto di riferimento per progettisti ed operatori per la facilità di calcolo e l'ampia casistica di riferimento. E' da tener presente però che il peso ed il trattamento delle lamine costituiscono in termini di tempo e costi un notevole handicap.

Iniezioni con formulati epossidici - In presenza di stati fessurativi di cui si siano individuate e rimosse le cause, trovano largo impiego formulati epossidici a fluidità controllata, iniettati per ricostituire una continuità strutturale. Iniezioni pilotate su murature, archi, volte, pilastri e strutture in genere permettono di raggiungere ottimi risultati.

Consolidamento corticale e protezione dei paramenti lapidei - Alla luce delle più affermate teorie sul restauro, questo tipo di interventi si realizza utilizzando materiali affini a quelli da reintegrare. Può essere realizzato con impregnazione a base di formulati di natura silicica la cui funzione è quella di riempire le fessurazioni saldandole. La protezione è realizzata con impermeabilizzanti di natura silossanica non filmogeni e traspiranti.



Figura 11, 12, 13, 14. Esempi di aree di intervento.

DOMANDA:"Quali sono oggi le tipologie di malte cementizie e polimeriche che trovano maggior successo negli interventi di ripristino del calcestruzzo?"

RISPOSTA:"Per il ripristino di strutture in calcestruzzo armato si utilizzano delle malte cementizie (nelle quali il legante è costituito da cemento portland, in genere con aggiunte pozzolaniche). In passato si sono utilizzate malte polimeriche (senza legante cementizio), ma queste sono state abbandonate perché hanno mostrato di non garantire la protezione delle armature (per la cui passivazione è necessaria l'alcalinità che solo una matrice cementizia può garantire). Le malte commerciali oggi utilizzate sono, quindi, di natura cementizia; tuttavia contengono aggiunte di vario tipo, tra le quali anche sostanze polimeriche (in genere in forma di lattici) che ne riducono l'impervietà. E' impossibile definire a priori quale sia la malta "di maggior successo". In funzione dello specifico intervento si dovrà scegliere la malta adatta in relazione a varie proprietà, tra le quali: le proprietà allo stato fresco (in funzione delle modalità di applicazione si potrà scegliere tra malte colabili e malte fissotropiche), la resistenza a compressione, il modulo elastico, il comportamento al ritiro, la resistenza alla carbonatazione, ai cloruri, ai solfati, ecc. Per una descrizione sommaria, si può dire che le malte premiscelate oggi in commercio tendono ad essere caratterizzate dalla presenza di: un legante di tipo pozzolanico (con, in particolare, l'aggiunta di fumo di silice che, grazie alla sua elevata finezza, garantisce il raggiungimento di una bassa permeabilità), additivi superfluidificanti, lattici polimerici (che possono ridurre la permeabilità e il modulo elastico). Spesso contengono un agente espansivo che ha la funzione (dopo adeguata stagionatura) di creare uno stato tensionale di compressione destinato a contrastare gli sforzi di trazione prodotti dal ritiro contrastato e quindi ridurre i rischi di fessurazione. Recentemente, per migliorare il comportamento delle malte al ritiro nel caso in cui non venga garantita la loro stagionatura umida (come troppo spesso avviene in cantiere), sono stati sviluppati degli agenti stagionanti che consentono di mantenere umida la malta almeno per il tempo necessario per garantire l'effetto dell'agente espansivo. Infine, diversi produttori propongono l'aggiunta di un inibitore di corrosione che dovrebbe migliorare la protezione offerta alle armature; i dati di letteratura mostrano però che l'effettivo vantaggio di queste aggiunte, in termini di aumento della durata dell'intervento di ripristino, non è ancora chiaro.

5 Nuove tecnologie per il recupero.

5.1 Sistema idrocinetico con acqua ad altissima pressione.

I vantaggi del sistema idrocinetico: Molto più veloce del sistema tradizionale. Rimuove selettivamente il calcestruzzo armato fino a livelli di qualità prestabiliti. Penetra molto facilmente tra i ferri d'armatura senza danneggiarli. Vengono puliti automaticamente le armature metalliche dall'ossido di ferro (ruggine) portandoli ad un grado di pulizia s.a. 2,5 - ST3 (ferro bianco) anche nella loro parte interna, senza ridurne il diametro. Assenza totale di vibrazioni, microlesioni o danni alle armature che possono indebolire la struttura. Produce una superficie irregolare che migliora l'adesione della nuova malta. Non si creano polveri dannose alla salute. Inoltre con apposita testina si può sondare millimetricamente il c.a., mettendo a nudo parti di cls ammalorato, che diversamente non sarebbero affiorate subito.

5.2 Risanamento di strutture in cemento armato con il metodo della protezione catodica. Elkinet "C"

Questa innovazione tecnologica del ripristino del cemento armato risponde alla richiesta del mercato del recupero, non solo su edifici storici vincolati, ma anche per l'edilizia industriale. Quest'ultima risulta oggi sempre più nel mirino del degrado a causa dell'azione dei gas acidi, dei cloruri, nonché dell'umidità ambientale che provengono dall'ambiente. La conseguenza è la corrosione delle armature con formazione di ossidi a seguito della diminuzione del valore del PH del calcestruzzo. La protezione catodica con applicazione di solo 1 Volt di corrente continua, rispetto alle tecnologie "classiche" sull'uso di soli formulati cementizi è di semplice applicazione ed efficace per un restauro duraturo e restituisce il contenuto necessario di alcalinità ed il giusto valore di PH. Le armature, una volta misurata la continuità elettrica, verranno collegate a una carica negativa, mentre la superficie murale, collegata con un primer conduttore, garantirà la carica positiva.

5.3 risanamento "Edilan" a pressoflessione di pilastri in cemento armato.

Il servizio **EDILAN** di consolidamento e rinforzo statico di strutture in cemento armato e muratura consiste nel **rinforzo a pressoflessione di pilastri in cemento armato mediante confinamento trasversale** passivo realizzato con laminazione in sito di nastri in fibre di carbonio unidirezionale (FRP) ed adesivi epossidici. Nello specifico, si tratta di rinforzo strutturale a pressoflessione di pilastri in cemento armato, secondo le direttive del sistema applicativo **Carboedil**, mediante laminatura esterna di uno o più strati sovrapposti, eseguita con l'impiego di nastri in tessuto monodirezionale di fibra di carbonio **BETONTEX GV 330 U-HT**, del peso di 300 grammi al mq con spessore 0,177 mm, resistenza a trazione di 4800 MPa modulo elastico 240 GPa, reso solidale al supporto sano e complanare, per mezzo di incollaggio ad impregnazione con il sistema adesivo epossidico bicomponente formato dal **PRIMER RC 01** e dall'**ADESIVO RC 02**.

Modalità d'impiego L'intervento viene eseguito con il sistema Carboedil che identifica la corretta messa in opera dei materiali compositi sotto l'assistenza tecnica della EDILAN; su sottofondi precedentemente riparati e/o preparati nelle modalità più adatte a renderli perfettamente complanari, privi di parti friabili o in fase di distacco e con eventuali riporti in spessore, perfettamente maturati. Tagliare il tessuto nella lunghezza e dimensione come da progetto. Miscelare i due componenti del primer RC 01 e stendere a pennello imbibendo completamente la zona di supporto interessata. Dopo circa 3 ore miscelare i due componenti dell'adesivo RC 02 con l'impiego di un miscelatore a basso numero di giri fino ad ottenere un colore omogeneo. Applicare l'adesivo con apposito rullo da laminazione in plastica imbibendo completamente il supporto. Stendere il tessuto BETONTEX GV 330 U - HT con uniforme pressione, nel senso longitudinale delle fibre, in modo da inglobare completamente il tessuto nell'adesivo, facendo fuoriuscire l'adesivo attraverso la trama del tessuto, evitando di intrappolare aria tra i due materiali ed il supporto. Applicare a rullo con forte pressione dopo circa 40 minuti, un'altro strato di adesivo RC 02 per la completa laminazione del tessuto. Se si prevede l'intonacatura effettuare, sull'ultimo strato di resina fresca, uno spolvero di sabbia quarzifera. Per sovrapposizione tra nastri considerare almeno 20 cm di nel senso longitudinale della fibra. Nel caso d'applicazione in più strati, ripetere le operazioni sopradescritte.

Materiali

BETONTEX GV 330 U-HT

Confezione a misura
Altezze 20 - 50 - 100 cm

PRIMER RC 01

Confezione 30 kg (a+b)
Consumo al mq 0,3 kg

ADESIVO RC 02

Confezione 30 kg (a+b)

Consumo al mq 0.35 kg x 2 mani

5.4 Le nanotecnologie per la riparazione del calcestruzzo.

Che cosa sono le nanotecnologie?

Nano = molto piccolo.

Un nanometro equivale ad appena 1 miliardesimo di metro.

Per avere un'idea delle proporzioni di cui stiamo parlando, si pensi che un capello umano ha un diametro di circa 5.000 nanometri!

O, se vogliamo, posto che un metro equivalga al diametro della terra, un nanometro sarà pari al diametro di un pallone da calcio!!

Le nanotecnologie rappresentano la conoscenza tecnica su scala infinitamente piccola.

Le nanotecnologie in natura

Vi siete mai fermati a domandarvi, stupiti, come facciano i gechi a correre su pareti, soffitti e perfino su vetri?

Le nanotecnologie naturali applicate: ecco la risposta!

Se osservati al microscopio, i cuscinetti delle zampe di queste incredibili creature presentano dei peli finissimi o setole che consentono loro non solo di aggrapparsi meccanicamente alle imperfezioni superficiali, troppo piccole per essere rilevate dall'occhio umano, ma anche di aderire elettricamente alla superficie!

Questo duplice meccanismo di adesione spiega la ragione che li ha spinti ad adottare il gecko per rappresentare la nuova gamma di malte di riparazione Emaco® Nanocrete.

Per oltre cinquant'anni, i tecnologi della Ricerca e Sviluppo della Degusta hanno lavorato per comprendere meglio la complessa chimica associata all'indurimento del cemento dopo la miscelazione con acqua.

Fu la prima azienda in Europa a lanciare negli anni '70 una linea di malte cementizie premiscelate a ritiro compensato per il ripristino del cemento armato.

Nasceva così il marchio Emaco®.

Riduzione della tendenza alla fessurazione

Con l'indurimento, i prodotti di idratazione del cemento vanno incontro a ritiro.

Quando le sollecitazioni da ritiro diventano più forti della tensione ultima a trazione di una malta, la malta stessa si fessura.

Le nanotecnologie applicate mantengono l'equilibrio tra queste tensioni concorrenti, scongiurando così la fessurazione.

Le malte per riparazioni Emaco® Nanocrete contengono fibre per ridurre la tendenza alla fessurazione che si presenta durante la fase plastica di una malta (quando la malta cioè non è ancora indurita).

Molte, moltissime fibre di diversa tipologia e dimensioni sono state esaminate prima della selezione finale.

La loro superficie reniforme e corrugata migliora l'adesione meccanica, mentre con l'ausilio dei più potenti microscopi è possibile osservare perfino una certa adesione chimica.

Questa combinazione unica garantisce che le fibre così selezionate contribuiscano a contrastare efficacemente la fessurazione da ritiro plastico.

La nuova linea di prodotti Emaco® Nanocrete racchiude la più recente tecnologia di riduzione del ritiro per contrastare significativamente la potenziale insorgenza di fessurazioni in cantiere.

Migliorare le malte da riparazione con le nanotecnologie

A livello di sabbia e cemento, l'uso di speciali additivi inorganici e dei migliori modelli di aggregazione dei leganti in tutti i prodotti della gamma Emaco® Nanocrete, consente di ottimizzare la granulometria dei filler.

Migliorano così le prestazioni tecniche, come, ad esempio, densità, resistenza a trazione e a

compressione, resistenza ai cicli di gelività e le caratteristiche di applicazione pratica, quali tixotropia, e grado di finitura superficiale.

Tuttavia, il termine nanotecnologie non significa nanoparticelle.

La migliore comprensione dell'idratazione del cemento ha consentito di perfezionare la qualità e la densità delle nanostrutture nell'impasto di cemento.

Si riducono in questo modo i microdifetti dei sistemi e migliora il legame tra la matrice cementizia e gli aggregati e tra la malta cementizia e il supporto.

Ma migliorano anche proprietà fisiche come la resistenza a trazione per ridurre la tendenza alla fessurazione.

E' questo il fondamento delle nanotecnologie applicate nei sistemi cementizi.

Emaco Nanocrete Degussa

Emaco® Nanocrete R4 costituisce una tappa importante di oltre un trentennio di attività di sviluppo prodotto nel campo delle malte cementizie per ripristino.

Infatti si tratta della prima malta da ripristino ad alte prestazioni realizzata con l'ausilio delle nanotecnologie applicate.

Emaco® Nanocrete R3 concilia il meglio delle caratteristiche: leggerezza, per maggiore facilità di applicazione e riprofilatura, ma anche resistenza, superiore ai requisiti previsti dalla Classe 3 della norma prEn 1504 parte 3 per le malte di riparazione strutturale.

Grazie alle nanotecnologie applicate, **Emaco® Nanocrete R2** è una malta eccezionalmente polivalente in termini di possibilità di applicazioni e dotata di caratteristiche tecniche significativamente migliori rispetto a quelle normalmente riscontrate in una malta di questo tipo.

Emaco® Nanocrete AP è stato studiato nel corso di numerosi anni allo scopo di fornire il massimo grado di protezione attiva dei ferri d'armatura.

Il prodotto è conforme a tutte le principali norme internazionali relative al trattamento protettivo delle armature con passivante negli interventi di riparazione del calcestruzzo.

6 Elenco ditte.

1 Elkinet Italia snc

Indirizzo : Via Castelmorrone, 12

Città : Milano

C.A.P. : 20129

Provincia : MI

Regione : Lombardia

Nazione : Italia

Email : info@elkinet.it

Sito internet : <http://www.elkinet.it/>

2 Edilan

Indirizzo : Via Carlo di Tocco

Città : Napoli

C.A.P. : 80142

Provincia : NA

Regione : Campania

Nazione : Italia

Email : info@edilan.it

Sito internet: <http://www.edilan.it>

3 Edilsystem srl

Indirizzo : Via del Piombo, 4

Città : Ponte Felcino

C.A.P. : 06077

Provincia : PG

Regione : Umbria

Nazione : Italia

Email : info@edilsys.it

Sito internet: <http://www.edilsys.it>

4 Idrotime_tecniche idrocinetiche applicate.

Indirizzo : Via Montecatini, 299

Città : Cesena

C.A.P. : 47023

Provincia : CE

Regione : Emilia-Romagna

Nazione : Italia

Email : info@idrotime.it

Sito internet: <http://www.idrotime.it>

5 Maxfor srl

Indirizzo : Via G.Pascoli, 26

Città : Quarto d' Altino

C.A.P. : 30020

Provincia : VE

Regione : Veneto

Nazione : Italia

Email : info@maxfor.it

Sito internet: <http://www.maxfor.it>

7 Bibliografia.

- ▶ **AA.VV.**, Cents ans de Béton Armé. Suppl. di Travaux, 194 bis. Paris: Ed. Science et Industrie, 1949.
- ▶ **AA.VV.**, Commentario al D.M. 16.01.'96 del Ministero LL.PP. a cura del SSNANIDIS, coordinatore Franco Braga. Potenza: Ed. Lamisco. 1997.
- ▶ **AA.VV.** Manuale di Ingegneria Civile. Ed. Cremonese-Zanichelli. Il volume.
- ▶ Carta di Venezia, 1964.
- ▶ **CNR**, Carta della Conservazione e del Restauro degli oggetti d'arte e di cultura, 1987.
- ▶ **Ministero LL.PP.-Presidenza del Consiglio Superiore – STC**, C.M. 6-04- 72 n. 117 (Carta Italiana del Restauro), 1972.
- ▶ **Ministero LL.PP.-Presidenza del Consiglio Superiore – STC**, D.M. 16-01- 96 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche". In Suppl. Ord. alla G.U.:29 del 5-02-96, 1996.
- ▶ **Ministero LL.PP.-Presidenza del Consiglio Superiore – STC**, C.M. 10-04- 97 n. 65 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 gennaio 1996", 1997.
- ▶ **UNI ENV 1998 Eurocodice 8**. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture.
- ▶ **Ceb-Fip. Bulletin 17**: Management, maintenance and strengthening of concrete structures.
- ▶ **M. Collepari, L. Coppola, C. Pistolesi**, "Materiali e tecnologie per il restauro delle opere in calcestruzzo", pp. 211-220, Proc. Conf. Calcestruzzi Antichi e Moderni: Storia, Cultura e Tecnologia, Bressanone, 1993.
- ▶ **M. Collepari**, "Vulnerability of reinforced structures", pp. 75-92. Proc. Symp. CIAS "Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni", Grecia, 1998.
- ▶ **M. Collepari**, "Ordinary and Long Term Durability of Reinforced Concrete Structures", 87-106. Proc. Nagasaki Symposium, Tokushima, Japan, 1998.
- ▶ **L. Coppola**, "La diagnosi del degrado delle strutture in calcestruzzo", L'Industria Italiana del Cemento, n. 681, pp. 657-666. Roma, 1993.
- ▶ **L. Coppola**, "Concrete Durability and Repair Technology", pp. 1209-1220. Proc. Fifth CANMET/ACI Int. Conf. on "Durability of Concrete", Barcellona, Spain, 4-9 Giugno 2000.
- ▶ **G. Delhumeau**, L'invention du béton armé. Paris: Norma Editions. 1999.
- ▶ **D. Harvey**, La crisi della modernità. Il Saggiatore. 1997.
- ▶ **T. Iori**, Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale, Roma EdilStampa, 2001.
- ▶ **R. Nelva, B. Signorelli**, Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique. Milano: Edizioni Aitec, 1990.
- ▶ **[20] M. Mezzina, G. Uva, M. Mastrodonato**, Examples of Early Reinforced Concrete Structures. The Viaduct of Corso Italia in Bari: a Hypothesis for the Reuse", Proc. I Int. Conf. on Construction History, Madrid, January 2003.
- ▶ **FAL**, Copia progetto originale depositato presso il "Servizio delle Costruzioni" Roma, 2 maggio 1912, Memoria tecnica e

calcoli di resistenza, 1912.

▶ **Rassegna Tecnica Pugliese**, Fascicoli VII e VIII Luglio-Agosto 1915.

▶ **Rivista Mensile del Touring Club Italiano**, N. 1 Gennaio 1915. Contatti con gli autori: Mauro Mezzana, Giuseppina Uva.