

## **CALCESTRUZZO, IL MATERIALE DELLE GRANDI OPERE**

*Settembre 2018*

## CALCESTRUZZO, IL MATERIALE DELLE GRANDI OPERE

Conosciuto e utilizzato dall'uomo da oltre duemila anni, il calcestruzzo rappresenta la soluzione ideale per realizzare case, infrastrutture, opere piccole e grandi destinate a durare nel tempo e resistere alle avversità naturali. Costantemente migliorato nelle sue prestazioni e nella sua versatilità, il calcestruzzo armato è oggi il materiale più sicuro, durevole e sostenibile nelle mani dell'uomo per realizzare ogni tipo di costruzione.

### 1. Cos'è il calcestruzzo

Il calcestruzzo è il materiale più utilizzato al mondo dopo l'acqua ed è la soluzione principe nelle costruzioni grazie alle sue caratteristiche di resistenza, affidabilità, durabilità. È una "pietra fusa", un conglomerato capace di adattarsi alle richieste in continua evoluzione di progettisti, ingegneri ed architetti.

### 2. Come si produce il calcestruzzo

Il calcestruzzo è prodotto all'interno di impianti industrializzati. Lo studio della miscela, il "mix-design", consente al produttore di calcestruzzo di individuare i componenti più idonei e le giuste proporzioni per ottenere le prestazioni desiderate.

Cemento, aggregati, acqua, aria, additivi e eventuali aggiunte, opportunamente scelti e mescolati nelle giuste proporzioni, vanno a costituire il calcestruzzo fresco che, grazie alla consistenza plastica, può essere facilmente trasportato in cantiere e successivamente posto in opera. La reazione di idratazione del cemento a contatto con l'acqua determina l'indurimento del materiale fino al raggiungimento della resistenza richiesta dalla struttura.

Il controllo continuo della produzione (Factory Production Control) - attuato attraverso l'automazione, la verifica dei materiali e dell'impianto, l'aggiornamento del personale - consente di garantire non solo le prestazioni richieste al materiale e determinate attraverso lo studio della miscela, ma anche la costanza delle stesse nel tempo.

Fra le prestazioni che oggi il mercato richiede ai materiali da costruzione grande importanza hanno anche quelle legate alla sostenibilità ambientale. In questo senso, il calcestruzzo ha enormi potenzialità. La produzione del calcestruzzo, infatti, è **sostenibile dal punto di vista ambientale** anche per la possibilità di utilizzare nella miscela **materiali riciclati**. Alla fine del suo ciclo di vita, il calcestruzzo **può essere a sua volta riciclato** per ridurne l'impatto. In questo modo si riduce lo sfruttamento delle risorse naturali e si evita l'impatto ambientale determinato dallo smaltimento dei rifiuti e dall'estrazione, produzione e trasporto.

Il calcestruzzo, grazie alla sua massa termica, contribuisce positivamente anche agli odierni obiettivi di efficienza energetica degli edifici.

### 3. Le origini: il "calcis structio"

Il **calcestruzzo è un materiale già conosciuto dagli antichi romani**. "Calcis structio" era la definizione che veniva utilizzata per le strutture realizzate con un composto di calce, sabbie pozzolaniche, mattoni e pietre macinati, acqua, che si è evoluto nei secoli fino a diventare l'odierno calcestruzzo. Esempio emblematico di strutture realizzate con tecniche di questo genere è l'imponente **cupola del Pantheon a Roma**.

Tra la fine del Diciottesimo e l'inizio del Diciannovesimo secolo, sono stati messi a punto i primi procedimenti per ricreare artificialmente il comportamento dei leganti naturali (calce e pozzolana). **Fino al brevetto del 1818 dell'ingegnere francese Louis-Joseph Vicat, che porta alla nascita del cemento**, di gran lunga il legante più utilizzato per la produzione di calcestruzzo.

La nascita del **calcestruzzo armato** risale alla fine del Diciannovesimo secolo, con i brevetti di **Joseph Monier** che si prevedevano l'utilizzo di un'armatura metallica per rafforzare diverse strutture, tra cui opere in cemento (cosiddetto "Sistema Monier").

La sua affermazione come materiale da costruzione nel nostro paese risale alla **ricostruzione successiva al devastante sisma che colpì Messina ed altre aree nel 1908**. La necessità di fornire risposte immediate e di sicura solidità determinerà, per la prima volta, l'utilizzo su larga scala della tecnica costruttiva del calcestruzzo armato. **Negli anni Trenta del Ventesimo secolo**, il calcestruzzo armato è definitivamente il materiale più usato per le costruzioni ed è la prima scelta di progettisti ed architetti.

Dalla metà del Novecento sino ai giorni nostri, il calcestruzzo è stato considerato una vera e propria "**pietra fusa**", per usare le parole di **Pier Luigi Nervi**, in grado di adattarsi alle esigenze specifiche della progettazione e della realizzazione delle opere più complesse, diventando così anche un materiale "a servizio" del bello, dell'estetica e della funzionalità. Architetti e designer l'hanno utilizzato per dare vita a creazioni sorprendenti che sposano la solidità alla creatività, perché il calcestruzzo sa essere estremamente versatile mantenendo la sua totale affidabilità dal punto di vista della sicurezza strutturale.

#### 4. L'evoluzione tecnologica

Come in tutti gli ambiti delle attività scientifiche e produttive, dall'informatica alla meccanica, dalla chimica alla medicina, nell'ultimo mezzo secolo si è registrata una significativa evoluzione anche nel calcestruzzo come materiale e nelle tecniche costruttive basate sul suo impiego.

I progressi più significativi si sono registrati in questi ambiti:

- **La conoscenza del materiale**, del suo comportamento nel tempo e delle sue reazioni rispetto agli agenti esterni, in particolare quelli aggressivi come la salsedine, il ciclo gelo/disgelo, la sismicità;
- **L'evoluzione del materiale**, che è oggi ancora più durevole grazie all'utilizzo di additivi che limitano il ricorso all'acqua per ottenere la giusta lavorabilità, con la conseguenza di diminuire la porosità del materiale e quindi la sua sensibilità agli agenti esterni. È inoltre cresciuta la capacità dei produttori di adeguare le formulazioni dei calcestruzzi alle specifiche richieste progettuali ("calcestruzzo su misura");
- **L'evoluzione della tecnica progettuale**, che mette a frutto la miglior conoscenza del materiale e delle sue "nuove" possibilità nella realizzazione di opere ancora più resistenti e durature (grazie anche all'avvento del BIM – Building Information Modelling, l'approccio che rappresenta in digitale il costruito, le sue caratteristiche fisiche e funzionali prima che esso sia realizzato e lungo tutto il ciclo di vita, consentendo anche di prevederne il comportamento nel tempo);
- **L'evoluzione della capacità di "messa in opera"**, il vero e proprio "ultimo miglio" dove le conoscenze e le tecniche progettuali si concretizzano in un manufatto realizzato a regola d'arte capace di resistere nel tempo richiedendo nella gran parte dei casi soltanto una manutenzione "ordinaria".

L'evoluzione della conoscenza e della tecnica produttiva del calcestruzzo sono rispecchiate, a livello normativo, nella norma tecnica europea EN 206, dal 2001 riferimento fondamentale per la scelta (prescrizione) e la produzione del calcestruzzo, recepita in Italia e completata attraverso una norma tecnica complementare (UNI 11104), richiamata dalla normativa italiana cogente a partire dal 2008.

La EN 206 ha avuto il merito di introdurre una novità significativa nella fase progettuale, il **requisito della durabilità**, oggi alla base anche delle norme nazionali cogenti sulle costruzioni. Mentre le opere erano in passato progettate solo in funzione dei carichi attesi, oggi è richiesto che siano pensate, progettate e realizzate in funzione di una loro **attesa di durata di esercizio** e delle **condizioni ambientali specifiche** (quindi degli agenti aggressivi ai quali saranno sottoposte) nelle quali assolveranno alla loro funzione.

Questa importante novità richiede che la natura dei materiali e la loro messa in opera tengano conto anche della capacità dei calcestruzzi di resistere all'aggressione degli agenti esterni per un lungo periodo di tempo. Oggi, questa possibilità è garantita per tempi ancor più lunghi che in passato, grazie a nuove tecniche e nuovi materiali. Su questo aspetto sono concentrati la ricerca e lo sviluppo di tutta la filiera del cemento e del calcestruzzo.

## 5. Calcestruzzo armato: il meglio del calcestruzzo e dell'acciaio insieme

La resistenza e la durabilità di un'opera possono essere garantite da soluzioni progettuali e costruttive che garantiscano all'opera stessa di fare fronte a due azioni: **compressione e trazione**.

In una semplificazione estrema, la prima è la capacità di sopportare carichi verticali, come il peso della stessa infrastruttura sommato al peso dei mezzi che la attraversano, scaricandolo sul terreno su cui l'opera stessa è ancorata. La seconda è legata alla flessione che si determina ad esempio in caso di sisma o in un ponte nella parte centrale della campata. A seguito della flessione, la parte inferiore della campata si trova sottoposta a trazione, mentre quella superiore a flessione.



Il materiale universalmente considerato più adatto a sopportare la **compressione** è il calcestruzzo. Il materiale più adatto a sopportare la trazione è, invece, l'acciaio. Combinati, essi danno vita al **calcestruzzo armato**, ovvero strutture in calcestruzzo che incorporano un'armatura in acciaio e pertanto capaci di resistere sia a compressione che a trazione.

Questa soluzione, adottata ovunque nel mondo da quasi un secolo a questa parte, deve fare fronte al naturale processo di invecchiamento dei materiali che può essere accelerato **da fattori aggressivi esterni come l'anidride carbonica, la salsedine o il ciclo gelo/disgelo**. In particolare, è fondamentale il ruolo di protezione che il calcestruzzo garantisce all'armatura in acciaio da fenomeni che possano ossidare e quindi corrodere il materiale.

Gli agenti presenti in natura, nel tempo, aggrediscono il calcestruzzo arrivando progressivamente sempre più vicini all'armatura e causandone la corrosione. Ciò può avvenire principalmente per due ragioni: il processo di carbonatazione o la presenza di cloruri nell'ambiente circostante (ambiente marino, sali disgelanti, etc.). Nel primo caso, l'anidride carbonica presente nell'atmosfera, penetrando

all'interno del calcestruzzo, ne riduce il pH e provocando la distruzione del film protettivo di ossido che si forma naturalmente attorno all'acciaio grazie all'alcalinità del calcestruzzo. A questo punto, l'acciaio non è più protetto dalla corrosione (che si innesca in presenza di acqua e ossigeno). Nel secondo caso sono gli stessi cloruri a perforare il film protettivo.

Oggi, tale processo di penetrazione è reso **fino a 100 volte più lento** anche dal fatto che la lavorabilità del calcestruzzo viene garantita da additivi anziché dall'acqua. Utilizzando i polimeri sviluppati grazie al progresso delle conoscenze chimiche dell'industria dei materiali per le costruzioni, si ottiene un calcestruzzo altrettanto lavorabile ma allo stesso tempo meno poroso e capace di aderire perfettamente all'armatura di metallo, evitando in questo modo anche la creazione delle condizioni che possono favorire processi di deterioramento dell'acciaio.

**Il calcestruzzo di oggi, quindi, è fino a 100 volte più resistente agli agenti esterni** rispetto a quello degli scorsi decenni.

## 6. Manutenzione e consolidamento

Il calcestruzzo è intrinsecamente **durabile** in virtù delle sue caratteristiche meccaniche e fisiche che gli consentono di resistere agli agenti che ne potrebbero causare il degrado. È, infatti, sufficiente un attento esame delle condizioni ambientali in cui l'opera si troverà in esercizio per scegliere il calcestruzzo idoneo a garantire durabilità e limitare le esigenze di manutenzione. Le strutture interne in calcestruzzo possono essere considerate addirittura **eterne** poiché, in condizioni di utilizzo normale, non esistono meccanismi tali che possano danneggiare il calcestruzzo presente in ambienti chiusi privi di umidità.

**La resistenza meccanica a compressione** è la caratteristica che da sempre identifica il calcestruzzo e che lo ha reso il materiale leader nelle costruzioni. Alla luce dei grandi passi in avanti realizzati dal settore è possibile oggi raggiungere valori di resistenza tali da renderlo il materiale ideale anche per strutture particolarmente complesse dal punto di vista delle prestazioni meccaniche quali gli **edifici di notevole altezza o i ponti di grande luce**. Possiede, inoltre, caratteristiche di **resistenza al fuoco** che lo rendono vantaggioso rispetto ad altri materiali: in caso d'incendio, le straordinarie proprietà di resistenza al fuoco del calcestruzzo rappresentano una sicurezza per le persone, per le cose e l'ambiente.

**Tuttavia, tutte le strutture, realizzate in calcestruzzo così come in qualsiasi altro materiale**, possiedono una **"durata di vita prevista"**, ovvero un arco temporale durante il quale, se sottoposte a una **manutenzione adeguata**, mantengono adeguati livelli di sicurezza, ovvero superiore a quella minima di norma.

**Al termine della durata di vita, le opere progettate e realizzate a regola d'arte, con materiali della giusta qualità e oggetto di manutenzione adeguata, non sono necessariamente da dismettere**, ma occorre sottoporle a verifiche di sicurezza onde poterne prolungare la vita, eventualmente con interventi straordinari.

Tali valutazioni devono tener conto di diversi elementi:

- la sensibile variazione dei requisiti prestazionali intervenuta negli ultimi 50 anni, in particolare i **carichi da traffico**, oggi enormemente più impegnativi;
- **il rischio sismico**;
- **il naturale degrado** dei materiali in conseguenza di azioni ripetute e agenti ambientali.

Negli ultimi decenni, **le tecnologie di preparazione dei materiali e le tecniche costruttive si sono sensibilmente evolute**. Tanto da permettere, oggi, di soddisfare in modo più che adeguato le esigenze di solidità e sicurezza presenti e future di ogni tipologia di struttura.

La manutenzione delle strutture in calcestruzzo armato ha come obiettivo quello di mantenere o ripristinare le caratteristiche del materiale e della struttura per mantenere o riportare i livelli di sicurezza a quelli originali o, in alcuni casi, per migliorarli e adeguarli a nuove condizioni e/o normative. A tal fine vengono utilizzati materiali e sistemi specifici (a base cementizia, organici, compositi, etc.) con la funzione di ricostruire, proteggere, sigillare, consolidare il materiale e/o la struttura esistente.

Le tecniche maggiormente applicate consistono nella ricostruzione dell'elemento degradato attraverso l'applicazione di nuovo materiale, nel rinforzo della struttura mediante lamine, barre, tessuti in materiali compositi, nella sigillatura delle fessure, nella protezione superficiale degli elementi finalizzata a interrompere o rallentare i fenomeni di degrado. La scelta del materiale e del metodo da applicare sono in questo senso fondamentali.