



CALCESTRUZZO

INSIEME
PER OPERE DUREVOLI



CALCESTRUZZO INSIEME PER OPERE DUREVOLI

Tp. Sthalpina - Cuneo



IL CALCESTRUZZO



E LE STRUTTURE
ARMATE

PREFAZIONE

QUESTA PUBBLICAZIONE NASCE DALL'ATTIVITÀ DELLA COMMISSIONE CALCESTRUZZI DUREVOLI, ATTIVA DAL 2002 A CUNEO, E VEDE LA PARTECIPAZIONE DI TUTTI GLI ATTORI DEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI: PUBBLICHE AMMINISTRAZIONI, PROFESSIONISTI, IMPRESE E PRODUTTORI DI CALCESTRUZZO PRECONFEZIONATO.

L'INTENTO DELLA COMMISSIONE È STATO QUELLO DI PROMUOVERE UNA MIGLIORE CONOSCENZA DELL'USO DI UNO DEI MATERIALI PIÙ DIFFUSI NEL MONDO DELLE COSTRUZIONI.

LO SCOPO È QUELLO DI OTTENERE PIÙ QUALITÀ ED EFFICIENZA NELL'USO DEL CALCESTRUZZO DUREVOLE, ANCHE AL FINE DI PERMETTERE UNA RIDUZIONE GLOBALE DEI COSTI COMPLESSIVI DI COSTRUZIONE.

IN QUESTA RACCOLTA DI SCHEDE, VOLUTAMENTE PRATICA E DI FACILE LEGGIBILITÀ, SI TRASMETTONO CONCETTI DI BASE CHE PERMETTONO A TUTTI DI AVVICINARSI CON CURIOSITÀ AD UN MATERIALE CON IL QUALE VENIAMO A CONTATTO QUOTIDIANAMENTE.

QUESTA PRIMA EDIZIONE ESCE CON UNA SERIE DI SCHEDE DI BASE, INTRODUTTIVE DEGLI ARGOMENTI AFFRONTATI, GIÀ DOTATA DI ALCUNI APPROFONDIMENTI. L'INTENZIONE È QUELLA DI ARRIVARE, CON PROSSIME PUBBLICAZIONI DI COMPLETAMENTO, AD UN TERZO, PIÙ SPECIFICO E TECNICO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.

LE SCHEDE A FASCICOLI, PER NON TRADIRE LE FINALITÀ DIVULGATIVE DELLA PUBBLICAZIONE E PER OFFRIRE ALL'OPERA UN CONTRIBUTO CONTINUO DI AGGIORNAMENTO E ARRICCHIMENTO COSTANTE DEI CONTENUTI, RIMANGONO A DISPOSIZIONE DEGLI OPERATORI INTERESSATI NELLA SPERANZA CHE IL SUPPORTO DATO A LORO SI RIFLETTA IN UN BENEFICIO PER TUTTI.

RINGRAZIAMENTI

COMMISSIONE CALCESTRUZZI DUREVOLI

PROVINCIA DI CUNEO - *ING. ANDREA GASTALDI*

REGIONE PIEMONTE - SETTORE OPERE PUBBLICHE E DIFESA ASSETTO IDROGEOLOGICO
(GENIO CIVILE) DI CUNEO - *ING. CARLO GIRAUDO*

UNIONE INDUSTRIALE DELLA PROVINCIA DI CUNEO - SEZIONE COSTRUTTORI EDILI - ANCE CUNEO
COMMISSIONE CALCESTRUZZO PRECONFEZIONATO - *DOTT. SANDRO DARDANELLO* -
RAG. MARISA TOMATIS

CONFARTIGIANATO IMPRESE CUNEO - *GEOM. DOMENICO MASSIMINO*

ORDINE DEGLI ARCHITETTI, PIANIFICATORI, PAESAGGISTI E CONSERVATORI DELLA PROVINCIA
DI CUNEO - *ARCH. SILVIO GARELLI*

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI CUNEO - *ING. ALFREDO PENNA,*
ING. MICHELANGELO LUSSO

COLLEGIO DEI GEOMETRI DI CUNEO - *GEOM. EMILIO DALMASSO, GEOM. GIANPIERO ARTUSIO*

COLLEGIO DEI GEOMETRI DI MONDOVÌ - *GEOM. MARIO. PAOLINO*

CAMERA DI COMMERCIO INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA DI CUNEO

ATECAP - ASSOCIAZIONE TECNICO ECONOMICA CALCESTRUZZO PRECONFEZIONATO

SUPERVISIONE A CURA DEL GRUPPO DI LAVORO

ING. MARCO BORRONI

ARCH. GIOVANNI COMBA

GEOM. GIORGIO CUMINETTI

ING. MARGHERITA DARBESIO

ARCH. SILVIO GARELLI

ING. LUCA GIORDANO

ARCH. ENZO VASSALLO

PROGETTO GRAFICO, IMPAGINAZIONE E ILLUSTRAZIONI

ARCH. GRETA MORANDI

TESTI

ARCH. PAOLO BONA - MDLR@LIBERO.IT

STAMPA

TIPOLITOGRAFIA SUBALPINA SNC

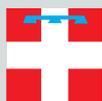
REALIZZAZIONE A CURA DI

CENTRO SERVIZI PER L'INDUSTRIA SRL

EDITORE

UNIONE INDUSTRIALE DELLA PROVINCIA DI CUNEO





**ORDINE
INGEGNERI
PROVINCIA
DI CUNEO**



**REGIONE PIEMONTE
SETTORE OPERE PUBBLICHE E DIFESA
ASSETTO IDROGEOLOGICO
(GENIO CIVILE) DI CUNEO**

PROVINCIA DI CUNEO

**UNIONE INDUSTRIALE
DELLA PROVINCIA DI CUNEO
SEZIONE COSTRUTTORI EDILI
ANCE CUNEO
COMMISSIONE CALCESTRUZZO
PRECONFEZIONATO**

**CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA ARTIGIANATO E
AGRICOLTURA DI CUNEO**

**CONFARTIGIANATO
IMPRESE CUNEO**

**ORDINE DEGLI ARCHITETTI,
PIANIFICATORI, PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DELLA
PROVINCIA DI CUNEO**

**ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA
PROVINCIA DI CUNEO**

**COLLEGIO DEI GEOMETRI
DI CUNEO**

**COLLEGIO DEI GEOMETRI
DI MONDOVI'**

**ATECAP
ASSOCIAZIONE TECNICA ECONOMICA
CALCESTRUZZO
PRECONFEZIONATO**

1

CHE COS'È IL CALCESTRUZZO

2

COME SI SCEGLIE IL CALCESTRUZZO

3

PRODUZIONE

4

TRASPORTO

5

MESSA IN OPERA

6

STAGIONATURA E DISARMO

7

CALCESTRUZZI SPECIALI

8

SCC

9

PROVE E CONTROLLI SUL MATERIALE FRESCO

10

PROVE E CONTROLLI SUL MATERIALE IN OPERA

11

DEGRADI DEL CALCESTRUZZO E PREVENZIONI

12

RIPRISTINI DEL CALCESTRUZZO

13

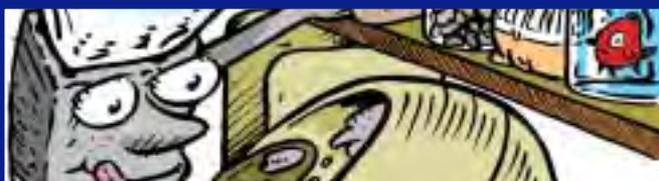
ALLEGATI



1. CHE COS'È
IL CALCESTRUZZO

1.1

DEFINIZIONE DEL CALCESTRUZZO



1.2 LA RICETTA
DEL CALCESTRUZZO

1.3

IL LEGANTE



1.4 GLI AGGREGATI

1.5

L'ACQUA



1.6 ADDITIVI ED
AGGIUNTE

1.7

IL CALCESTRUZZO ARMATO



CHE COS'È IL CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo è divenuto uno dei materiali da costruzione più diffusi, in particolare a seguito della sua produzione su scala industriale a partire dalla seconda metà del Novecento. In realtà le sue radici sono molto più antiche. I primi ad usare un conglomerato ottenuto dall'unione di elementi lapidei di diversa forma, natura e diametro, con legante ed acqua, sono stati i Romani. Il materiale strutturale chiamato "*opus cæmentitium*" era infatti creato miscelando, con molta sapienza e dosi prestabilite, ciottoli di pietra e rottami di terracotta, legati insieme da calce miscelata con pozzolana.

La cura meticolosa che i Romani usavano per le opere edilizie aveva fatto sviluppare l'uso dei materiali migliori per aumentare le resistenze meccaniche e ridurre al minimo il degrado. Tale perizia ha permesso inoltre di sperimentare l'inserimento di barre metalliche uncinata od intrecciate tra loro a formare una griglia nel conglomerato cementizio, prefigurandone il moderno uso.



Le testimonianze più antiche di opere realizzate con questo materiale, giunte pressappoco integre fino a noi, risalgono al 313 a.C. (*Alba Fucens, Domus Æmilia, Pantheon, ...*).

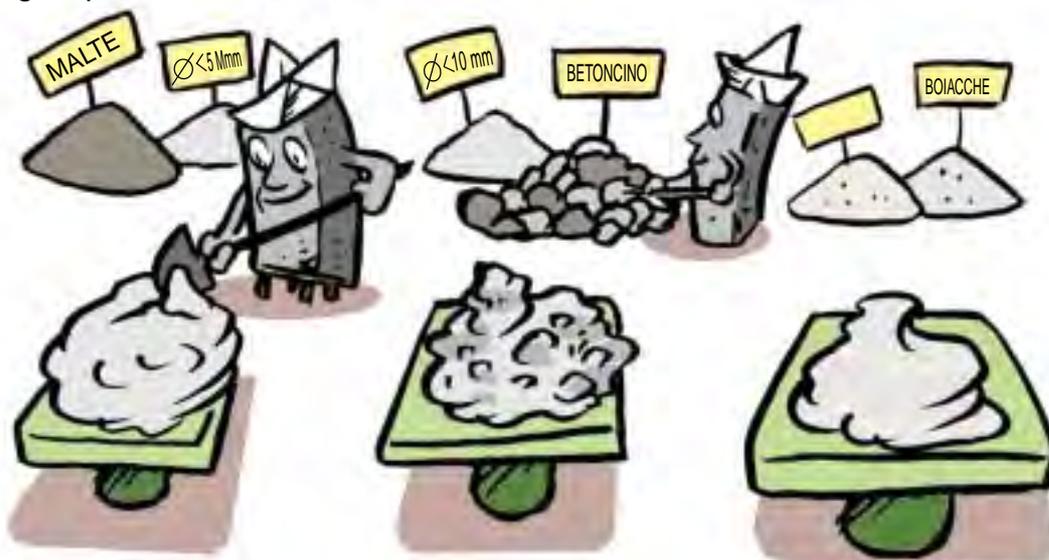
Nel corso dei secoli si sono usati leganti di diversa natura, arrivando oggi ad impiegare quasi esclusivamente materiali ottenuti dalla cottura di minerali ridotti poi in polvere. Il conglomerato indurito assume un aspetto unitario simile alla pietra artificiale, tant'è che si pensava fosse "eterno", mentre la realtà ha poi dimostrato che la sua vita può essere anche estremamente breve.

L'evoluzione tecnologica di questo materiale ha avuto un grande impulso negli ultimi decenni, nei quali la ricerca ha sviluppato i criteri di progettazione delle miscele per ottenere conglomerati con le prestazioni adatte a tutte le applicazioni dell'edilizia.

DEFINIZIONE DEL CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo è formato dall'unione di un *legante idraulico* (cemento) con elementi lapidei chiamati *aggregati* (sabbia, ghiaia, pietrisco), i quali vengono amalgamati con *acqua* fino a formare una pasta che verrà plasmata a seconda delle esigenze.

Gli impasti che contengono solo aggregato fine, con diametro non superiore ai 5 mm (sabbia), sono chiamati *MALTE*; il calcestruzzo che contiene aggregati con diametro massimo di 10 mm viene indicato col nome di *BETONCINO*, mentre impasti realizzati solo con legante e acqua vengono denominati *PASTE* o *BOIACCHE* e vengono usate per impieghi specifici.



L'**AGGREGATO** costituisce la massa incoerente da legare; deve presentare requisiti di stabilità meccanica, di inerzia chimica nonché forma e distribuzione granulometrica prestabiliti.

Il **LEGANTE** è il componente più importante dell'impasto; con tale termine si intende un materiale capace di unire più elementi altrimenti non aggregabili. I leganti si distinguono in due specie, quelli aerei e quelli idraulici. I cementi appartengono a quest'ultima categoria perché possono sviluppare i processi di presa ed indurimento anche sott'acqua ed una volta maturati resistono al contatto permanente con quest'ultima senza perdere, in generale, le loro caratteristiche fisico – meccaniche. Gli impasti non hanno una forma prestabilita; si prestano quindi con estrema semplicità alla pratica delle costruzioni perché possono essere plasmati, con opportune forme chiamate *CASSERI* o *CASSEFORME*, per ottenere le geometrie richieste dal progetto.

L'**ACQUA** rappresenta l'elemento che permette al legante di fare presa ed indurire; quest'ultima deve essere il più pura possibile, priva di sostanze organiche che potrebbero combinarsi chimicamente ed indurre degrado.

Miscelati tutti i componenti in rapporti opportuni, con l'eventuale aggiunta di **ADDITIVI**, si viene ad ottenere un impasto fluido detto calcestruzzo fresco. Presa ed indurimento di un calcestruzzo vengono considerati processi distinti anche se entrambi sono legati al medesimo fenomeno costituito dal processo di idratazione del legante; sono termini che indicano tutto il complesso delle reazioni chimiche che avvengono tra l'acqua ed il legante. Il periodo iniziale di indurimento, nel quale sono necessarie speciali precauzioni è definito **MATURAZIONE** o **STAGIONATURA** del getto.

LA “RICETTA” DEL CALCESTRUZZO



Preparare un calcestruzzo a prima vista potrebbe sembrare un'operazione semplicissima: è sufficiente procurarsi della sabbia e del pietrisco di diverso diametro, del legante, quindi aggiungere l'acqua. Per ottenere un buon impasto basta mescolare il tutto per un po' di tempo ed il calcestruzzo è pronto. Detto così potrebbe sembrare più una ricetta culinaria che non un processo industriale; in realtà non basta prendere e buttare nella betoniera acqua, legante ed inerti a caso, ma occorre seguire delle dosi prestabilite e conoscere approfonditamente i componenti usati. Il muratore pratico riesce a compiere l'operazione di dosaggio e miscelazione ad occhio, basandosi esclusivamente sulla propria esperienza, ed i risultati possono essere soddisfacenti solamente per piccoli getti senza funzione strutturale. A livello industriale invece il dosaggio e la miscelazione dei singoli elementi sono operazioni rigorose, effettuate con grande precisione, operando a volte, quando si devono aggiungere additivi od altri elementi, con perizia “da farmacista”.

IL LEGANTE

I leganti idraulici si dividono in due tipi: le calce idrauliche ed i cementi propriamente detti, che non si differenziano per le materie prime, ma per il processo di produzione.

I cementi più comuni si dividono in 5 tipi diversi, suddivisi in sottotipi in base alla diversa composizione e natura dei costituenti principali (UNI EN 197/1); essi sono:

CEM I – cemento Portland, costituito principalmente da clinker ed in minima parte da elementi secondari.

CEM II – cemento Portland composito, ulteriormente suddiviso in 7 sottotipi che si differenziano per i componenti secondari:

cemento Portland alla loppa;
 cemento Portland alla microsilice;
 cemento Portland alla pozzolana;
 cemento Portland alle ceneri volanti;
 cemento Portland allo scisto calcinato;
 cemento Portland al calcare;
 cemento Portland composito;

CEM III – cemento d'altoforno, con minori quantità di clinker ed una maggior presenza di loppa granulata d'altoforno.

CEM IV – cemento pozzolanico, con minori quantità di clinker ed una maggiore presenza di pozzolana naturale od artificiale.

CEM V – cemento composito, contenenti di clinker ridotti e maggiori quantità di loppa o pozzolana .



Tra i cementi il più utilizzato e noto è il cemento tipo Portland, ottenuto dalla macinazione di una miscela composta da clinker di cemento e gesso con funzione di regolatore dei tempi di presa. Il clinker deriva dalla cottura, fino a parziale fusione ed agglomerazione, delle materie prime preventivamente macinate finemente e mescolate; questa fase è nota con il nome di clinkerizzazione. Le materie prime più usate e facilmente reperibili in natura sono calcari ed argille, tuttavia vengono anche impiegate marne, calcari marnosi ed argillosi, crete, ecc... a seconda delle località di produzione.

Una volta uscito dal forno il clinker si presenta sotto forma di piccole sfere di colore scuro, derivanti dal rapido raffreddamento del prodotto semifuso al termine della fase di cottura delle materie prime. Per diventare cemento questi granuli devono subire una opportuna macinazione. Il risultato finale è una polvere impalpabile di colore grigio uniforme.

GLI AGGREGATI



**SOPRATTUTTO
NON DEVONO ESSERE
PRESENTI SOSTANZE INDE-
SIDERATE, REATTIVE O
NOCIVE, PERCHÉ INFLUI-
SCONO NEGATIVAMENTE
SULLE PROPRIETÀ DEL
CALCESTRUZZO, COME:**

Con il termine **aggregati** si intendono tutti quei materiali che non concorrono alle reazioni chimiche sviluppate dai leganti (presa ed indurimento), ma che vengono uniti assieme fino a diventare lo "scheletro" del conglomerato. Gli aggregati prendono nomi diversi in relazione alla pezzatura ed al processo di produzione.

La separazione degli aggregati in diverse classi dimensionali (sabbie, pietrischi, ghiaie..) ne permette la successiva ricombinazione in proporzioni variabili negli impasti.

Il processo di produzione e le dimensioni di origine daranno luogo ad aggregati di forma tondeggianti od irregolare, aventi comportamenti differenti nel calcestruzzo fresco ed indurito.

Le principali proprietà richieste agli aggregati sono:

- **elevata resistenza meccanica**, soprattutto a compressione;
- **bassa porosità**;
- **non gelività**, cioè elevata resistenza ai cicli di gelo e disgelo;
- **assortimento granulometrico** per ridurre al massimo i vuoti di aria ed ottenere un impasto dalle elevate resistenze meccaniche; l'assortimento (o curva granulometrica) deve ridurre inoltre il rischio di separazione tra le diverse classi e favorire la capacità di scorrere durante il getto.
- **non reattività chimica**;

- particelle friabili, perché rappresentano punti deboli del conglomerato;

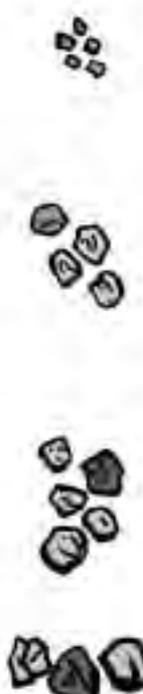
- materiale vegetale di natura inorganica (carbone, torba, ...) presenti sui materiali per sedimentazione;

- sostanze solubili, perché reagiscono con l'acqua dell'impasto influenzando i processi di presa ed indurimento e creando aumenti di volume non previsti e dannosi;

- sostanze reattive come granuli di pirite o calce viva, perché creano espulsioni di materiale localizzate e la successiva ossidazione delle armature;

- sostanze organiche di natura vegetale ed animale perché influenzano negativamente sulla presa ed indurimento del cls, indebolendolo.

Al fine di evitare fenomeni indesiderati è bene utilizzare solo aggregati puliti, evitando accuratamente materiale di fiume e/o mare senza preventivo lavaggio e decantazione per eliminare eventuali sali, sostanze organiche ed inorganiche.



L'ACQUA

In un calcestruzzo l'acqua ha una duplice funzione: amalgamata con gli altri ingredienti rende l'impasto plastico e reagisce con il legante partecipando alle reazioni di presa ed indurimento.

Trattandosi di un prodotto della natura, si presenta con caratteristiche variabili a seconda dei luoghi; per i nostri scopi si considereranno le caratteristiche dell'acqua in relazione all'interferenza con i fenomeni di presa ed indurimento dell'impasto fresco, nonché ai meccanismi di ossidazione delle armature.

Le acque in natura contengono concentrazioni più o meno elevate di sali minerali e sostanze organiche ed inorganiche disciolte, le quali possono avere effetti indesiderati nel getto. Ad esempio accelerare o ritardare la presa, favorire la corrosione delle armature, creare degradi fisico – chimici nel calcestruzzo (come disgregazioni, creazione di cavità, ...).

PER GLI IMPASTI È CONSIGLIABILE UTILIZZARE SOLO ED ESCLUSIVAMENTE ACQUE CHE CONTENGANO UNA BASSA PERCENTUALE DI SOSTANZE ORGANICHE E INORGANICHE DISCIOLTE, LIMITANDO COSÌ FENOMENI INDESIDERATI. EVITARE ACCURATAMENTE ACQUE SALMASTRE !!!!!!!!!!!!!!!



ADDITIVI ED AGGIUNTE

Gli additivi sono sostanze chimiche che, unite in piccole quantità all'impasto, migliorano alcune proprietà del calcestruzzo allo stato fresco ed indurito senza modificare la composizione e/o il dosaggio degli ingredienti principali. I più usati servono per:

- migliorare le prestazioni meccaniche del calcestruzzo, la permeabilità, la resistenza ai cicli di gelo – disgelo, la consistenza, ecc...;
- ottenere le prestazioni non raggiungibili normalmente con un impasto tradizionale.

In commercio ne esistono molti tipi, venduti in polvere, sale, liquido e formulati con uno o più principi attivi e funzioni accessorie (stabilizzanti, antischiuma, ...). Sono noti generalmente per le azioni esplicate:



Oltre a questi esistono additivi antimuffa, idrofughi, antigelo, anticorrosione, anti reazione alcali – silice, ecc

Scelto il prodotto, questo viene aggiunto all'impasto nelle dosi prestabilite, l'unica accortezza da osservare è quella di prolungare il tempo di miscelazione per permettere un buon amalgama del prodotto.

NON ECCEDERE MAI NEI DOSAGGI, MA ATTENERSI SCRUPolosAMENTE ALLE PRESCRIZIONI. OGNI ECCESSO, ANCHE MINIMO, POTREBBE ALTERARE LE PRESTAZIONI DEL CALCESTRUZZO IN MODO IRREPARABILE.

I SOVRADOSAGGI SONO IRREVERSIBILI, E NON POSSONO ESSERE ELIMINATI CON L'AGGIUNTA DI ALTRO MATERIALE.

Oltre agli additivi propriamente detti, si possono inserire anche aggiunte che si differenziano dai primi per la maggiore quantità di prodotto da unire al calcestruzzo:

- fibre metalliche o sintetiche;
- fumi di silice;
- ceneri volanti;
- pigmenti colorati.

IL CALCESTRUZZO ARMATO



L'INSERIMENTO DI BARRE D'ACCIAIO NEL CALCESTRUZZO SERVE PER AUMENTARE LE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA A TRAZIONE DELL'INSIEME.

A fronte di buone caratteristiche di resistenza a compressione, il calcestruzzo presenta una scarsa resistenza a trazione; ciò rende il materiale inutilizzabile per la creazione di pilastri, travi, sbalzi, ecc..., perché si romperebbe nella zona tesa. L'acciaio invece è un materiale con resistenze a trazione e compressione molto simili; inoltre ha un modulo di dilatazione termica quasi uguale a quello del calcestruzzo e dalla loro unione nasce un materiale composito dalle buone caratteristiche di resistenza ed essere estremamente versatile.

Un tempo l'armatura veniva inserita senza calcoli scientifici ed era costituita da semplici barre di ferro. La nascita del calcestruzzo armato moderno avviene nel 1849 con Monier, poi è pubblicizzato e realizzato in maniera industriale ad inizio Novecento con il brevetto Hennebique.

I ferri usati per le armature potevano avere forme e disegni diversi, (quadrati, piatti, elicoidali, ...) fino a metà '900 quando si utilizzarono le barre tonde lisce. Per ovviare alla scarsa aderenza al calcestruzzo venivano ancorate piegando ad uncino le estremità della barra. Con l'evoluzione tecnologica, oggi in commercio si trovano praticamente solo barre con la superficie sagomata, chiamate barre ad aderenza migliorata, le quali garantiscono l'aderenza al conglomerato proprio per la loro superficie ruvida che rende difficile lo sfilamento dell'armatura.



2

COME SI SCEGLIE IL CALCESTRUZZO



2.1 CALCESTRUZZO A PRESTAZIONE

2.2

CLASSE DI RESISTENZA



2.3 CLASSE DI ESPOSIZIONE

2.4

RAPPORTO ACQUA/CEMENTO



2.5 CLASSE DI CONSISTENZA

2.6

DIMENSIONE MASSIMA NOMINALE DELL'AGGREGATO D_{MAX}



2.7 RICHIESTA DI PRESTAZIONI PARTICOLARI

COME SI SCEGLIE IL CALCESTRUZZO

Il manifestarsi dei fenomeni di degrado anticipato su strutture in calcestruzzo spesso è legato non ad errori di messa in opera, quanto ad una inconsapevole ed errata scelta progettuale del materiale non idoneo per l'opera in questione o per le condizioni ambientali in cui il manufatto è inserito.

Secondo la normativa: *“Una struttura deve essere progettata e costruita in modo che con accettabile probabilità rimanga adatta all'uso per il quale è prevista, tenendo conto della sua vita prevista”* (Eurocodice 2). Tutte le normative individuano classi di esposizione ambientale, limiti di aggressività esterna, vincoli per la protezione delle armature, rapporto acqua – cemento (a/c), ecc..., tutto per raggiungere un solo scopo:

GARANTIRE UNA VITA DI SERVIZIO MINIMA ALLA STRUTTURA.

Per raggiungere le indicazioni normative, **PRIMA DI REALIZZARE L'OPERA**, in fase progettuale, occorre **INTERROGARSI SUL LUOGO DELL'INTERVENTO E SUL TIPO DI STRUTTURA DA ESEGUIRE**, al fine di **POTER SCEGLIERE**, tra la vasta gamma di calcestruzzi presenti sul mercato, **QUELLO PIÙ IDONEO CHE GARANTISCA UNA MAGGIORE DURABILITÀ**.

Gli accorgimenti minimi da adottare per eliminare o quanto meno ridurre le cause che influenzano il degrado delle strutture sono:

- rispetto dello spessore di copriferro;
- scelta del tipo di calcestruzzo in relazione all'ambiente o all'uso che si richiede alla struttura;
- diametro degli aggregati compatibile con la geometria e l'armatura della struttura;
- scelta della consistenza dell'impasto;
- in condizioni critiche si possono usare materiali protettivi o prodotti speciali per migliorare le caratteristiche di resistenza del conglomerato;

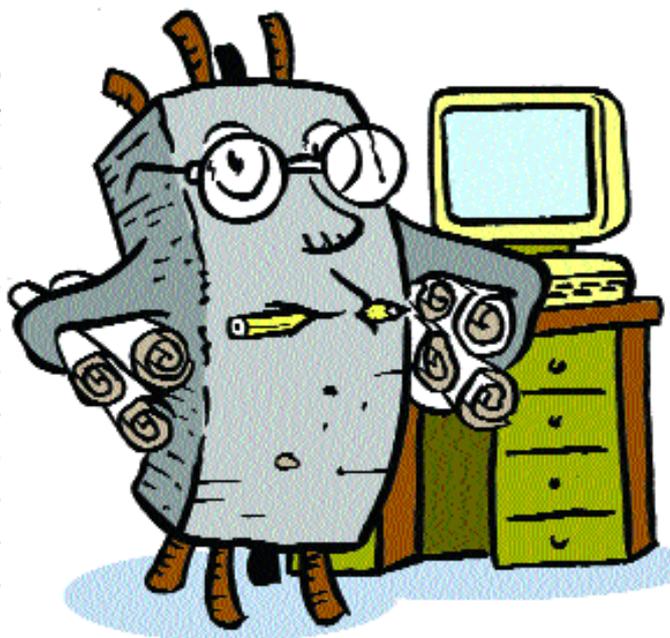
È sufficiente prestare un po' di cura e calibrare le scelte progettuali per realizzare manufatti visivamente simili ma sicuramente più resistenti alle aggressioni esterne.



CALCESTRUZZO A PRESTAZIONE

Per ottenere un calcestruzzo con buone qualità specifiche, sia le linee guida sul "Calcestruzzo Strutturale" del Consiglio Superiore del Ministero dei LL.PP., che la norma UNI 9858, ora sostituita dalla norma europea EN 206-1, stabiliscono le **CONDIZIONI MINIME OPERATIVE** che i progettisti devono adottare per prescrivere un materiale con le caratteristiche prestazionali richieste. La scelta del materiale deve essere effettuata da un tecnico abilitato, il quale deve redigere un **PROGETTO ESECUTIVO**, nel rispetto dei parametri prescritti dalle norme e dal tipo di struttura da realizzare. Non si deve dimenticare però che:

- IL PROGETTISTA HA LA RESPONSABILITÀ DIRETTA DELLA PROGETTAZIONE DI TUTTE LE STRUTTURE REALIZZATE.
- L'IMPRESA HA LA RESPONSABILITÀ DI FORNIRE IL CALCESTRUZZO CON LE CARATTERISTICHE PREVISTE E DI METTERLO IN OPERA CORRETTAMENTE



Il progettista, deve indicare, in modo chiaro ed inequivocabile, i seguenti dati:

- resistenza caratteristica** - R_{ck} [espressi in N/mm^2];
- diametro massimo nominale dell'aggregato** - D_{max} [espresso in mm];
- classe di consistenza** del calcestruzzo fresco;
- classe di esposizione ambientale**;
- eventuali altre caratteristiche od aggiunte per getti particolari (tempi di indurimento, additivi, fibre, ...).



IN TUTTI I CASI IL GETTO DEVE PREVEDERE UNO SPESSORE DI CALCESTRUZZO (COPRIFERRO) SUFFICIENTE A GARANTIRE LA PROTEZIONE DELLE ARMATURE DALLA CORROSIONE. PER EVITARE EQUIVOCI E FACILITARE L'ATTIVITÀ DEL DIRETTORE DEI LAVORI, TALI INDICAZIONI DOVREBBERO ESSERE RIPORTATE SULLE "TAVOLE DELLE CARPENTERIE E DELLE ARMATURE", GLI UNICI DOCUMENTI UFFICIALI PRESENTI IN CANTIERE.

CLASSE DI RESISTENZA

Rappresenta la capacità del calcestruzzo di assorbire gli sforzi di compressione.

La resistenza a compressione viene misurata su provini cubici di 15 centimetri di lato, confezionati, maturati e provati tassativamente a 28 giorni secondo le normative.

Bisogna distinguere la resistenza di un singolo provino dal valore convenzionale di riferimento **LA RESISTENZA CARATTERISTICA RCK**

cioè il valore al di sotto del quale ci si attende che cada solamente il 5% di tutti i provini che potrebbero essere controllati per quel calcestruzzo. La resistenza caratteristica viene ricavata statisticamente dai valori di rottura dei singoli provini.

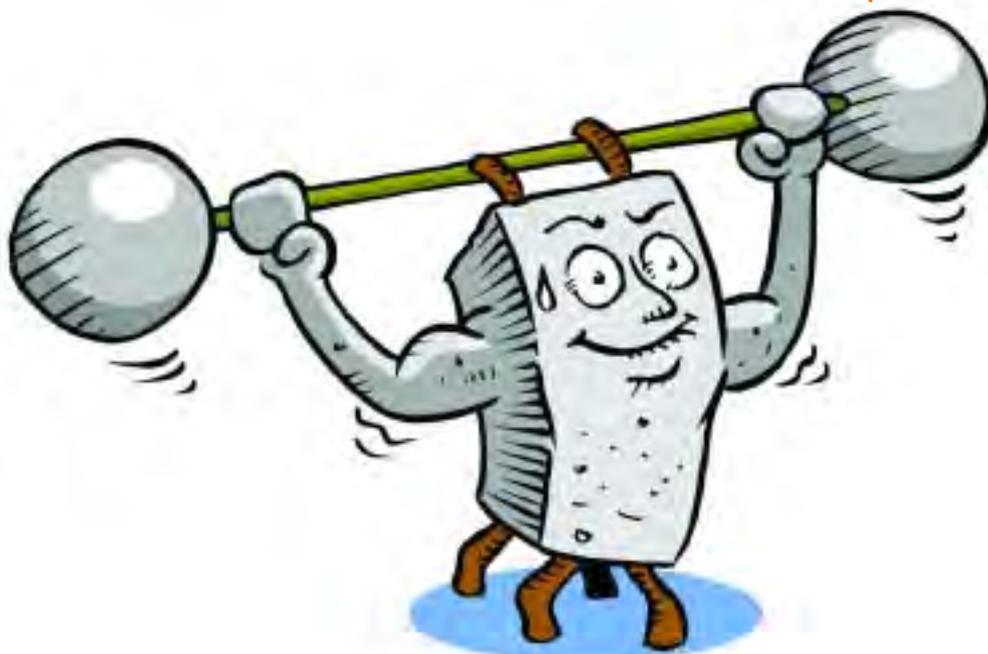
LA CLASSE DI RESISTENZA VIENE ESPRESSA IN MPA O N/MM2

Le norme propongono alcune classi di resistenza caratteristica utilizzabili dal progettista nei calcoli strutturali.

Rck N/mm2	Categoria del calcestruzzo
10 15	NON STRUTTURALE
20 25 30 37 45 50 55	ORDINARIO
60	ALTRE PRESTAZIONI

LA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO NELLA STRUTTURA DIPENDERÀ PERÒ ANCHE DALLA MODALITÀ DI GETTO, DI COSTIPAZIONE E DALLA MATURAZIONE: QUESTE OPERAZIONI, SE NON CORRETTAMENTE EFFETTUATE, POTREBBERO RIDURNE SENSIBILMENTE IL VALORE RISPETTO A QUELLO RILEVATO DAI PROVINI.

LA CLASSE DI RESISTENZA DIPENDE DAL VALORE DEL RAPPORTO ACQUA/CEMENTO (A/C) DELLA MISCELA; LO STESSO RAPPORTO REGOLA LA CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE (VEDI DURABILITÀ).



CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE

Aspetto essenziale per la scelta del giusto calcestruzzo è la condizione ambientale in cui la struttura dovrà operare. Questa influenza la vita media di servizio delle costruzioni, cioè il tempo durante il quale i materiali sono in grado di conservare le caratteristiche prestazionali richieste dal progetto, mantenendo inalterato il grado di sicurezza previsto. È indispensabile riportare in progetto la classe di esposizione ambientale che indica il maggiore o minore livello di aggressività del luogo in cui la struttura sarà inserita.

Classe di esposizione UNI 9858	Classe di esposizione EN 206	Caratteristiche ambientali	Tipologia della opera
1		SECCO	Strutture interne (abitazioni, uffici, etc)
2a	XC1-XC2	UMIDO SENZA GELO	Interni molto umidi o strutture esterne a contatto con terreno o acqua
2b	XF1	UMIDO CON GELO	Elementi esterni od interni esposti al gelo od immersi in acqua ed esposti al gelo
3	XF2	UMIDO CON PRESENZA DI GELO E SALI	Pavimentazioni stradali, industriali, ecc..esposte all' azione dei sali disgelanti
4a	XS1-XD2	MARINO SENZA GELO	Strutture marittime portuali o balneari parzialmente o totalmente immerse in mare, o elementi esposti ad aria ricca di salsedine
4b	XF3	MARINO CON GELO	
5a	XA1 XC3-XD1	POCO AGGRESSIVO CHIMICAMENTE	Elementi esposti ad ambiente debolmente aggressivo o inquinato di industrie leggere
5b	XA2-XC4	AGGRESSIVO CHIMICAMENTE	Elementi esposti ad ambiente moderatamente aggressivo o inquinato di industrie leggere
5c	XA3-XD3 XS2-XS3	MOLTO AGGRESSIVO CHIMICAMENTE	Elementi esposti ad ambiente fortemente aggressivo o inquinato di industrie pesanti



CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE

La norma UNI - EN 206 descrive con maggiore precisione gli ambienti di esposizione:

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente di esposizione	Esempi di condizioni ambientali (a titolo informativo)
1-nessun rischio di corrosione delle armature o di attacco al calcestruzzo		
XO	molto secco	interni di edifici con umidità relativa molto bassa
2- corrosione delle armature indotta da carbonatazione		
XC1	secco	interni di edifici con umidità relativa bassa
XC2	bagnato,raramente secco	parti di strutture di contenimento liquidi:fondazioni
XC3	umidità moderata	interni di edifici con umidità da moderata ad alta:calcestruzzo all'esterno riparato dalla pioggia
XC4	ciclicamente secco e bagnato	parti di ponti:pavimentazioni,parcheggi per auto
3- corrosione indotta dai cloruri		
XD1	umidità moderata	superfici esposte a spruzzi diretti d'acqua contenente cloruri
XD2	bagnato,raramente secco	piscine: calcestruzzo esposto
XD3	ciclicamente secco e bagnato	parti di ponti;pavimentazioni;parcheggi per auto
4- corrosione indotta dai cloruri dell'acqua di mare		
XS1	esposizione alla salsedine marina ma non in contatto diretto con acqua di mare	strutture sulla costa o in prossimità
XS2	sommerse	parti di strutture marine
XS3	nelle zone di maree, nelle zone soggette	parti di strutture marine
5- attacco da cicli gelo/disgelo		
XF1	grado moderato di saturazione, in assenza di agenti disgelanti	superfici verticali esposte alla pioggia e al gelo
XF2	grado moderato di saturazione, in presenza di sali disgelanti	superfici verticali di opere stradali esposte al gelo e ad agenti disgelanti nebulizzati nell'aria
XF3	grado elevato di saturazione, in assenza di sali disgelanti	superfici orizzontali esposte alla pioggia e al gelo
XF4	grado elevato di saturazione, in presenza di sali disgelanti	superfici verticali e orizzontali esposte a spruzzi d'acqua contenenti sali disgelanti
6- attacco chimico		
XA1	aggressività debole(secondo tab.9)	
XA2	aggressività moderata(secondo tab.9)	
XA3	aggressività forte(secondo tab.9)	

RAPPORTO ACQUA/CEMENTO

Esiste una caratteristica fondamentale che determina le prestazioni di un calcestruzzo: la sua compattezza. Risulta evidente che più il materiale è compatto ed omogeneo, maggiore sarà non solo la sua capacità di resistere all'azione degli agenti aggressivi ma anche la sua resistenza meccanica.

Nella definizione della composizione della miscela un unico parametro governa le due prestazioni:

IL RAPPORTO ACQUA / CEMENTO a/c

La norma riporta i valori massimi di tale rapporto necessari a soddisfare le classi di esposizione e le resistenze minime corrispondenti.

POICHÉ LA R_{ck} È FACILMENTE CONTROLLABILE TRAMITE IL CORRETTO PRELIEVO DI PROVINI, LA CORRISPONDENZA TRA RESISTENZA E CLASSE DI ESPOSIZIONE FORNISCE INOLTRE UN FORMIDABILE STRUMENTO DI VERIFICA DELLE PRESTAZIONI.

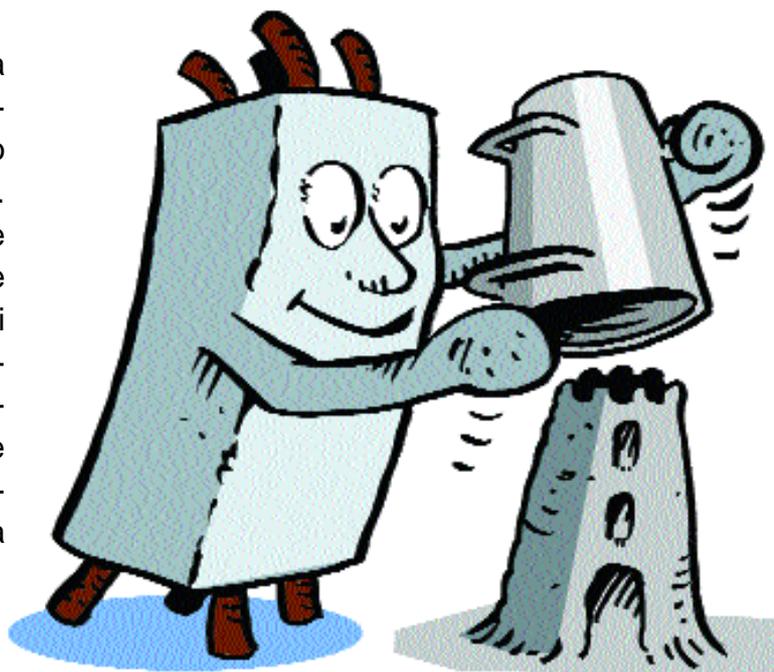
Classi di esposizione EN206	Rapporto a/c max	R _{ck} minima
XC1-XC2	0,60	30
XC3-XF1-XA1-XD1	0,55	37
XS1-XD2-F21-XA2-XF3-XC4	0,50	40
XS2-XS3-FA3-XD3-XF4	0,45	45

LA COMPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO, ED IN PARTICOLARE IL RAPPORTO ACQUA / CEMENTO, NON DEVE MAI ESSERE ALTERATA CON AGGIUNTE DI ACQUA: TUTTE LE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO ANDREBBERO PERDUTE!



CLASSE DI CONSISTENZA

Si identifica come lavorabilità la capacità del calcestruzzo di assumere la forma del recipiente che lo contiene, normalmente il cassero. Ovviamente la lavorabilità deve essere scelta in funzione delle caratteristiche della struttura e dei metodi di compattazione e verificata al momento del getto in cantiere. La lavorabilità di un impasto è molto importante anche per il lavoro che si deve spendere durante la posa e la compattazione.



Il procedimento più usato soprattutto in cantiere è lo **SLUMP TEST** il quale suddivide gli impasti in cinque classi basandosi sulla misura dell'abbassamento al cono del calcestruzzo fresco per effetto del peso proprio:



Classe di consistenza	Abbassamento(mm)	Denominazione corrente	Applicazioni
S1	da 10 a 40	UMIDA	vibrofinitrici
S2	da 50 a 90	PLASTICA	casseri rampanti
S3	da 100 a 150	SEMIFLUIDA	scivoli e tetti
S4	da 160 a 210	FLUIDA	strutture debolmente armate
S5	> di 210	SUPERFLUIDA	strutture fortemente armate,getti orizzontali

SI CONSIGLIA, OVE POSSIBILE, DI PRESCRIVERE CALCESTRUZZO CON CLASSE DI CONSISTENZA MAGGIORE OD UGUALE A S4.

EVITARE ASSOLUTAMENTE AGGIUNTE DI ACQUA IN CANTIERE PERCHÉ DIMINUISCONO LE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO.

CONTROLLARE ATTENTAMENTE LA BOLLA DI SCARICO E VERIFICARE LA CORRISPONDENZA ALL'ORDINE DEL CALCESTRUZZO FORNITO.

DIMENSIONE MASSIMA NOMINALE DELL' AGGREGATO - D_{MAX}

Condizione necessaria per ottenere una struttura omogenea e compatta è la corretta prescrizione della dimensione massima dell'aggregato, indicata con D_{max} .

In particolare i fattori che influenzano il D_{max} sono:

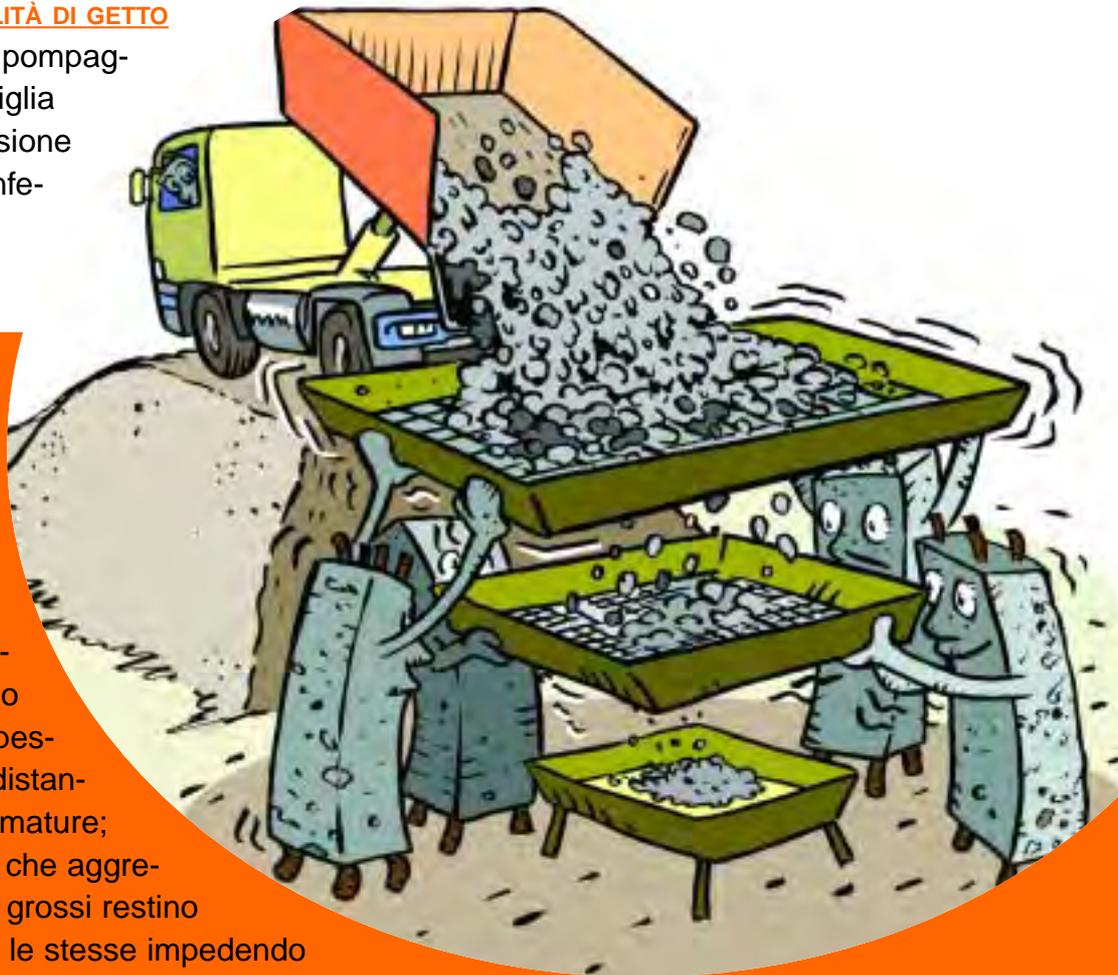
- LA MODALITÀ DI GETTO

(in caso di pompaggio si consiglia una dimensione massima inferiore a 1/3 del diametro del tubo della pompa);

- LA SEZIONE DELLA STRUTTURA

(in caso di solette inferiore a 1/3 o 1/4 dello spessore) e la distanza tra le armature; per evitare che aggregati troppo grossi restino bloccati tra le stesse impedendo il regolare riempimento della cassaforma;

- LO SPESSORE DEL COPRIFERRO , per evitare che gli aggregati vengano a diretto contatto con il cassero senza il necessario strato protettivo di pasta di cemento.



$$D_{MAX} \leq 0,25 \text{ VOLTE LO SPESSORE MINIMO DELLA SEZIONE}$$

$$D_{MAX} \leq 0.75 \text{ VOLTE LO SPESSORE DEL COPRIFERRO}$$

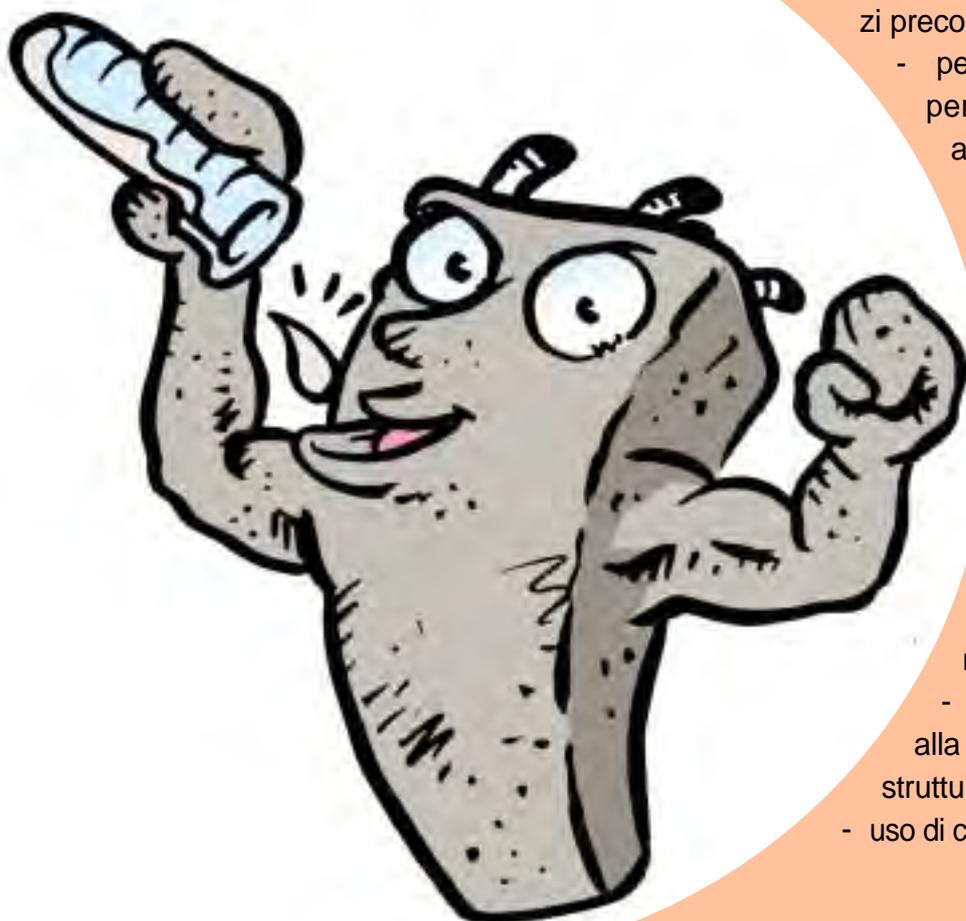
$$D_{MAX} \leq \text{DELLA DISTANZA MINIMA TRA I FERRI DI ARMATURA}$$

RICHIESTA DI PRESTAZIONI PARTICOLARI

Le prescrizioni minime indicate dalle Norme potrebbero non essere sufficienti a definire il calcestruzzo più adatto ad una struttura. Si può approfondire la scelta del materiale, sempre con l'ausilio delle Norme e con le possibilità che la tecnologia del calcestruzzo oggi può offrire.

Possono essere prescritte prestazioni particolari ottenibili con ricette specifiche o aggiunta di additivi:

- sviluppo delle resistenze predefinito, ad es. per accelerare i tempi di scasso o per calcestruzzi precompressi;
- permeabilità ridotta per ambienti aggressivi;
- resistenza alla penetrazione di agenti esterni;
- ritiro controllato per getti di estese dimensioni;
- calore di idratazione ridotto per getti massivi;
- aggregati adatti alla realizzazione di strutture facciavista;
- uso di cementi particolari;



Oppure

si possono richiedere aggiunte alla miscela:

- **fibre sintetiche o metalliche** per contrastare i fenomeni di ritiro e migliorare la resistenza a flessione nelle pavimentazioni;
- **agenti espansivi** per ridurre il ritiro;
- **additivi**: acceleranti o ritardanti a seconda della stagione;
- **aggregati particolari**, per colore, forma o peso specifico: ad es. gli aggregati baritici per la protezione dalle radiazioni o basaltici per la realizzazione di caveau di banca;
- **coloranti**;
- **ceneri volanti o fumi di silice** per aumentare la durabilità.



3
PRODUZIONE

3.1

IMPIANTI PER LA PRODUZIONE
E IL DOSAGGIO



3.2
FUNZIONAMENTO
DELLE CENTRALI DI
BETONAGGIO

3.3

MINI BETONIERE DA CANTIERE



PRODUZIONE

Volendo produrre un calcestruzzo durevole, con buone caratteristiche di resistenza, sono necessari un'accurata scelta dei materiali, un attento dosaggio, ed inoltre una corretta tecnologia di preparazione dell'impasto. Normalmente ci si affida a centrali di betonaggio, dove i diversi componenti vengono miscelati secondo precise ricette. Il sistema di dosaggio più usato per i singoli componenti è quello per pesata.

Terminata questa fase avviene la miscelazione che ha lo scopo di amalgamare bene tutti gli ingredienti, in modo tale da distribuire le particelle di cemento per facilitarne il contatto con l'acqua. Infine possono essere impiegate eventuali aggiunte.

Al fine del confezionamento di un calcestruzzo di qualità è importante anche la sequenza di introduzione dei componenti.



Bisogna assolutamente evitare:

- **INCROSTAZIONI O GRUMI DI CEMENTO;**
- **SEGREGAZIONE DELL'INERTE PIÙ GROSSO;**

L'IMPASTO DEVE ESSERE IL PIÙ OMOGENEO POSSIBILE

IMPIANTI PER LA PRODUZIONE ED IL DOSAGGIO

La classificazione degli impianti per la produzione industriale può essere effettuata a grandi linee in base a:

IL METODO DI MESCOLAZIONE, che a sua volta è ulteriormente suddiviso in:

- centrali con caricamento a secco, dove i diversi componenti del calcestruzzo vengono solamente dosati nelle corrette proporzioni per essere poi caricati su autobetoniere per la successiva miscelazione;
- centrali con premiscelazione forzata, dove i componenti vengono inviati nel miscelatore fisso, confezionando direttamente l'impasto, lasciando all'autobetoniera solamente il compito di trasporto.

IL FLUSSO DI MATERIALI che può essere:

- ad avanzamento orizzontale, dove il trasporto degli aggregati avviene con nastri che portano il materiale al punto di carico;
- ad avanzamento verticale, dove i componenti sono stoccati in silos posti sopra il miscelatore o l'autobetoniera e l'alimentazione avviene per caduta.

LA STRUTTURA DELL'IMPIANTO che può essere:

- fissa: tipica delle centrali di betonaggio, degli impianti di prefabbricazione, dei grossi cantieri;
- mobile: caratteristica dei cantieri di piccole e medie dimensioni.

Tutti questi impianti possiedono un sistema di stoccaggio separato degli aggregati, un sistema di dosaggio di precisione (generalmente per pesata), una postazione di comando per controllare tutto il ciclo produttivo ed un laboratorio con le apparecchiature per il controllo della qualità del prodotto.

Gli impianti devono soddisfare tutte le normative in tema ambientale e di sicurezza: in particolare devono essere ridotte le emissioni di polveri (soprattutto di cemento, ma anche quelle provenienti dagli aggregati) e trattate tutte le acque che possono essere a contatto con il cemento, potenzialmente inquinanti.

Sono spesso presenti anche impianti per il trattamento dei residui di calcestruzzo e delle acque di lavaggio delle autobetoniere.



FUNZIONAMENTO DELLE CENTRALI DI BETONAGGIO

Il principio di funzionamento è comune a tutte le tipologie di impianto e può essere visualizzato nel percorso compiuto dalle materie prime:

AGGREGATI: dalle tramogge di stoccaggio passano in un cassone pesatore tramite bocchette di estrazione, fino al raggiungimento della quantità voluta per ogni classe granulometrica. Al termine della pesatura il materiale viene trasportato al punto di carico, ancora tramite nastri o per caduta.

CEMENTO: dai sili viene trasportata in pesa la quantità desiderata, in genere mediante coclee. Altre coclee trasportano il cemento dalla pesa al punto di carico.

ACQUA: la giusta quantità viene misurata mediante misuratori di portata o bilance e trasportata al punto di carico mediante tubazioni.

ADDITIVI: dalle cisterne viene estratta la quantità voluta, in genere misurata a volume.

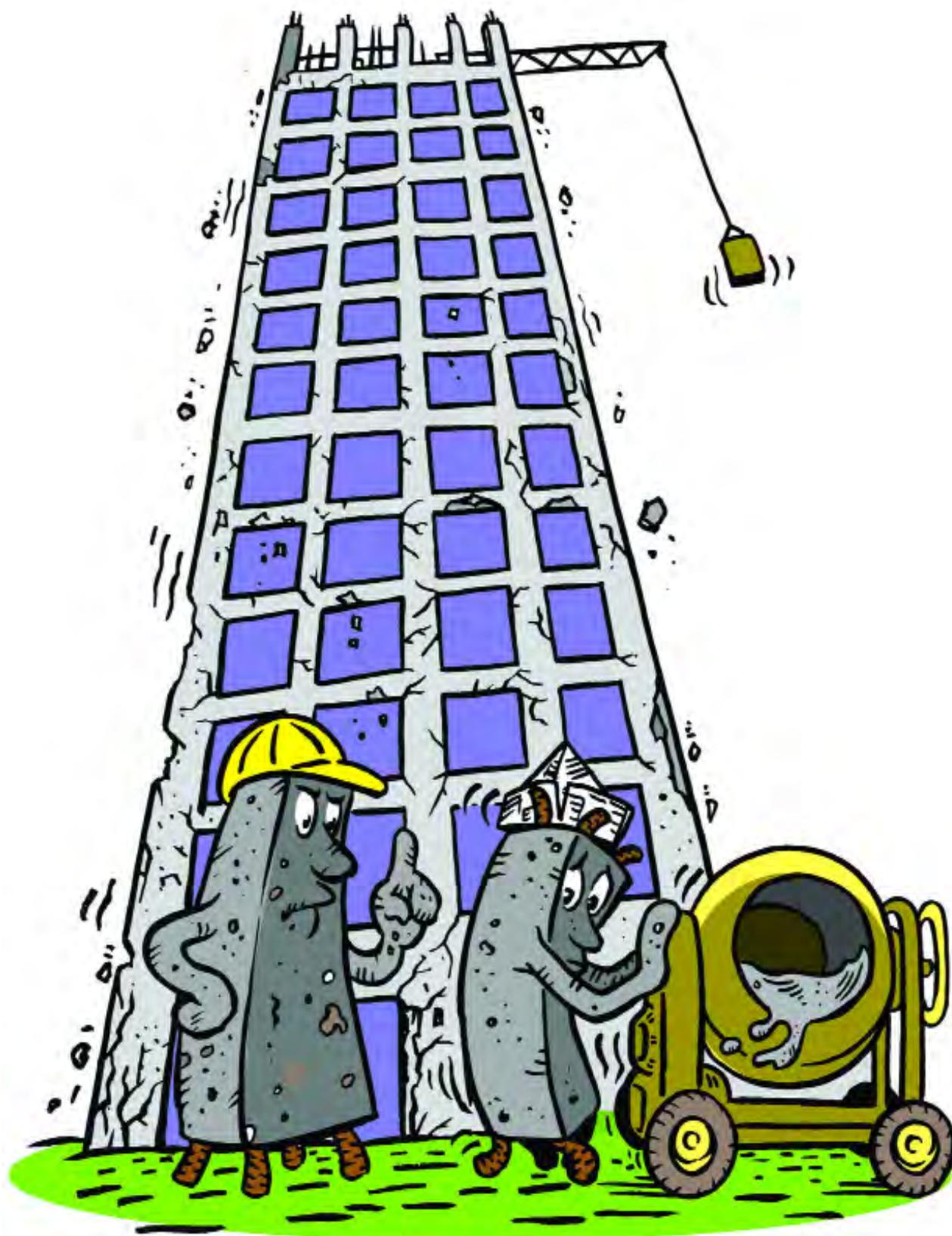


TUTTE LE TOLLERANZE DA RISPETTARE NEL DOSAGGIO DEI COMPONENTI SONO PREVISTE DALLE NORMATIVE E LE BILANCE DEVONO POSSEDERE I CERTIFICATI DI TARATURA PERIODICI.

L'IMPASTO, CHE AVVENGA IN UN MISCELATORE O IN AUTOBETONIERA, DEVE GARANTIRE UNA MISCELA OMOGENEA: I SISTEMI DI MISCELAZIONE DEVONO ESSERE IN BUONA EFFICIENZA. LA SEQUENZA DI CARICO DEI MATERIALI DEVE ESSERE APPROPRIATA ED IL TEMPO DI MISCELAZIONE SUFFICIENTE.

MINIBETONIERA DA CANTIERE

NON SI POSSONO REALIZZARE STRUTTURE





4
TRASPORTO

4.1

MANTENIMENTO DELLA
MISCELAZIONE OTTIMALE



4.2
COSA SI LEGGE
SULLA BOLLA
DI CONSEGNA

4.3

COSA SI SCRIVE SULLA BOLLA
DI CONSEGNA



TRASPORTO

Quest'operazione viene eseguita con mezzi meccanici chiamati autobetoniere, dotate di un tamburo rotante che ha la funzione di agitare il conglomerato durante il trasporto con una velocità di miscelazione regolabile. Il carico e lo scarico del materiale dipendono dal senso di rotazione della botte. Esistono due tipi di mezzi con diversa capacità di carico, di cui bisogna tenere conto ai fini dell'accessibilità in cantiere.

AUTOBETONIERA A 3 ASSI:

L'INGOMBRO MASSIMO È: *larghezza 2.50 m, lunghezza 7,5 m, altezza 4.00 m;*

IL PESO DEL MEZZO A PIENO CARICO È: *32 t circa;*

AUTOBETONIERA A 4 ASSI:

L'INGOMBRO MASSIMO È: *larghezza 2.50 m, lunghezza 9.00 m, altezza 4.00 m;*

IL PESO DEL MEZZO A PIENO CARICO È: *40 t circa;*

VERIFICARE CHE LE DIMENSIONI DELLA STRADA, PASSI CARRAI, SPORGENZE ED EVENTUALI PONTI SIANO IN GRADO DI GARANTIRNE IL PASSAGGIO.



MANTENIMENTO DELLA MISCELAZIONE OTTIMALE

Considerando le diverse condizioni ambientali ed il tipo di impasto la lavorabilità media di un conglomerato è di circa due ore. Bisogna assicurarsi che il metodo di trasporto dell'impasto influisca il meno possibile sulla lavorabilità e omogeneità richieste per lo stesso. Normalmente si utilizzano autobetoniere nelle quali l'omogeneizzazione è ottenuta mediante la rotazione del tamburo. Inevitabilmente però durante il trasporto il calcestruzzo subisce una riduzione della consistenza dovuta a:

tempo di trasporto: all'aumentare di quest'ultimo si accentua la diminuzione della lavorabilità dovuta all'inizio delle reazioni di idratazione;

temperatura: operando in climi caldi e secchi si incrementa l'evaporazione dell'acqua accelerando il tempo di presa;

tipo di cemento: a seconda del tipo utilizzato, tanto più veloce è la sua idratazione, tanto più elevata risulterà la perdita di lavorabilità.



QUINDI:

OVE POSSIBILE EVITARE TRASPORTI TROPPO LUNGI, OPPURE PREDISPORRE OPPORTUNI ACCORGIMENTI

COSA SI LEGGE SULLA BOLLA DI CONSEGNA

Data e Ora dell'inizio trasporto

Verificare l'orario di carico

Verificare la quantità

DESCRIZIONE COMPLETA DEL PRODOTTO

CALCESTRUZZO A PRESTAZIONE	DIAMETRO MASSIMO	CLASSE DI CONSISTENZA	CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE
Rck N/mm ² 25	mm 30	S3	2a
QUANTITA' CONSEGNA metri cubi	DESCRIZIONE DEL PRODOTTO		
1.00	Rck 25 S3 Dm>25 mm CE 2a		

VERIFICA PRODOTTO

Il carico è stato controllato secondo le procedure Aziendali

Firma addetto al carico

Firma trasportatore

SISTEMA QUALITA'

EVENTUALE CERTIFICAZIONE DI QUALITA' DEL FORNITORE



COSA SI SCRIVE SULLA BOLLA DI CONSEGNA



TRASPORTO

arrivo cantiere inizio scarico fine scarico

Three empty rounded rectangular boxes for recording transport times.

Accettazione prodotto

ATTENZIONE

l'aggiunta di acqua nell'impasto modifica le caratteristiche del prodotto; essa, pertanto, avviene sotto l'esclusiva responsabilità del richiedente

LITRI D'ACQUA AGGIUNTI SU RICHIESTA

One empty rounded rectangular box for recording the number of liters of water added.

Firma per ricevimento e accettazione del prodotto

One long empty rounded rectangular box for recording the signature.

Annotare gli orari di effettuazione della consegna

SOLO IN CASI ECCEZIONALI!!!
Decade ogni garanzia sul prodotto

- **Leggibile**
- Di persona autorizzata



5
MESSA IN OPERA

5.1

CASSEFORME



5.2
PREPARAZIONE E
PREDISPOZIONE
DELLE ARMATURE

5.3

GETTO



5.4
COMPATTAZIONE DEL
GETTO

5.5

INTERRUZIONI, RIPRESE,
GIUNTI



MESSA IN OPERA

Consiste in tutte le operazioni che, a partire dalla predisposizione delle casseforme, delle armature, dei distanziali, attraverso lo scarico del calcestruzzo dall'auto-betoniera, arrivano alla successiva compattazione del materiale, necessaria per assicurare il completo ed omogeneo riempimento dei casseri. Per strutture di una certa dimensione occorre prestare particolare attenzione alle interruzioni e successive riprese del getto, ed anche agli eventuali giunti, che rappresentano punti deboli del manufatto. Volendo realizzare strutture in calcestruzzo armato facciavista, tutte le operazioni di messa in opera risultano fondamentali per la qualità del prodotto finale, in quanto anche minime disattenzioni possono causare variazioni di colore o superfici irregolari.



CASSEFORME

Costituiscono il “contenitore” utilizzato durante le operazioni di getto per modellare il calcestruzzo nella forma desiderata. Si suddividono in casseri a perdere o riutilizzabili, e possono essere costituiti da diversi materiali. Nel caso di opere in calcestruzzo a facciavista, a seconda della scelta fatta in fase progettuale si può conferire alla superficie del conglomerato un aspetto lucido, liscio, ruvido o sagomato. Si deve evitare la formazione di bolle qualora si impieghino casseri in plastica, acciaio, resine; quelli in legno potrebbero causare un eccessivo assorbimento dell’acqua di impasto. La superficie interna del cassero deve essere pulita e preferibilmente ricoperta di uno strato di disarmante che permetta il facile distacco dal calcestruzzo una volta indurito.

I pannelli del cassero devono essere perfettamente sigillati.



LE PARETI DEL CASSERO NON DEVONO APRIRSI SOTTO LA SPINTA DEL CALCESTRUZZO DURANTE IL GETTO. IL CASSERO DEVE MANTENERE INALTERATE LA SUA POSIZIONE E FORMA DURANTE IL GETTO. VERIFICARE L'ASSENZA DI SPORCIZIA ALL'INTERNO DEL CASSERO

PREPARAZIONE E PREDISPOSIZIONE DELLE ARMATURE

Tutte le strutture realizzate in calcestruzzo devono essere progettate da un tecnico abilitato, il quale redige un progetto dal quale si ricava il numero e la dimensione delle barre di armatura da inserire nel conglomerato. Queste vengono annegate nel calcestruzzo allo scopo di resistere agli sforzi di trazione, non sopportati dal calcestruzzo.

Ciascun elemento deve possedere specifiche caratteristiche di resistenza certificate da appositi laboratori riconosciuti dal Ministero.

Il disegno della gabbia di armatura ed il posizionamento delle armature longitudinali varia in funzione della struttura che si deve realizzare (pilastro, balcone, soletta, ecc...).

Contrariamente a quanto si pensi, l'armatura per pavimenti dovrebbe essere calcolata esattamente come avviene per qualsiasi altra struttura in calcestruzzo

armato, anche se la normativa non lo prevede, ciò per garantire una corretta esecuzione del pavimento stesso.

In fase di montaggio delle armature e dei casseri vengono predisposti **I DISTANZIALI**, appositi elementi che allontanano le armature dalle pareti delle casseforme tenendole in posizione durante il getto e garantendo la corretta esecuzione del copriferro. I ferri di armatura devono essere strettamente legati fra di loro per evitare spostamenti durante il getto.



IN CANTIERE PROTEGGERE TUTTE LE ARMATURE DALL'UMIDITÀ PER IMPEDIRNE L'OSSIDAZIONE

GETTO

Con questo termine si identificano tutte le manovre necessarie al trasferimento del calcestruzzo dall'autobetoniera alle casseforme. Il conglomerato può essere trasferito nei casseri direttamente mediante scivoli o tubi, oppure con l'ausilio di un'auto-pompa che permette di superare ostacoli o dislivelli. Tutte le operazioni di getto devono essere eseguite in modo da evitare la caduta del materiale da altezze elevate, perché si potrebbe verificare la separazione dell'aggregato grosso (*segregazione*) con la conseguente formazione dei nidi di ghiaia o vespai. Per eseguire un buon getto il riempimento delle casseforme deve avvenire lentamente, evitando così la formazione di bolle o sacche d'aria nel materiale.



**IN FASE DI GETTO IMPIEGARE SCIVOLI O TUBI CHE RAGGIUNGANO IL FONDO DELLE CASSEFORME.
VERIFICARE LE CONDIZIONI CLIMATICHE PRIMA DEL GETTO (FREDDO, CALDO, PIOGGIA...)
È SCONSIGLIATO GETTARE CON TEMPERATURE INFERIORI A 2 GRADI SOTTO ZERO.**

COMPATTAZIONE DEL GETTO

Durante le operazioni di getto, il calcestruzzo introdotto nelle casseforme contiene sempre una quantità di aria inglobata (5 – 20 %), che deve essere ASSOLUTAMENTE eliminata per ottenere un conglomerato durevole e di qualità.

Con il termine **COMPATTAZIONE** o **COSTIPAZIONE** viene indicata l'operazione di eliminazione dell'aria dal materiale, oltre al conseguente riempimento uniforme delle casseforme, e normalmente viene eseguita con mezzi meccanici. Tale operazione può essere:

interna: immergendo nel calcestruzzo un elemento affusolato chiamato ago che produce una vibrazione del materiale facilitando la fuoriuscita delle bolle d'aria. Poiché il vibratore ha un raggio di azione limitato (10 – 60 cm), questo deve essere ripetutamente immerso in verticale per l'intera estensione del getto e manovrato lentamente per evitare la formazione di vuoti nel conglomerato. Questo è il metodo più usato nei cantieri perché è il più pratico, nonché adattabile a tutti i tipi di getto;

esterna: la vibrazione viene trasmessa al calcestruzzo dalle casseforme. È il sistema usato negli stabilimenti di prefabbricazione.



L'UNITÀ DI MISURA DEL CALCESTRUZZO È IL METRO CUBO ASSESTATO IN OPERA, CIOÈ DOPO LA VIBRAZIONE (IL CALO DI VOLUME PUÒ ESSERE DI CIRCA IL 10%)

PER OTTENERE UN CALCESTRUZZO OMOGENEO, ESEGUIRE IL GETTO PER STRATI SUCCESSIVI DI CIRCA 40 - 50 CM DI SPESSORE E PROCEDERE ALLA COSTIPAZIONE.

LA VIBRAZIONE DEVE SERVIRE A COMPATTARE IL MATERIALE ELIMINANDO L'ARIA E DEVE ESSERE USATA COME MEZZO PER SPOSTARLO ALL'INTERNO DELLA CASSAFORMA.

INTERRUZIONI, RIPRESE, GIUNTI

Gli elementi strutturali realizzati in calcestruzzo dovrebbero essere monolitici, cioè privi di discontinuità ad eccezione dei giunti strutturali appositamente progettati. Tuttavia quando gli elementi da realizzare sono di notevoli dimensioni, risulta difficile gettare con continuità. All'interruzione consegue quindi una ripresa di getto, che, se male eseguita, potrebbe causare problemi di degrado accelerato. Le riprese possono essere così realizzate:



FRESCO SU FRESCO: quando dopo aver effettuato il getto di ripresa si può ancora procedere alla vibrazione per alcuni centimetri dello strato di calcestruzzo precedente, amalgamando così l'intera massa del conglomerato.



SU CALCESTRUZZO INDURITO: quando l'intervallo che intercorre tra un getto e il successivo è tale che il precedente risulti già indurito bisogna predisporre la superficie di ripresa, in modo che si presenti scabra, asportando meccanicamente uno strato di materiale.

In seguito si applica una malta a ritiro compensato per collegare i due getti e solo al termine di queste operazioni si procede a gettare il nuovo conglomerato.



6
STAGIONATURA E
DISARMO

6.1

DISARMO E TEMPISTICHE



6.2
MATURAZIONE DEI
GETTI E PROTEZIONE

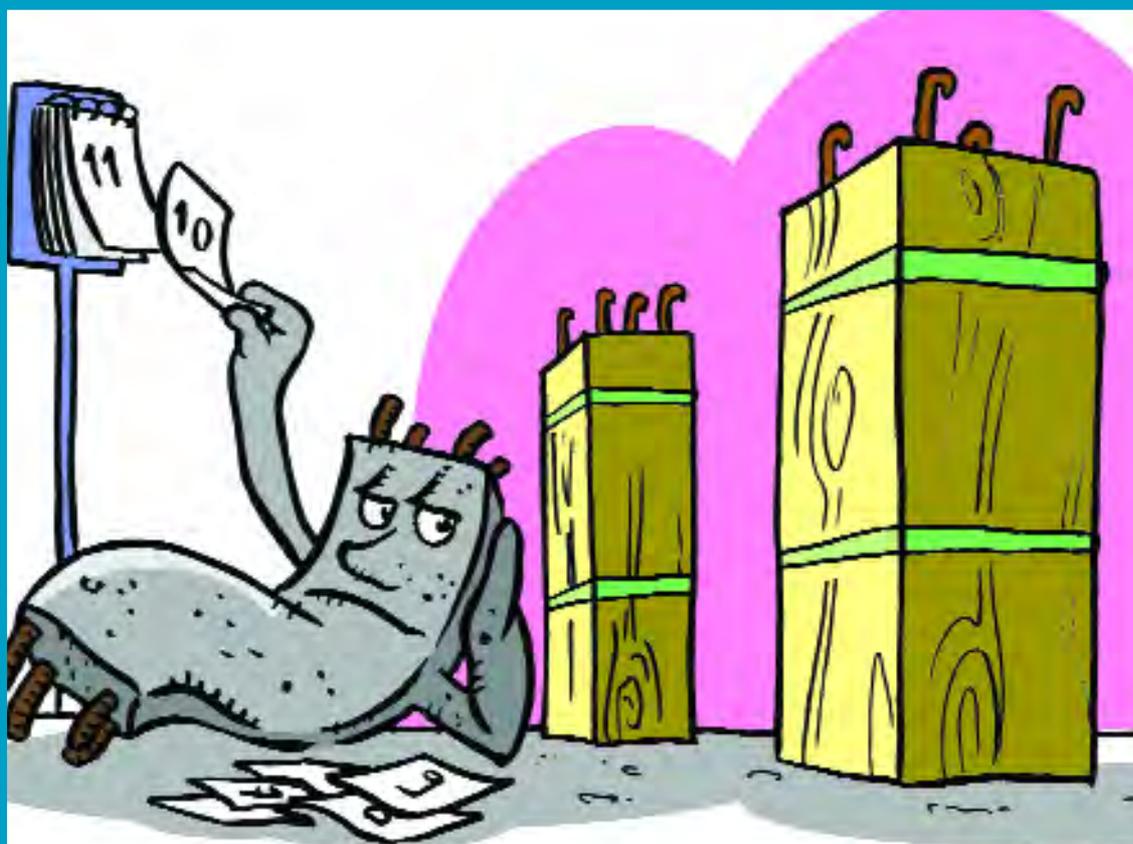
6.3

FINITURE SUPERFICIALI



STAGIONATURA E DISARMO

Dopo aver eseguito il getto bisogna assicurarsi che il conglomerato maturi in maniera corretta, sviluppando la resistenza caratteristica. Perché tale fenomeno si verifichi è necessario curare e proteggere il conglomerato affinché le condizioni ambientali non influiscano sulla regolare maturazione del getto. Tutti i calcestruzzi sviluppano la resistenza gradualmente, in un arco di tempo la cui durata varia in funzione dell'ambiente circostante e delle caratteristiche del calcestruzzo stesso.



DISARMO E TEMPISTICHE

Le operazioni di disarmo dei getti possono iniziare solo quando il calcestruzzo abbia raggiunto una resistenza tale da renderlo autoportante e non in grado di subire danni per la mancanza delle casseforme. Ricordiamo però che lo sviluppo della resistenza convenzionale avviene a 28 giorni e prima di tale termine non si possono applicare carichi di esercizio (come materiali di cantiere, ...).

I tempi di disarmo dipendono dalla temperatura ed umidità ambientale, dal tipo e quantità di cemento e di additivi impiegati; **si può partire da un minimo di 3 giorni fino a 10 giorni o più.**

Nel caso di solai e travi è consigliabile non togliere tutti i puntelli contemporaneamente, ma lasciarne alcuni in opera, specialmente nei punti nevralgici della struttura. Si consiglia inoltre l'impiego di una sostanza anti-adesiva (disarmante) che faciliti il distacco delle casseforme dal getto.



RISPETTARE SEMPRE I TEMPI MINIMI DI DISARMO INDICATI
DAL DIRETTORE DEI LAVORI.

MATURAZIONE DEI GETTI E PROTEZIONE

Con il termine maturazione si intendono tutti quei processi chimico – fisici che avvengono nel conglomerato in seguito all'idratazione del cemento innescando così il fenomeno di presa ed indurimento del calcestruzzo.

La maturazione è fortemente influenzata dalle condizioni ambientali; ad esempio all'aumentare della temperatura tale processo subisce un'accelerazione, che comporta un incremento dell'evaporazione dell'acqua di impasto e la successiva formazione di fessure sulla superficie del calcestruzzo per effetto del repentino ritiro della massa. Inoltre un'eccessiva evaporazione dell'acqua d'impasto impedisce la regolare idratazione del materiale e causa la polverizzazione della superficie. Viceversa la maturazione rallenta notevolmente al diminuire della temperatura; quindi durante la stagione fredda potrebbe rendersi necessario predisporre adeguati sistemi di protezione termica per impedire il congelamento dell'acqua d'impasto.



**PROTEGGERE SEMPRE IL CALCESTRUZZO
DALL'EVAPORAZIONE CON PELLICOLE
IMPERMEABILI O CON MATERIALI CHE POS-
SONO ESSERE MANTENUTI UMIDI.**

FINITURE SUPERFICIALI

La superficie del calcestruzzo può essere sottoposta a trattamenti al fine di proteggerla e di migliorarne le qualità estetiche. Nel primo caso, allo scopo di ridurre il più possibile l'ingresso degli agenti aggressivi, si applicano dei prodotti che creano una pellicola idrorepellente incolore o colorata. Il loro utilizzo è consigliato su strutture inserite in ambienti aggressivi. Nel secondo caso si utilizzano casseri sagomati o trattamenti meccanici come la lavatura, la scalpellatura, la bocciardatura, la spazzolatura, la sabbiatura, che asportano una certa quantità di prodotto modificandone l'aspetto superficiale.



7

CALCESTRUZZI SPECIALI



7.1
CALCESTRUZZI
LEGGERI E ISOLANTI

7.2

CALCESTRUZZI PESANTI



7.3
CALCESTRUZZI AD
ALTA RESISTENZA

7.4

CALCESTRUZZI FIBRO-
RINFORZATI



7.5
CALCESTRUZZI
COLORATI

7.6

CALCESTRUZZI A RITIRO
COMPENSATO



7.7
CALCESTRUZZI CON
FUMI DI SILICE

CALCESTRUZZI SPECIALI

Vengono così denominati tutti quei conglomerati che possiedono caratteristiche particolari e che vengono utilizzati per impieghi specifici.

Sono confezionati utilizzando come base di partenza il calcestruzzo ordinario nel quale si sostituiscono alcuni componenti o se ne aggiungono di nuovi.

Tra i più diffusi citiamo:

- **CALCESTRUZZI LEGGERI ED ISOLANTI;**
- **CALCESTRUZZI PESANTI;**
- **CALCESTRUZZI AD ALTA ED ALTISSIMA RESISTENZA;**
- **CALCESTRUZZI FIBRO-RINFORZATI;**
- **CALCESTRUZZI COLORATI;**
- **CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO;**
- **CALCESTRUZZI CON FUMI DI SILICE.**



CALCESTRUZZI LEGGERI E ISOLANTI

Sono quei calcestruzzi che possiedono una massa volumica inferiore rispetto a quella del calcestruzzo ordinario che è compresa tra 2300 e 2500 Kg/m³. La normativa italiana prevede due tipi di conglomerati leggeri:

- **calcestruzzo leggero strutturale:** deve avere una massa volumica compresa tra 1400 e 2000 Kg/m³ e può avere resistenze fino a $R_{ck}=35 \text{ N/mm}^2$. Viene confezionato sostituendo in parte o del tutto l'aggregato normale con uno naturale od artificiale più leggero. In relazione al tipo di aggregato utilizzato si può ottenere anche un aumento delle caratteristiche isolanti (termiche e acustiche). Questo tipo di conglomerato trova impiego soprattutto nelle strutture di nuova edificazione dove si richiede leggerezza o nelle ristrutturazioni.

- **calcestruzzo leggero non strutturale:** possiede una massa volumica compresa tra 600 e 1200 Kg/m³ ed ha scarsi valori di R_{ck} ; per questo viene impiegato soprattutto nella coibentazione (solai, pannelli..). La leggerezza dell'impasto viene ottenuta introducendo nella massa degli aggregati particolari come argilla espansa, palline di polistirolo espanso...



CALCESTRUZZI PESANTI

Sono calcestruzzi con massa volumica maggiore rispetto ai calcestruzzi normali. Per aumentare la massa si sostituisce parzialmente o totalmente l'aggregato con uno avente densità più elevata (barite,...). Con tali aggregati si riesce a confezionare un conglomerato con massa anche doppia rispetto ad un calcestruzzo normale ($= 5000 \text{ kg/m}^3$).

L'impiego di calcestruzzi di questo tipo è destinato ad usi particolari quali la schermatura dalle radiazioni ad alta energia.

Vengono utilizzati anche aggregati basaltici, di particolare durezza, per la realizzazione di strutture anti intrusione (caveaux di banche, bunker).



CALCESTRUZZI REALIZZATI CON AGGREGATI PESANTI PRESENTANO IL PROBLEMA DELLA SEGREGAZIONE ESSENDO IL PESO DELL'AGGREGATO MAGGIORE RISPETTO A QUELLO DELLA PASTA CEMENTIZIA.

CALCESTRUZZI AD ALTA RESISTENZA

Oltre ai calcestruzzi normali con resistenze meccaniche che possono arrivare fino a 55 N/mm^2 , ne esistono altri non ancora contemplati dalla normativa italiana, che possiedono resistenze a compressione maggiori.

Tra questi troviamo:

- **calcestruzzi ad alta resistenza:** ($R_{ck} 60 \text{ N/mm}^2 - 100 \text{ N/mm}^2$), ottenuti agendo sulle seguenti caratteristiche del conglomerato:

- tipo di cemento;
- basso rapporto acqua - cemento;
- utilizzo di additivi riduttori di acqua;
- bassa porosità della massa;

- **calcestruzzi ad altissima resistenza:** ($R_{ck} > 100 \text{ N/mm}^2$) per ottenere questi conglomerati sono indispensabili, oltre alle materie prime adeguate, tecnologie esecutive particolari che consentano alle stesse di raggiungere le loro migliori prestazioni, tra queste:

- la maturazione con vapore ad alta pressione;
- l'impregnazione con monomeri e successiva polimerizzazione;
- l'uso di aggiunte.



ALL'AUMENTARE DELLE RESISTENZE IL CALCESTRUZZO DIVENTA PIÙ COMPATTO, DI CONSEGUENZA PIÙ RESISTENTE ALLE AGGRESSIONI DELL'AMBIENTE E QUINDI PIÙ DUREVOLE.

CALCESTRUZZI FIBRO-RINFORZATI



Sono calcestruzzi normali ai quali vengono aggiunte fibre di diversa natura (polimerica, vetrosa, metallica,...) che formano un reticolo diffuso all'interno della massa. Le fibre forniscono un rinforzo tridimensionale conferendo al conglomerato migliori caratteristiche riassumibili in:

- **AUMENTO DELLA DUTTILITÀ ;**
- **INCREMENTO DELLA RESISTENZA A TRAZIONE (E DI CONSEGUENZA A FLESSIONE) DEL CALCESTRUZZO;**
- **MIGLIORE RESISTENZA ALL'URTO E ALL'USURA;**
- **FESSURAZIONE RIDOTTA.**

Le fibre vengono classificate in due categorie:

- **fibre con modulo elastico minore del calcestruzzo indurito** (nylon, cellulosa, ...), usate per ridurre il ritiro in fase plastica e per contenere la fessurazione;
- **fibre con modulo elastico maggiore del calcestruzzo indurito** (vetro, acciaio, carbonio, ...), utilizzate per aumentare la resistenza a trazione del calcestruzzo indurito.

QUESTI CALCESTRUZZI GENERALMENTE VENGONO UTILIZZATI NELLA REALIZZAZIONE DI OPERE SOGGETTE ALL'USURA ED AGLI URTI.

CALCESTRUZZI COLORATI



I progettisti raramente prendono in considerazione la possibilità di utilizzare conglomerati colorati, eppure le attuali tecniche di produzione permettono una pigmentazione della massa con qualità estetiche molto interessanti. Spesso una colorazione diversa dal tradizionale grigio conferisce alle opere realizzate in calcestruzzo un diverso impatto visivo. Una semplice pellicola pittorica superficiale per colorare il conglomerato si rivelerebbe poco durevole; è quindi necessario ricorrere ad appositi pigmenti in polvere, da miscelare durante il confezionamento, per colorare l'intera massa. Qualora la superficie esterna dovesse essere lavorata, è indispensabile valutare le caratteristiche cromatiche degli aggregati in modo da non influenzare negativamente l'aspetto finale del calcestruzzo colorato.

CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO



Il calcestruzzo a ritiro compensato impropriamente detto anche "antiritiro", è un conglomerato cementizio che contiene un additivo in grado di contrastare la diminuzione di volume della massa durante la fase di presa ed indurimento. A volte le tensioni provocate dal ritiro sono tali da superare la resistenza a trazione del calcestruzzo, formando sulla superficie del conglomerato un reticolo di fessure. Queste ultime possono essere ridotte notevolmente con l'impiego di additivi contenenti agenti espansivi o con l'utilizzo di cementi e miscele aventi ridotti calori di idratazione.

Le applicazioni più comuni di questo tipo di calcestruzzo sono:

- **RIPRISTINO DI MANUFATTI CON ADESIONE DEL NUOVO CONGLOMERATO SU QUELLO VECCHIO;**
- **ESECUZIONE DI GROSSI GETTI DOVE È MAGGIORE IL RISCHIO DI FESSURAZIONE**
- **GETTI IN OPERA DI COLLEGAMENTO FRA ELEMENTI PREFABBRICATI.**

CALCESTRUZZI CON I FUMI DI SILICE

I progressi fatti negli ultimi anni dalla tecnologia di produzione del calcestruzzo hanno portato all'utilizzo di materiali integrativi come i sottoprodotti dei processi industriali. Tra questi il fumo di silice condensato, una polvere ottenuta dalla produzione del silicio e delle leghe ferro - silicio, che risulta essere più fine del cemento e possiede

caratteristiche di pozzolanicità. Le particelle si collocano tra gli interstizi dei granuli di cemento riducendo la porosità del conglomerato ed apportando alcuni vantaggi quali:

- **l'incremento delle resistenze meccaniche (R_{ck});**
- **la diminuzione della permeabilità;**
- **l'abbassamento del calore di idratazione;**



Poiché la velocità di degrado è legata alla permeabilità del calcestruzzo, con l'aggiunta del fumo di silice si riduce tale valore ed il conglomerato acquista maggiore durabilità.

QUESTO CONGLOMERATO È PARTICOLARMENTE ADATTO PER OPERE INSERITE IN AMBIENTI CHIMICAMENTE MOLTO AGGRESSIVI.



8
SCC

8.1

GRADO DI COMPATTAZIONE



8.2
CONTROLLO IN
CANTIERE

8.3

CASSERI E MESSA IN
OPERA



SCC

SCC

Negli ultimi anni il progresso della tecnologia ha sviluppato un conglomerato ad elevata fluidità, noto come calcestruzzo autocompattante o SCC (Self Compacting Concrete), capace di riempire le casseforme anche negli angoli più difficili e di aderire bene alle armature. I getti vengono eseguiti con i metodi tradizionali; il maggiore vantaggio di questo conglomerato è l'elevata scorrevolezza che permette la messa in opera per gravità, cioè senza l'ausilio di nessuna forma di vibrazione. Inoltre i conglomerati autocompattanti mantengono inalterata l'omogeneità dell'impasto senza dare luogo a segregazione.

Questo nuovo calcestruzzo rende possibile ottenere strutture più resistenti e compatte di quelle gettate con il calcestruzzo tradizionale, e quindi più durevoli, garantendo alle committenze un risparmio sulle manutenzioni unitamente ad un gradevole faccia a vista.



NESSUNA VIBRAZIONE;

RIDUZIONE DEL PERSONALE ADDETTO AL GETTO;

MAGGIOR PRODUTTIVITA';

MIGLIOR QUALITA' COMPLESSIVA DELL'OPERA;

MAGGIOR LIBERTA' DI PROGETTAZIONE.

GRADO DI COMPATTAZIONE

Il calcestruzzo autocompattante risolve alla base uno dei maggiori problemi nella messa in opera del calcestruzzo: l'eliminazione dell'aria inglobata che riduce la resistenza del materiale in opera.

Nemmeno la vibrazione, quando correttamente eseguita, risolve in modo completo ed uniforme il problema, oltre a richiedere tempo e personale. Inoltre c'è sempre il rischio che la verifica della Resistenza Caratteristica, effettuata su cubetti sicuramente vibrati alla perfezione, non rappresenti correttamente una struttura più ampia in cui l'efficacia della vibrazione può non essere stata ovunque ottimale.

CON L'SCC IL PROBLEMA NON SI PONE: IL MATERIALE SI COMPATTA NEL CUBETTO COME NELL'OPERA, ED I PROVINI SONO PIÙ RAPPRESENTATIVI DELLA STRUTTURA.

L'aria inglobata viene praticamente eliminata in modo completo, ottenendo un materiale compatto, con maggiore resistenza meccanica e ridotta permeabilità agli agenti aggressivi.



CONTROLLO IN CANTIERE



UN ALTRO GRANDE VANTAGGIO DELL'SCC È LEGATO ALLA POSSIBILITÀ DI CONTROLLARE PRIMA DEL GETTO QUELLE CHE SARANNO LE CARATTERISTICHE EFFETTIVE IN OPERA, NON ESSENDOCI PIÙ NESSUNA OPERAZIONE SUCCESSIVA DI STESA O VIBRAZIONE.

Le prove su materiale fresco sono molto più significative e permettono un vero controllo di accettazione del materiale all'arrivo in cantiere.

Per un controllo efficace e molto semplice si utilizza il noto cono di Abrams; in questo caso si valuta però lo spandimento, cioè il diametro assunto dalla "focaccia" di calcestruzzo dopo aver sollevato il cono.

Per simulare l'effetto dell'armatura la stessa prova viene poi ripetuta con l'utilizzo del J-ring, un anello con barre verticali attraverso le quali il materiale deve fluire senza ostruzioni.

Per le altre prove e per i criteri di accettazione si veda l'allegato "CARTA D'IDENTITÀ" del calcestruzzo autocompattante

CASSERI E MESSA IN OPERA

Le caratteristiche dell'SCC possono essere sfruttate al meglio adeguando le modalità di messa in opera:

- LA CAPACITÀ DI SCORRIMENTO PERMETTE DI RIDURRE NOTEVOLMENTE I PUNTI DI GETTO
- LA VELOCITÀ DI MESSA IN OPERA PERMETTE UNA RIDUZIONE DEI TEMPI DI GETTO
- SI RIDUCE (IN ALCUNI CASI SI ELIMINA) IL PERSONALE ADDETTO AL GETTO
- OVE POSSIBILE SI DEVE PREFERIRE L'IMMISSIONE DAL FONDO DEL CASSERO, PER FAVORIRE L'ESPULSIONE DELL'ARIA
- I MIGLIORI RISULTATI SI OTTENGONO SENZA INTERRUZIONI NEL GETTO

Un ruolo molto importante è svolto dai casseri:

- la spinta esercitata dal materiale, associata alla maggiore rapidità di getto, richiede casseri robusti e perfettamente sigillati.
- l'aspetto superficiale del getto potrà essere eccellente con un giusto accoppiamento di calcestruzzo, disarmante e cassero.



9

PROVE E CONTROLLI SUL
MATERIALE FRESCO



9.1
IN LABORATORIO

9.2

IN CANTIERE



PROVE E CONTROLLI SUL MATERIALE FRESCO

Comprendono tutte quelle prove effettuate sul calcestruzzo nell'arco di tempo che passa dalla miscelazione alla posa in opera ed hanno lo scopo di accertare che il materiale presenti le caratteristiche indicate sul progetto. Per fornire risultati attendibili, queste prove devono essere semplici e rapide, in quanto il conglomerato è soggetto alla costante variazione delle sue condizioni per l'innescarsi delle reazioni di presa.

Il materiale fresco può essere sottoposto a due tipi di controlli;

- **in cantiere:** si tratta di prove eseguite con strumenti maneggevoli per verificare la corrispondenza del prodotto fornito con quello ordinato;
- **in laboratorio:** sono prove che richiedono l'uso di attrezzature specializzate eseguite per verificare la qualità degli impasti.



IN LABORATORIO



Riguardano le prove eseguite sul materiale prelevato nelle centrali di betonaggio. Tra le più comuni segnaliamo la misura del mantenimento della lavorabilità, la determinazione del peso specifico del materiale, il controllo della composizione della miscela, la misura del ritiro idraulico, la determinazione del tempo di presa ed indurimento, ecc... Inoltre esistono prove chimiche che permettono la determinazione della natura dei singoli ingredienti che compongono le miscele.

Spesso le prove di laboratorio servono per studiare nuove miscele od apportare modifiche a quelle già esistenti che richiedano delle correzioni per impieghi specifici.

IN CANTIERE

Dopo aver completato il getto, o dopo aver rimosso i casseri o addirittura completato l'opera, sarà complesso verificare le caratteristiche del calcestruzzo ed eventuali deficienze comporteranno demolizioni o complesse e costose operazioni di rinforzo. Risulta dunque fondamentale verificare al meglio le caratteristiche **PRIMA** della messa in opera. Le prove da eseguire prelevando una certa quantità di materiale fresco con la frequenza minima indicata dalle normative, sono:

- **controllo della consistenza (Slump)**
- **confezionamento dei provini da sottoporre a rottura**

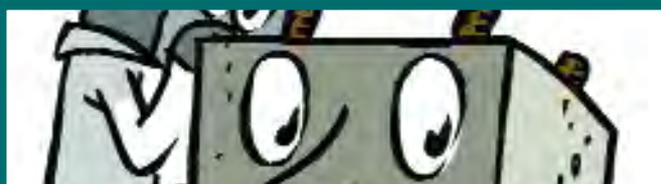
IN CASO DI ATTESA PROLUNGATA TRA CONFEZIONAMENTO DEL MATERIALE E COMPLETAMENTO DEL GETTO SI CONSIGLIA DI VERIFICARE IL MANTENIMENTO DELLA CONSISTENZA .



I PRELIEVI DEI CAMPIONI DA TESTARE DEVONO ESSERE EFFETTUATI DI NORMA A METÀ DELLO SCARICO.

10

PROVE E CONTROLLI SUL
MATERIALE IN OPERA



10.1
PROVE
NON DISTRUTTIVE

10.2

PROVE DISTRUTTIVE

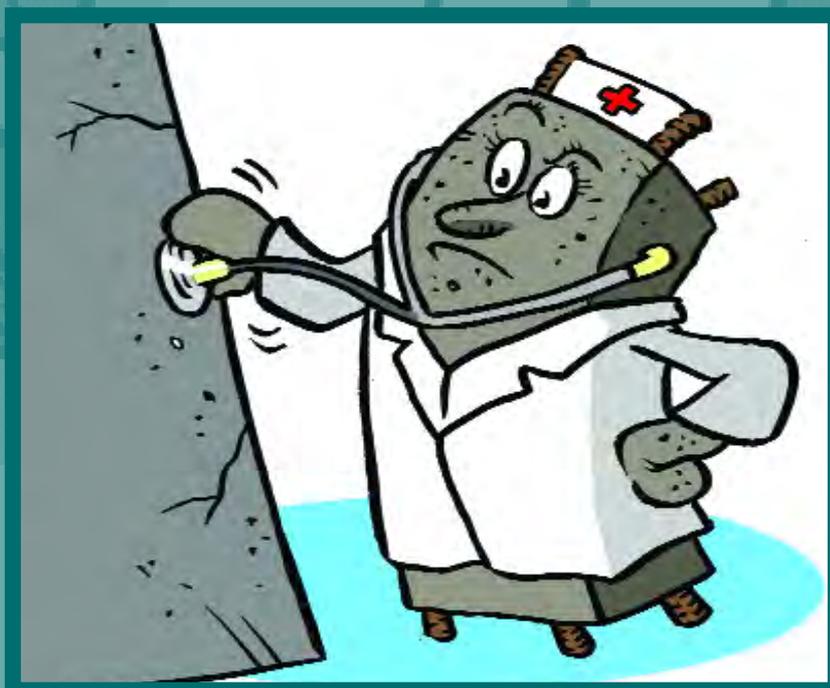


PROVE E CONTROLLI SUL MATERIALE IN OPERA

Lo sviluppo di tecniche di indagine diagnostiche, rivolte alla determinazione dello stato e delle prestazioni del materiale, ha subito un impulso dalla necessità di intervenire sui manufatti degradati con operazioni di conservazione e restauro.

I metodi di diagnosi e controllo utilizzati per monitorare i manufatti ed i singoli materiali si differenziano in:

- **PROVE NON DISTRUTTIVE:** comprendono tutte quelle indagini che non necessitano di alcun prelievo di materiale e possono essere eseguite direttamente sulla struttura;
- **PROVE DISTRUTTIVE:** sono tutte quelle indagini eseguite sui materiali o sul manufatto che richiedono il prelievo di campioni di materiale e vengono svolte prevalentemente in laboratorio.



PROVE NON DISTRUTTIVE

Comprendono tutte le indagini e le misurazioni realizzate in sito sul manufatto, finalizzate alla ricerca delle principali proprietà del materiale, quali proprietà meccaniche del conglomerato, presenza e posizione delle armature, oltre al monitoraggio di eventuali stati di degrado visibile e non visibile. I principali vantaggi dell'applicazione di questi metodi di indagine consistono nel:

- mantenere integra la struttura analizzata senza dover prelevare campioni di materiale;
- possibilità di applicare tali metodi su aree estese della struttura;

I metodi di prova non distruttivi si differenziano a seconda della tipologia dei test classificandosi in:

- **METODI MECCANICI;**
- **METODI ACUSTICI;**
- **METODI CHIMICI;**
- **METODI OTTICI;**
- **METODI MISTI;**



PER L'ESECUZIONE DI TALI TEST È NECESSARIO RIVOLGERSI A PERSONALE SPECIALIZZATO SIA PER L'ESECUZIONE DELLE INDAGINI CHE PER L'INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

PROVE DISTRUTTIVE

Comprendono tutte quelle indagini finalizzate alla ricerca delle proprietà meccaniche del materiale, oltre alle analisi volte all'individuazione di eventuali stati di degrado all'interno del materiale.

Per poter eseguire queste prove è indispensabile avere a disposizione alcuni provini di materiale da testare. I campioni possono essere di due tipi:

- **realizzati specificatamente per i test di laboratorio previsti dalla normativa al fine di ottenere la certificazione del materiale ;**
- **prelevati direttamente dal manufatto, a mezzo di carotaggi, scegliendo accuratamente le aree da analizzare.**



Ad esclusione del primo caso, tali operazioni risultano purtroppo localmente distruttive: una volta prelevato il campione da sottoporre ad analisi le strutture presentano dei fori. Inoltre a differenza delle prove non distruttive tali test possono essere eseguiti esclusivamente su singoli elementi od aree ristrette, le quali non forniscono risultati rappresentativi dell'intero manufatto. Per fare ciò occorrerebbe prelevare parecchi campioni per poi mediare i risultati, ma quest'operazione si presenta inapplicabile in quanto:

- si raggiungerebbero costi elevati;
- la struttura potrebbe accusare problemi statici a seguito della mancanza di continuità del materiale;
- dai fori praticati potrebbero innescarsi degni accelerati non previsti;
- non è sempre applicabile sui Beni Architettonici o strutture vincolate.

PER L'ESECUZIONE DI TALI TEST È NECESSARIO RIVOLGERSI A PERSONALE SPECIALIZZATO SIA PER L'ESECUZIONE DELLE INDAGINI CHE PER L'INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

11

DEGRADI DEL CALCESTRUZZO
E PREVENZIONI



11.1
CAUSE CHIMICHE

11.2

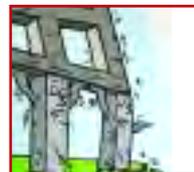
CORROSIONE DELLE
ARMATURE



11.3
CAUSE FISICHE

11.4

CAUSE MECCANICHE-
STRUTTURALI



DEGRADI DEL CALCESTRUZZO E PREVENZIONI

I processi di ammaloramento non sono in genere da imputare ad una sola causa, ma a più fattori che, esaltandosi vicendevolmente, concorrono al deterioramento del materiale. Tuttavia è possibile individuare un fenomeno che può essere definito scatenante ai fini dell'innescare del processo degradante. Indipendentemente dalle cause primarie che hanno prodotto il degrado, questo si presenta sotto due forme:

- disgregazione superficiale del conglomerato con o senza deformazioni od ossidazione delle armature metalliche esistenti;
- presenza di stati fessurativi diffusi e più o meno profondi che interessano l'intera sezione della struttura o parte di essa.

Talora questi aspetti del degrado sono strettamente legati tra di loro e tendono a combinarsi ed esaltarsi l'un l'altro portando a risultati imprevedibili. Si possono manifestare effetti di degrado dovuti a **CAUSE ESTERNE** quali:

- penetrazione di sostanze che causano la corrosione delle armature;
- attacchi chimici da parte dell'ambiente circostante con maggiore o minore aggressività;
- attacchi fisico - meccanici dovuti all'ambiente od al tipo di utilizzo;

e **CAUSE INTERNE** legate al fatto che il conglomerato raramente è stato progettato e realizzato in funzione della sua durabilità.

Inoltre eventuali sostanze nocive contenute nel calcestruzzo, come ad esempio aggregati reattivi o cloruri, possono causare danni altrettanto gravi.

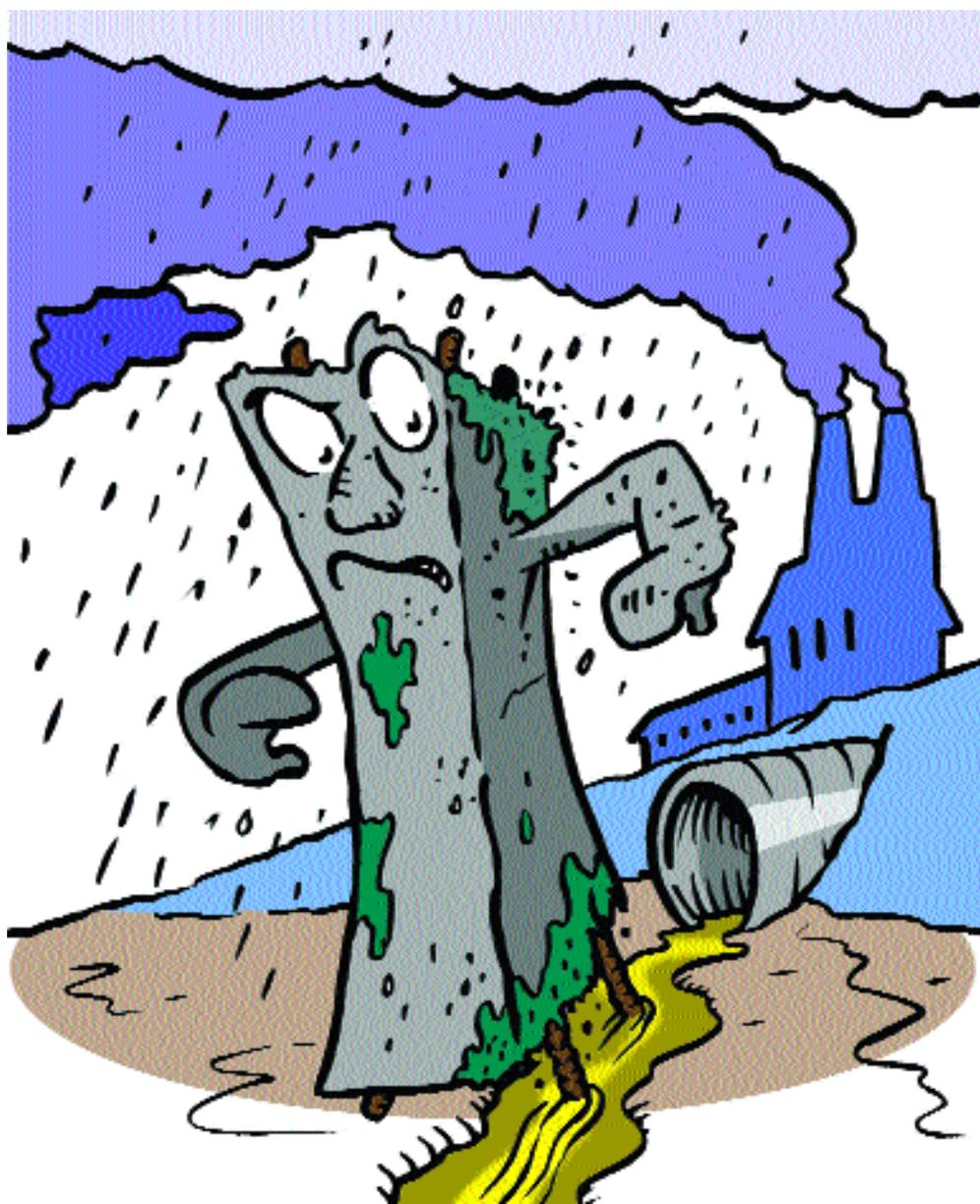


CAUSE CHIMICHE

Le cause chimiche di degrado sono riconducibili a due categorie di agenti aggressivi:

- **NATURALI:** sostanze normalmente presenti in natura, come ad esempio l'acqua di mare, l'acqua sulfurea, ecc...
- **ARTIFICIALI:** sostanze prodotte dall'uomo, come gli acidi inorganici, i fumi di combustione, gli scarichi nocivi industriali, ecc... .

Il degrado è innescato dall'attacco dei solfati, dei solfuri, dell'anidride carbonica, dei cloruri, ecc..., che agendo sul materiale producono alterazioni chimiche all'interno della massa. L'attacco da anidride carbonica, invece, porta alla carbonatazione del calcestruzzo con un fenomeno che interessa inizialmente gli strati superficiali della struttura e progressivamente si estende in profondità. Ovviamente l'azione aggressiva sarà tanto più rapida quanto più a lungo si protrae il contatto. Se il calcestruzzo non contiene armature tale fenomeno non costituisce pericolo alla massa, ma causa solo un indurimento dello strato superficiale; qualora invece la struttura sia armata, alla carbonatazione può essere legata la successiva ossidazione delle armature.



CORROSIONE DELLE ARMATURE

Il calcestruzzo ha anche la funzione di proteggere i ferri di armatura dalla corrosione, che porta alla formazione di ruggine con un forte aumento di volume che sgretola lo strato di calcestruzzo adiacente. Venendo meno la naturale protezione dei ferri, si formano delle fessure che corrono parallelamente alle barre di armatura e che si aprono progressivamente fino al distacco di scaglie di conglomerato, portando a vista porzioni di armatura. La corrosione può avvenire in due modi:

- **A SECCO:** quando si verifica in presenza di elevate temperature ed in assenza di condensa o vapore acqueo;
- **A UMIDO:** si produce quando sul materiale si posa un sottile film d'acqua, ed in presenza di ossigeno si innesca un meccanismo elettrochimico di ossidazione. Al termine di tale processo si viene a creare ossido ferrico comunemente detto ruggine.

LA PROTEZIONE DEI FERRI AVVIENE UTILIZZANDO:

- UN CALCESTRUZZO MENO PERMEABILE;
- UN CONGLOMERATO RESISTENTE AGLI ACIDI;
- UN MAGGIORE SPESSORE DEL COPRIFERRO;
- APPLICANDO UN RIVESTIMENTO PROTETTIVO CHE FUNZIONI DA REALE BARRIERA FISICA.

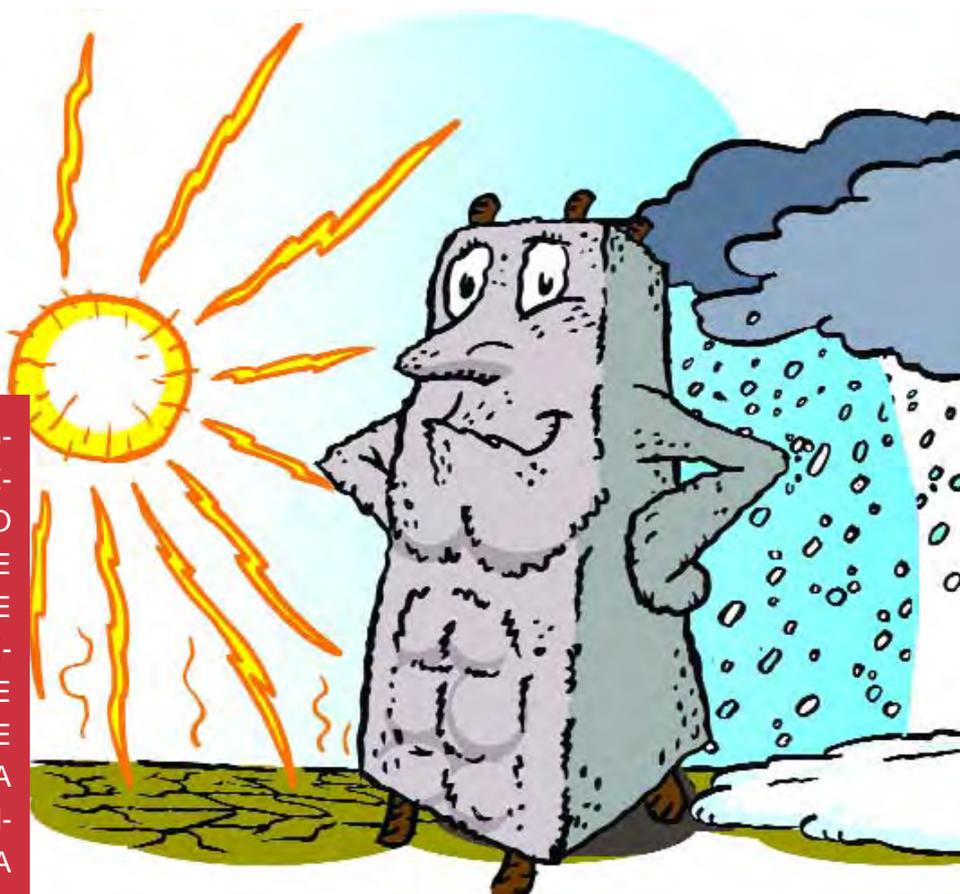


CAUSE FISICHE

Il conglomerato cementizio risente delle azioni fisiche che l'ambiente esterno esercita su di esso, principalmente sotto forma di alterazioni dei cicli termici e micro - climatici. Le cause principali possono essere imputabili essenzialmente ai seguenti fenomeni:

- **VARIAZIONI TERMICHE:** possono insorgere all'interno o nell'ambiente circostante la struttura in calcestruzzo ed essere di diversa natura a seconda della causa che le abbia provocate:
 - variazioni termiche naturali (azione del gelo - disgelo);
 - variazioni termiche artificiali (dovute ad incendi);
 - variazione termiche per effetto del calore di idratazione.
- **VARIAZIONI DI UMIDITÀ RELATIVA NELLA FASE DI INDURIMENTO:** i cambiamenti di umidità relativa dell'ambiente possono provocare variazioni dimensionali del materiale con conseguenti fessurazioni superficiali. Quando l'umidità ambientale scende al di sotto del 95%, il calcestruzzo tende ad essiccarsi ed a contrarsi con un fenomeno di ritiro, viceversa per valori maggiori al 95% o addirittura nei getti in immersione si riscontra un rigonfiamento del conglomerato. Come le fessure di origine termica, anche quelle da ritiro possono essere contrastate con adeguati accorgimenti.

IN AMBIENTI SOGGETTI A GELO-DISGELLO IL CALCESTRUZZO DEVE CONTENERE DELLE MICROBOLLE DI ARIA UNIFORMEMENTE DISTRIBUITE NELLA MASSA CHE FUNZIONANO DA CAMERA DI ESPANSIONE PER L'ACQUA CHE CONGELA .



CAUSE MECCANICHE- STRUTTURALI

Le cause meccaniche che portano al degrado del calcestruzzo mettono a dura prova la resistenza all'usura e agli urti del materiale; in determinate strutture le sollecitazioni esterne sono particolarmente dannose per l'integrità dell'opera. In sostanza possiamo indicare come danno meccanico qualunque azione esterna in grado di danneggiare il conglomerato asportandone la pellicola superficiale per urto, abrasione ed erosione. Inoltre ogni struttura è stata progettata e realizzata in modo da poter assolvere a determinati compiti statici, rispettando specifici carichi di progetto. Spesso in seguito ad interventi di ristrutturazione o cambio di destinazione d'uso non si tiene conto dei carichi di esercizio per cui la struttura è stata progettata, modificando gli equilibri statici con conseguente formazione di sollecitazioni non previste, spesso di notevoli entità.

UNA MAGGIOR RESISTENZA ALL'USURA DEL CALCESTRUZZO SI OTTIENE CONFEZIONANDO IMPASTI CON BASSO RAPPORTO ACQUA/CEMENTO, AGGREGATO GROSSO E DI NATURA PIÙ DURA, ED APPLICANDO SULLA SUPERFICIE DEL CONGLOMERATO ANCORA FRESCO UNO SPOLVERO DI CEMENTO, ADDITIVI DISPERDENTI ED AGGREGATI DURI.



12

RIPRISTINI DEL
CALCESTRUZZO



12.2

DERIVANTI DA CAUSE
STRUTTURALI



12.1

DERIVANTI DALLA
CORROSIONE DELLE
ARMATURE

RIPRISTINI DEL CALCESTRUZZO

Il degrado del calcestruzzo ha come conseguenza due differenti livelli di rischio a seconda che comporti la perdita o meno della capacità portante della struttura, e richiede differenti metodi di intervento. In ogni caso, si rende necessaria la diagnosi dello stato di degrado del materiale che unita alle informazioni sull'ambiente circostante, permette di individuare le cause che hanno innescato il degrado, consentendo di progettare un intervento specifico e mirato.

Le fasi da seguire per operare un corretto ripristino prevedono l'eliminazione di tutte le porzioni di materiale degradato, la pulizia delle armature dalla ruggine (sabbatura, spazzolatura, ...) e l'applicazione di una boiaccia protettiva per la corrosione dei ferri a base di resine epossidiche. Questa ha anche funzioni di aggrappo per la malta da ripristino che si applica per restituire alla sezione degradata la geometria iniziale. In ultimo è possibile applicare un'ulteriore pellicola protettiva incolore o pigmentata.

Il materiale impiegato nelle operazioni di ripristino deve possedere le seguenti caratteristiche:

- BASSA PERMEABILITÀ;
- BUONA ADERENZA AL CALCESTRUZZO ESISTENTE;
- BASSO RITIRO;
- COEFFICIENTE DI ESPANSIONE TERMICA UGUALE A QUELLO DEL CALCESTRUZZO;
- FACILITÀ DI APPLICAZIONE.

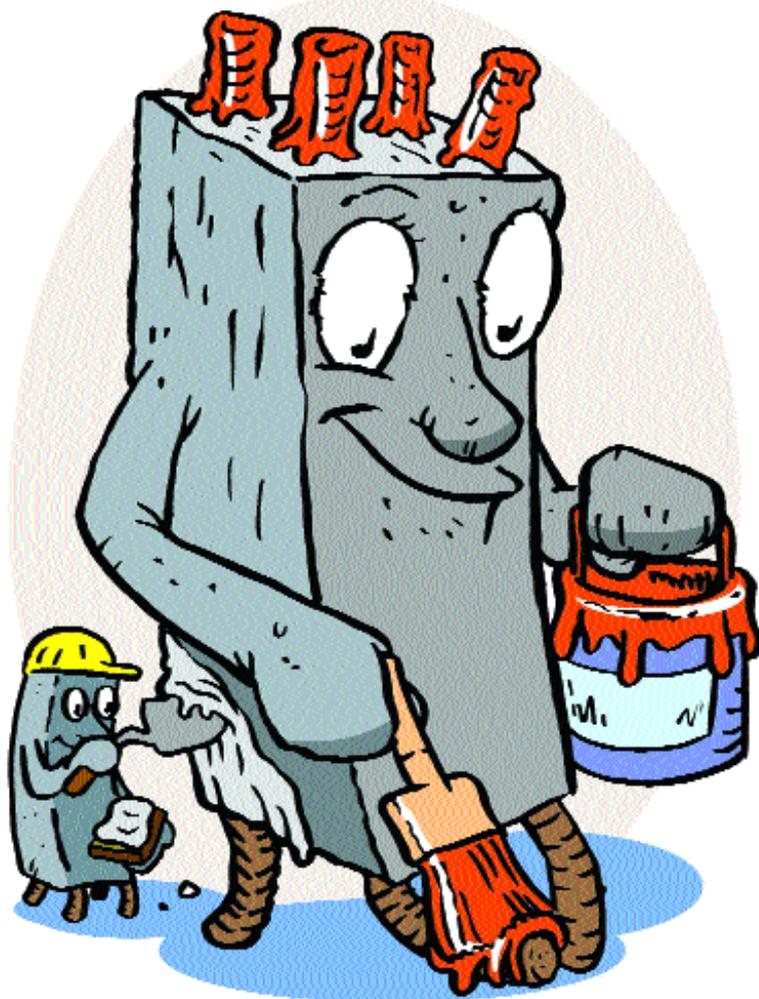


DERIVANTI DALLA CORROSIONE DELLE ARMATURE

L'intervento di ripristino consiste nella rimozione del calcestruzzo danneggiato per uno spessore tale da portare le armature a vista, in modo da poter operare un'accurata pulizia delle armature, corrose dalla ruggine, con spazzole metalliche o sabbia-tura. Qualora le armature risultino particolarmente danneggiate, al punto da aver perso le loro caratteristiche strutturali, si può intervenire nei seguenti modi:

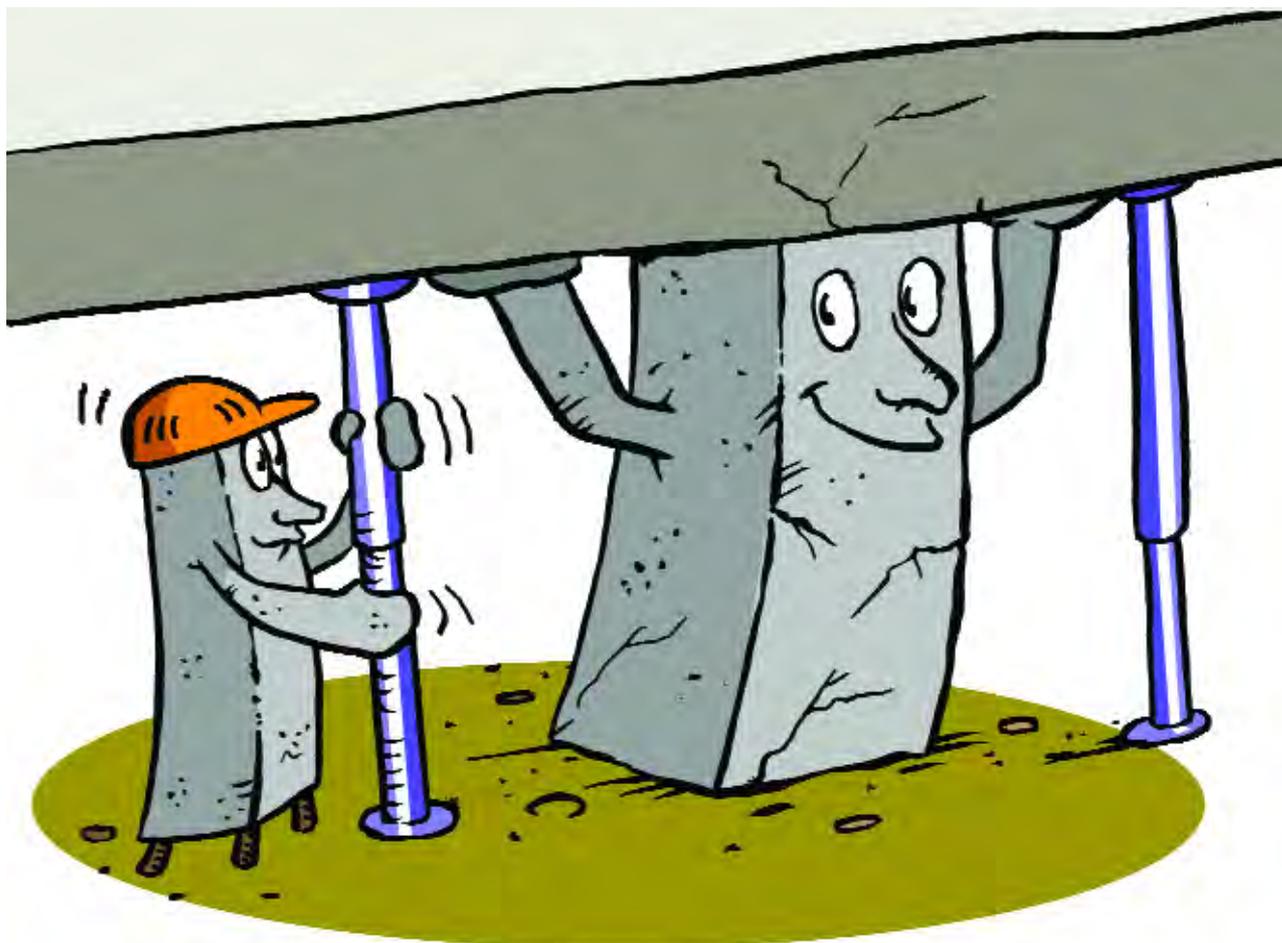
- **SOSTITUIRE LA PORZIONE DI ARMATURA DANNEGGIATA CON UNA NUOVA;**
- **INSERIRE NUOVE ARMATURE ACCOPIATE A QUELLE AMMALORATE;**
- **PORRE IN OPERA UNA NUOVA ARMATURA INGLOBANDOLA IN UN NUOVO GETTO: QUESTA OPERAZIONE COMPORTA UN INGROSSAMENTO DELLA SEZIONE;**
- **RIPRISTINARE LA PORZIONE DEGRADATA PER POI "FASCIARE" LA SEZIONE CON FIBRE STRUTTURALI (CARBONIO, KEVLAR, ...) E TERMINARE CON L'APPLICAZIONE DI UNA MALTA DA RIPRISTINO.**

Le armature ripristinate devono essere trattate con una boiacca a base di resine per incrementare la protezione delle stesse dagli agenti aggressivi esterni; inoltre questo materiale funziona come aggrappante per il materiale da ripristino.



IL MATERIALE DA RIPRISTINO DEVE POSSEDERE BUONE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA ALLA PENETRAZIONE DEGLI AGENTI AGGRESSIVI ESTERNI PRODUCENDO UNA BUONA BARRIERA PROTETTIVA PER LE NUOVE ARMATURE.

DERIVANTI DA CAUSE STRUTTURALI



Le modalità di ripristino sono molto simili a quelle necessarie per restaurare le sezioni interessate da degradi indotti dalla corrosione delle armature. Bisogna intervenire per ristabilire l'efficienza strutturale delle sezioni degradate, o dell'intera struttura, con:

- **iniezioni a bassa pressione di boiacche a base di resina epossidica;**
- **iniezioni di resina epossidica sottovuoto;**
- **incamiciamenti dei nodi ammalorati con la tecnica del "beton plaqué";**
- **ingrossamenti della sezione con l'inserimento di una nuova armatura connessa (saldata/collegata) a quella esistente e successivo getto di completamento con calcestruzzo a consistenza fluida;**
- **ripristino della sezione degradata con cerchiature metalliche;**
- **ripristino della sezione degradata con cerchiature di fibre strutturali (carbonio, kevlar, ...) e completamento dell'opera con una malta da ripristino a ritiro compensato;**
- **costruzione di una nuova struttura portante perché quella esistente risulta non più idonea.**

Tutti gli interventi sopra descritti possono essere applicati anche contemporaneamente sulla stessa sezione.

OGNI INTERVENTO DEVE ESSERE PROGETTATO POICHE' SI ALTERA LA STATICA DEL MANUFATTO.