# Introduzione

# CALCESTRUZZO E CEMENTO ARMATO

## Breve storia del calcestruzzo e del cemento armato

Il primo calcestruzzo utilizzato è di origine naturale e deriva dall'impasto di calce, pozzolana, pietrisco e acqua; è questo materiale che i Romani utilizzavano per realizzare le loro opere, affidando ad esso soprattutto azione di legante nelle parti impiegate come riempimenti o rinforzi.

Il cemento attuale deriva dalla cottura in speciali forni rotanti di marna calcarea, ovvero un misto di terreni composti di argilla e calcare; cuocendo ad altissima temperatura essi danno luogo ad un clinker in forma di palline, che polverizzato ci fornisce il cemento.

In pratica il cemento assomiglia alla pozzolana naturale, che deriva dalla cottura ad alte temperature di un determinato tipo di argilla e calcare e realizzato con calore di origine vulcanica, nelle solfatare di Pozzuoli.

Il cemento armato è stato introdotto inizialmente come prodotto coperto da brevetto. Il primo brevetto risale al 1849 e fu registrato da Joseph Louis Lambout; esso era relativo ad uno scafo in calcestruzzo armato e fu presentato con scarso successo all'esposizione universale del 1855.

Si devono a Joseph Monier le prime applicazioni che utilizzano il cemento armato, dato che egli ebbe l'idea geniale di armare con fili di ferro dei contenitori vari, solette, tubi; con brevetto del 1878 egli brevettò una soletta per ponti che ebbe un discreto successo.

Tra le prime applicazioni strutturali del calcestruzzo vero e proprio citiamo Hennebique nel 1879, e pochi anni dopo il tedesco Wayss che consentì un approccio più ingegneristico per il suo impiego.

Tra i due vi era anche una diversa concezione filosofica riguardo al suo utilizzo, basandosi il primo su un maggior empirismo del progetto e basandosi invece il secondo sulla ricerca di un ottimale rapporto tra forma e prestazioni strutturali.

I due diversi metodi furono poi sintetizzati dalla scuola svizzera che trova in Culmann e Ritter i suoi più autorevoli esponenti; delle loro indicazioni (riconoscimento del calcolo come strumento per la definizione della forma più efficiente mediante analisi semplici, responsabilità del progettista che deve coprire anche le fasi transitorie di costruzione fino alla realizzazione completa dell'opera e la verifica dell'accuratezza della progettazione e della realizzazione mediante prove in scala reale) fece tesoro Maillart nella realizzazione delle sue eccezionali opere, tra cui da ricordare il ponte Stauffacher e il ponte Salgitanobel.

L'uso del cemento armato fu limitato dalla protezione dei brevetti depositati dagli inventori. Solo a seguito di una circolare francese del 1906 si diede la possibilità di utilizzare liberamente il cemento armato liberandolo dal vincolo dei brevetti.

Si devono a Culmann e Ritter le prime teorie che portano alla formulazione di metodi

Copyright © Esculapio S.p.A.

matematici utili per il calcolo delle strutture in cemento armato, messe in pratica nelle opere di R. Maillart.

Le strutture in cemento armato danno luogo a costruzioni spesso meno appariscenti di quelle realizzate in acciaio e la storia delle prime costruzioni si accompagna a quella di tanti edifici, spesso anonimi e passati inosservati dal punto di vista architettonico.

Particolare rilievo meritano le prime realizzazioni in c.a. applicate a strutture di edifici da parte del costruttore Auguste Perret agli inizi del '900, a causa dei notevoli vantaggi che accompagnano una struttura in c.a. realizzata con travi e pilastri rispetto ad un'analoga costruzione in muratura portante si diffonde come metodo costruttivo in tutto il mondo.

Perret: stabile in rue Franklin a Parigi, 1903.

Viene apprezzato anche da famosi architetti, che ne esaltano le capacità; una particolare menzione merita Le Corbusier, che detta i suoi 5 punti per una nuova architettura, basandosi in pratica su un'ossatura portante realizzata con travi e pilastri; le realizzazioni di questo architetto si basano sull'uso del cemento armato, come si osserva nella villa Savoy.

Numerosi sono stati i progettisti di opere in cemento armato, tra cui non si può non citare Pierluigi Nervi, che ha saputo realizzare opere in c.a. con forme esteticamente gradevoli ed ardite (palazzetto dello sport di Roma del 1960, sala delle udienze in Vaticano).

In cemento armato si costruiscono molti ponti, la cui forma è spesso ad arco o a travate rettilinee; l'impiego dell'arco esalta il comportamento del calcestruzzo, che lavora in modo egregio quando viene sottoposto a compressione.

Proprio l'osservazione precedente porta all'introduzione di una variante dell'uso del cemento armato. Il precompresso nasce con l'idea di indurre nel calcestruzzo una presollecitazione di compressione che impedisca al calcestruzzo di fessurarsi.

La storia del cemento armato si evolve e si interseca con quella del precompresso.

Spesso cemento armato e cemento armato precompresso sono stati considerati in modo totalmente diverso, a causa del comportamento particolare che presenta una struttura in c.a. nella quale si induca una forza di compressione con cavi o barre tese. L'evoluzione dell'attuale normativa europea riunisce in un unico sistema costruttivo il cemento armato e il precompresso e consente in particolare di ottenere delle strutture che abbiano una piccola precompressione (precompressione parziale).

Quest'ultima tecnica è stata impiegata in diversi paesi, fornendo soluzioni tecniche vantaggiose. Spesso si è indotta una precompressione tale da compensare i soli pesi propri, lasciando la possibilità alla struttura di fessurarsi sotto l'azione dei carichi accidentali.

Il precompresso è stato utilizzato in Italia in diverse costruzioni e in particolare per la costruzione di solai, con travetti prefabbricati in precompresso e pignatte.

Notevoli sono stati i disagi causati nel tempo a causa delle deformazioni viscose del calcestruzzo sotto carico, che ha portato a ridurne notevolmente l'impiego.

Particolare menzione va fatta sulle tensioni delle strutture in cemento armato sotto carico.

Il cemento armato inizialmente era realizzato con l'utilizzo di ferri lisci, con grandi problemi di ancoraggio e di sfilamento tra acciaio e calcestruzzo. Con i ferri lisci l'aderenza restava molto limitata e in caso di effetti dinamici scemava in modo sensibile.

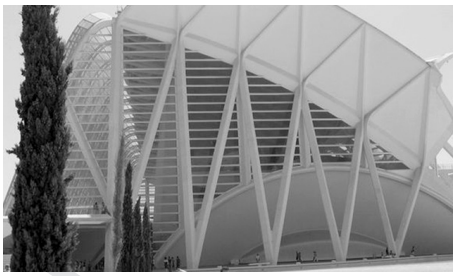
Copyright © Esselibri S.p.A.

L'introduzione dell'armatura ad aderenza migliorata ha migliorato in modo sensibile l'aderenza con il calcestruzzo, ha di fatto ridotto l'entità delle fessure e risolto i problemi dell'ancoraggio di barre diritte.

Nel tempo le strutture in cemento armato sono state sempre più impegnate e resistenti, con problemi crescenti di fessurazione e di duttilità.

A questo proposito va sottolineato che le nostre norme limitano la resistenza del calcestruzzo, poiché al crescere della resistenza il comportamento a rottura diventa più fragile, ovvero con deformazioni ultime più ridotte.

L'evoluzione del c.a. porta ad ottenere un materiale più resistente e più durevole, con l'impiego di nuovi tipi di cementi e soprattutto con aggiunte e additivi, che sempre più condizionano pesantemente le caratteristiche del c.a.


Museo della scienza a Valencia di Calatrava.

In Italia, zona a rischio sismico, l'evoluzione che si impone è realizzare strutture resistenti e duttili, che resistano senza danni a terremoti di piccola intensità e siano in grado, mettendo in campo le sue capacità di plasticizzazioni duttili, di resistere senza crollare a terremoti di grande magnitudo e di lunga durata.

# 1 Introduzione spicciola al calcestruzzo e ai suoi componenti

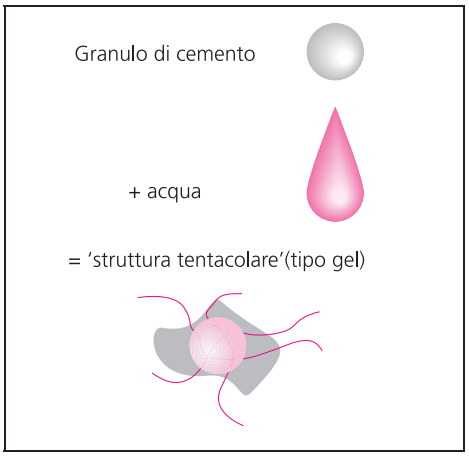
## 1.1 Il cemento (''*cement*'')

Il cemento deriva dalla cottura ad alta temperatura di argilla e calcare, effettuata in un tubo rotante. Alla fine della cottura si ottengono delle palline, dette clinker, che, frantumate, ci forniscono il cemento in polvere.

- ***Fenomeni alla base del successo del cemento***
  - economico;
  - facile da usare;
  - simile ad una pietra artificiale;
  - di aspetto gradevole;
  - conformabile a piacimento.

- ***Perché il cemento è un legante***

  La particella di cemento, dopo la cottura, diventa molto ''avida'' di acqua; non appena essa viene a contatto con l'acqua, si trasforma da particella con forma compatta (tipo sassolino) in una struttura ''tentacolare'', avvolta da materiale colloidale tipo gel. Questo fenomeno è alla base della capacità legante del cemento. Le particelle ''tentacolari'' si intersecano tra loro, dando luogo ad una matrice legante, che coinvolge le particelle di inerte o qualsiasi altra cosa cui il cemento umido abbia la possibilità di far presa.




Copyright © Esse S.p.A.

- ***La presa***

È la prima fase che porta il cemento a trasformarsi in pietra; il fenomeno parte dalla posa e dura qualche ora; in tale fase si formano e si stabilizzano i legami. L'impasto non deve essere sollecitato e deve essere curato e protetto, affinché non vi siano danni superficiali o che vi sia mancanza di acqua (ad esempio con insolazione eccessiva o riscaldamento eccessivo).

- ***L'indurimento***

Dopo qualche ora dalla posa inizia la fase dell'indurimento, nella quale l'impasto diventa rigido e resistente, con una crescita di resistenza veloce nei primi giorni e sempre più lenta negli anni successivi.

- ***L'invecchiamento***

Anche l'elasticità e la possibilità di incassare le sollecitazioni senza fessurarsi eccessivamente è variabile, dato che è alta nei primi giorni e diminuisce nel tempo.

Il fenomeno è simile a quello che interessa le nostre ossa, più elastiche e plastiche in giovinezza e più rigide e fragili nella vecchiaia.

In questo senso si può dire che il calcestruzzo "invecchia".

- ***Un materiale "antico": la pozzolana***

La pozzolana è un prodotto che si ricava da alcune cave, ad esempio quelle presso Pozzuoli, vicino Napoli. I Romani la utilizzavano mescolandola alla calce aerea per ottenere una sorta di cemento, che ha dato ottimi risultati nel tempo. La pozzolana deriva dalla cottura di terreni argillosi ad alta temperatura in presenza di solfati e altri prodotti chimici, cottura mediante il calore che si sprigiona da vene vulcaniche.

## 1.2 Tipi di cementi

I tipi di cemento più utilizzati sono quello "classico" o Portland, e due cementi ottenuti dal precedente ma con aggiunte. Esistono anche il cemento bianco, quello alluminoso e a presa rapida.

- ***Cemento Portland***

Il cemento "normale" si dice di tipo "Portland', e prende il nome dalle rocce della cittadina Inglese.

Il cemento di questo tipo ha il difetto di contenere, nel calcestruzzo ottenuto dei carbonati solubili. Questo difetto è importante, poiché se l'acqua ha la possibilità di lambire la superficie del calcestruzzo essa porta in soluzione i carbonati solubili, lasciando dei vuoti. I vuoti sono come piccole caverne che indeboliscono la struttura del calcestruzzo e ne fanno diminuire la resistenza a compressione. Effetto più devastante si ottiene nel cemento armato, poiché la formazione di gallerie vuote consente all'ossigeno contenuto nell'atmosfera di penetrare in contatto con l'armatura metallica.

- ***Cemento con aggiunta di scorie di altoforno***

Aggiungendo alla polvere di cemento i prodotti di scarto che si raccolgono sul fondo degli altoforni per la produzione dell'acciaio i carbonati si fissano molto meglio e non sono più solubili. Il calcestruzzo diventa molto più resistente sia all'aggressione dell'acqua che a quella degli acidi.

- ***Cemento pozzolanico***

Si aggiunge alla polvere di cemento polvere di pozzolana, con effetti simili al precedente.

In sintesi per opere esposte alle intemperie o peggio a soluzioni acide, è consigliabile l'utilizzo di cemento pozzolanico o con scorie di altoforno.

Copyright © Esselibri S.p.A.

Si sottolinea che, d'altronde, le differenze di prezzo non sono sensibili.

Il cemento viene fornito in sacchi da 50 kg, o da 25 kg (sacchetto di peso ridotto introdotto recentemente per migliorarne la movimentazione manuale, a seguito della legge 494/96).

Il costo di un sacco da 50 kg si aggira sui 5 €; con un costo approssimato di 10 € al quintale.

Per curiosità si citano altri tipi di cemento, in pratica utilizzati solo raramente:

– cemento bianco*: costosissimo rispetto a quello normale, utilizzato in opere speciali per il suo colore candido*;
– cemento alluminoso*: vietato per strutture poiché esso si trasforma in un materiale granuloso in condizioni particolari, con possibilità di crolli improvvisi*;
– cemento a presa rapida*: molto costoso; la presa dura qualche minuto, non adatto per le strutture, impiegato solo per fissare velocemente elementi non strutturali.*

### 1.2.1 Cementi da EN 197

I cementi vengono classificati in base alla resistenza a compressione che essi sviluppano a 28 giorni di stagionatura.

I provini utilizzati sono di dimensioni 4 × 4 × 16 cm.

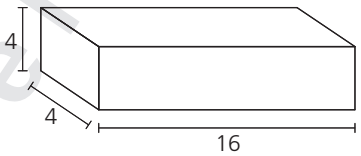



**Figura 1.1** Dimensione provini secondo EN 197.

Nella prima fase il provino viene rotto con un apparecchio "a bilancia", come indicato in Figura 1.2

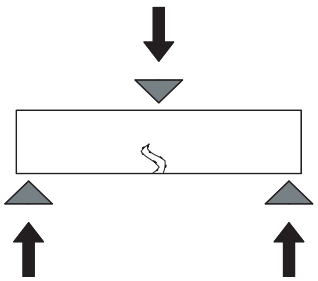


**Figura 1.2** Modalità di rottura a bilancia.

Nella seconda fase i due pezzi vengono schiacciati sotto la pressa, ottenendo il valore della resistenza a compressione del tipo di cemento anche se in realtà si tratta di un provino composto da cemento e da sabbia a spigoli tondi.

I cementi sono classificati in base al tipo di indurimento e alla resistenza secondo la tabella 1.1.

**Tabella 1.1** Nomeclatura dei cementi

| Tipo di indurimento | Sigla cemento | Resistenza e indurimento |
|---|---|---|
| RAPIDO | CEM | 52,5 R<br>42,5 R<br>52,5 N |
| NORMALE | CEM | 42,5 N<br>32,5 R |
| LENTO | CEM | 32,5 N |

Copyright © Esselibri S.p.A.

L'evoluzione delle resistenze medie a caricamento dipende dalla stagionatura e dal tipo di cemento come indicato nella tabella 1.2, dove troviamo i vari calcestruzzi ottenuti con cementi a presa rapida, normale o lenta

**Tabella 1.2** Evoluzione resistenza $f_{ck}$ (a *t* giorni)

| *t* (giorni) | Classe R ($f_{ck}$) | Classe N ($f_{ck}$) | Classe S ($f_{ck}$) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,42 | 0,34 | 0,19 |
| 2 | 0,58 | 0,5 | 0,35 |
| 3 | 0,66 | 0,6 | 0,46 |
| 7 | 0,82 | 0,78 | 0,68 |
| 14 | 0,92 | 0,9 | 0,85 |
| 28 | 1 | 1 | 1 |
| 90 | 1,09 | 1,11 | 1,18 |
| 360 | 1,15 | 1,19 | 1,31 |

Anche il modulo di elasticità media varia al variare dei giorni ed è ottenuto come valore secante nel diagramma del legame costitutivo, come mostrato in figura.

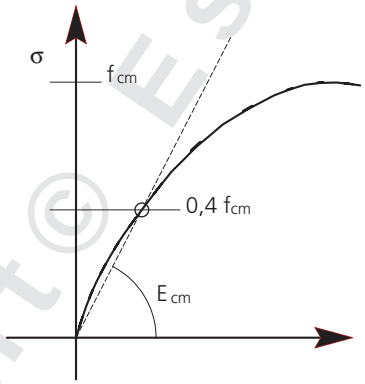



**Figura 1.3** Diagramma per il calcolo del modulo $E_{cm}$.

**Tabella 1.3** Evoluzione modulo elastico $E_{cm}$ (a *t* giorni)

| *t* | Classe R ($E_{cm}$) | Classe N ($E_{cm}$) | Classe S ($E_{cm}$) |
|---|---|---|---|
| 3 | 0,88 | 0,86 | 0,8 |
| 7 | 0,94 | 0,93 | 0,89 |
| 14 | 0,97 | 0,96 | 0,95 |
| 28 | 1 | 1 | 1 |
| 90 | 1,02 | 1,03 | 1,05 |
| 360 | 1,04 | 1,05 | 1,08 |

Copyright © Esselibri S.p.A.

## 1.3 Cosa si può ottenere con il cemento

○ *Boiacca*

Deriva dall'impasto di cemento o legante in genere, e acqua. (Si impiega ad esempio per sigillature di giunti dei pavimenti).

○ *Malta ("mortar")*

Deriva dall'impasto di legante, sabbia e acqua.

Mescolando cemento e sabbia si ottiene malta cementizia, con un rapporto volumetrico di 1 di cemento e 3 di sabbia.

Mescolando 1 di cemento, 1 di calce idraulica e 3 di sabbia si ottiene malta "bastarda", meno resistente di quella cementizia ma molto più lavorabile. Si ottiene un "intonaco" se la malta è utilizzata per finiture superficiali.

○ *Calcestruzzo ("concrete")*

Il calcestruzzo deriva dall'impasto di cemento, inerti e acqua. Si ottiene una pietra artificiale grigia e resistente a compressione.

## 1.4 Inerti (*"aggregates"*)

Gli aggregati devono essere resistenti e puliti.

○ *Inerti fini*

Sabbia *("sand"):* deve essere di natura fluviale.

Caratteristiche della sabbia:

– la sabbia deve essere di natura silicea e non calcarea;
– la sabbia non deve contenere polvere;
– la sabbia deve essere pulita.

■ *Un controllo "alla buona" da parte del Direttore dei Lavori può essere effettuato con queste semplici operazioni:*

– *prendendo in mano un po' di sabbia essa deve scricchiolare tra le dita, ovvero si devono tastare granelli duri e resistenti che strofinano senza rompersi tra loro. Se la sabbia è calcarea le particelle tendono a polverizzarsi;*
– *aprendo il pugno e soffiando non deve sollevarsi polvere;*
– *buttando via la sabbia e strofinando leggermente le mani, la mano che ha preso la sabbia deve tornare pulita. Se si è sporcata la mano di marrone vuol dire che vi è argilla che, come la polvere, può inibire il contatto del legante con l'inerte.*

■ *Per il controllo delle qualità della sabbia si deve ricorrere ad analisi di laboratorio, con prove di sedimentazione o analisi chimiche. Nella prova di sedimentazione viene mescolata sabbia e acqua; lasciando sedimentare il tutto si osserva che le particelle di sabbia si depositano sul fondo, dopo di che si depositano le particelle di limo; la percentuale di particelle minute deve essere contenuta in base alle specifiche richieste (es. $< 5\%$).*

Copyright © Esselibri S.p.A.

Non si accetta la sabbia di mare poiché le armature del cemento armato tendono a corrodersi di più e poiché sulla superficie finita del calcestruzzo si hanno delle efflorescenze di colore bianco (cristalli di sali).

○ *Inerti grossi (“coarse aggregate”)*
Sono gli inerti naturali (dal letto di torrenti e fiumi):
– ghiaia ha diametro di vari centimetri;
– ghiaietto di qualche centimetro;
– ghiaino dell’ordine di 1 cm o meno;

Inerti derivanti dalla frantumazione di rocce (a spigoli vivi):
– Pietrisco;
– Pietrischetto;
– Pietrischino.

## 1.5 Dosaggio

La mescolazione dei vari elementi è fondamentale per ottenere i risultati prefissati.

● ***Dosaggio approssimato***

Per ottenere un $m^3$ di impasto si può utilizzare il seguente dosaggio volumetrico:

– **0,4 $m^3$ di sabbia;**
– **0,4 $m^3$ di ghiaietto;**
– **0,4 $m^3$ di ghiaia.**

■ *Se si dispone di un “misto” di ghiaia e ghiaietto si inseriscono direttamente 0,8 $m^3$ di misto.*
■ *La somma algebrica dei vari volumi fornirebbe un valore superiore a 1, ma i componenti, una volta mescolati, si compenetrano; le parti piccole occupano i vuoti tra le parti grandi, con un volume totale minore di 1.*

La quantità di cemento in un metro cubo di impasto varia a seconda del lavoro da eseguire:

*300 kg per opere di elevazione*
*400 kg per strutture faccia a vista*
*200 kg per strutture in fondazione*
*100 kg per magroni o riempimenti*
} **Dosaggio**

■ *Si osserva che in genere per poter pompare un calcestruzzo è necessaria una presenza di legante (cemento) con dosaggio minimo intorno a 150.*

Acqua: la quantità di acqua è poco meno della metà in peso del cemento.

■ *Ad esempio per travi e pilastri si utilizzano 300 kg di cemento e 120-140 l di acqua*
■ *Sommando alla ghiaia il ghiaietto quest’ultimo si posiziona nei vuoti della ghiaia, e sommando successivamente la sabbia essa si posiziona nei vuoti più piccoli rimanenti. Questa è la ragione per cui sommando* 0,4 + 0,4 + 0,4 *alla fine si ottiene un volume globale minore di 1 $m^3$.*

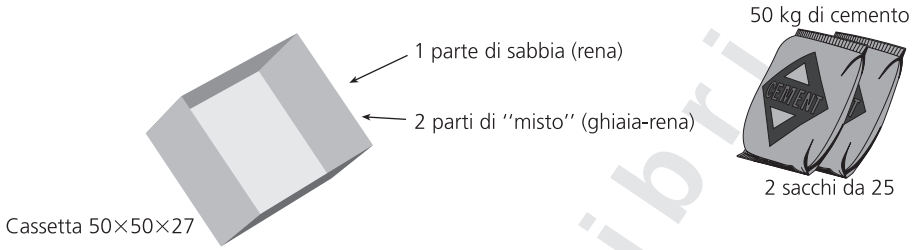
● ***Dosaggio fai da te utilizzando betoniera a bicchiere rovesciabile***

Il rischio del calcestruzzo artigianale che si effettua con la betoniera in cantiere è quello di ottenere impasti diversi l’uno dall’altro, con grande pericolo di cali locali di resistenza o di disomogeneità marcate.

In un piccolo cantiere, per getti di limitato volume, si può ottenere l’impasto utilizzando una betoniera a bicchiere rovesciabile. Nel cantiere in genere sono presenti un mucchio di

sabbia fluviale e un mucchio di misto di ghiaia e ghiaietto; il cemento è presente in sacchi. Si consiglia di operare nel modo seguente:

– si costruisce una cassetta quadrata 50 × 50 cm, alta 27 per ottenere una misurazione più accurata;
– si inseriscono nella betoniera una cassetta di sabbia, due cassette di misto, un sacco da 50 kg di cemento e una damigiana d'acqua di circa 25 litri.




Il prodotto finale è naturalmente di tipo artigianale e deve essere utilizzato con particolari coniche. Quanto sopra è molto approssimativo, ma il prodotto che si ottiene è accettabile.

● ***Dosaggio "esatto" nell'impianto di betonaggio***

Nell'impianto di betonaggio gli inerti sono suddivisi in base alla pezzatura in svariati mucchi e il miscuglio che si opera è variabile a seconda del calcestruzzo che è stato prescritto dall'Impresa o dal Committente.

In una prima fase si dosano gli inerti e si pesa il loro contenuto.

Il cemento viene derivato da un apposito silos in cui è conservato con particolari condizioni idrometriche. Viene aggiunto in base al dosaggio prescritto oppure in base alle caratteristiche meccaniche che l'impasto indurito deve garantire.

Particolare attenzione va posta all'aggiunta di acqua.

La quantità di acqua deve tener conto dell'acqua già contenuta negli inerti e della lavorabilità che si vuole ottenere.

Nel caso in cui si voglia ottenere una maggiore lavorabilità si tende ad aumentare la quantità di acqua. Le ripercussioni sulla diminuzione di resistenza sono contenute se nel contempo si aumenta anche il dosaggio di cemento.

La granulometria degli inerti è molto importante. Essa viene definita come l'insieme dei dosaggi delle varie dimensioni (o pezzature) di inerti che si adoperano.

La granulometria ottimale è quella che porta il miscuglio di inerti ad avere una struttura "chiusa" ovvero dotata di pochissimi vuoti.

Pochi vuoti da riempire comportano un'agevole opera legante del cemento bagnato.

Molti vuoti comportano la formazione di "sacche piene" di cemento e acqua e un bisogno di cemento più elevato al fine di ottenere le caratteristiche di resistenza desiderate.

## 1.6 Impasto degli "ingredienti"

*L'impasto "a mano"*, effettuato per piccolissime quantità, avviene utilizzando una superficie rigida e pulita; si ammucchia sabbia e inerti secchi, si aggiunge cemento in polvere e si mescola il tutto con la pala, fino ad ottenere un miscuglio omogeneo. A questo punto si allarga il mucchio ricavando un "cratere" centrale, nel quale si versa una certa quantità di acqua. Si fa franare parte del materiale e si mescola all'acqua; alla fine tutto il miscuglio viene amalgamato e l'impasto è pronto all'uso quando non vi sono più particelle asciutte in vista.

Particolare attenzione va posta alla consistenza dell'impasto, che deve essere più asciutta possibile.

Copyright © Esselibri S.p.A.

- ***Betoniera a bicchiere rovesciabile***

Per piccoli cantieri si utilizza la betoniera a bicchiere rovesciabile, che consente l'impasto di circa 0,2 $m^3$, essa impasta ruotando in una direzione e fa fuoriuscire l'impasto inclinando il bicchiere con una ruota laterale invertendo nel contempo la rotazione.

Betoniera deriva dal nome francese "beton" che si attribuisce al calcestruzzo.

- ***Motobetoniera***

L'impasto in genere è preconfezionato in una centrale di betonaggio.

Il trasporto viene effettuato con betoniere, che sono contenitori rotanti che mescolano l'impasto. Invertendo il senso di rotazione la betoniera permette la fuoriuscita del calcestruzzo.

Se il percorso è di pochi minuti si aggiunge subito l'acqua. Se il percorso è lungo l'acqua viene aggiunta all'incirca un quarto d'ora prima dello scarico, mediante un serbatoio presente dietro l'abitacolo del guidatore.

L'impasto prolungato "stanca" il calcestruzzo poiché i legami appena formati sono rotti e se ne formano altri, anch'essi danneggiati. Come conseguenza il calcestruzzo derivante da un impasto prolungato risulta meno "energico" e la sua resistenza finale è più ridotta.

- ***Acqua di impasto***

Il rapporto ottimale acqua/cemento è circa 0,4. Aumentando l'acqua si aumenta la lavorabilità dell'impasto, ma diminuisce sensibilmente la resistenza finale del calcestruzzo indurito. Nel calcestruzzo, infatti, al crescere dell'acqua in eccesso si hanno dei residui di acqua non utilizzata che restano incapsulati nella matrice indurita formando della caverne riempite di acqua. All'evaporare dell'acqua queste cavità restano vuote e producono diminuzione di resistenza della struttura.

- ***Resistenza***

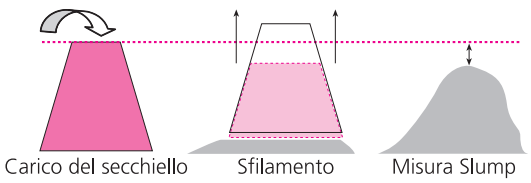
Si definisce resistenza la forza unitaria massima che il calcestruzzo sopporta sotto una particolare sollecitazione. La resistenza è "caratteristica" dato che essa rappresenta il valore che ha un frattile di insuccesso del 5%.

La classe di resistenza del calcestruzzo valuta la resistenza caratteristica di un impasto dopo 28 gg. di stagionatura e si indica con $Cf_{ck,cyl}$; ad esempio C25 indica una resistenza cilindrica con provino cilindrico di 25 MPa ($N/mm^2$), pari a 250 $daN/cm^2$; tale resistenza è simile a quella cubica di 300 $daN/cm^2$ che si trova per un cubetto di lato 15 cm messo sotto la pressa sempre dopo 28 gg. di stagionatura.

Nel seguito si indica con $f_{ck}$ la resistenza caratteristica cilindrica a compressione e con $R_{ck}$ la resistenza cubica.

- ***Lavorabilità***

L'impasto secco è meno lavorabile; più la sua consistenza diminuisce e più l'impasto è lavorabile. La lavorabilità si può misurare in vari modi; particolarmente agevole è l'uso del cono di Abrams. Con questo metodo la lavorabilità si collega allo "Slump", che misura di quanto si abbassa un impasto inserito in un contenitore troncoconico riempito di calcestruzzo fresco e opportunamente costipato mediante un tondino, successivamente allo sfilamento verticale del contenitore stesso.




Copyright © Esselibri S.p.A.

## 1.7 Indicazioni su confezione e cura

- ***Esecuzione del calcestruzzo***

  In linea di principio, una superficie a vista implica il rispetto, durante la confezione del calcestruzzo, di alcune regole complementari a quelle date per il confezionamento di un buon calcestruzzo da costruzione durevole.

  Particolare attenzione va posta alla posa e alla tipoogia dei casseri, che possono essere in legno, metallici o in materiali plastici. La capacità d'assorbimento dei casseri può alterare il colore del calcestruzzo e la regolarità della sue tonalità superficiali; i casseri non devono lasciare macchie né agire chimicamente sul calcestruzzo. La faccia interna deve essere spalmata con uno strato fine e di spessore costante di un prodotto diramante. I giunti dei casseri devono essere sufficientemente impermeabili alla malta.

- ***Composizione del calcestruzzo***

  La miscela di calcestruzzo deve essere sufficientemente omogenea affinché l'acqua non si separi dai componenti solidi del calcestruzzo fresco.

  L'aspetto delle superfici a vista che si desiderano ottenere, può essere determinante per la scelta dei componenti dal punto di vista del colore, della granulometria e per le proporzioni della miscela.

- ***Trasporto, posa in opera e compattazione***

  I metodi *di trasporto*, *di posa in opera* e *di compattazione* del calcestruzzo sono scelti in modo che questo si segreghi il meno possibile e che si ottenga una compattazione efficace; il calcestruzzo, per quanto è possibile, deve essere compattato in modo continuo da un vibratore interno efficace, in modo che non siano trattenute bolle d'aria nel calcestruzzo compattato.

- ***Cura e protezione***

  Il calcestruzzo deve subire una cura appropriata ed essere protetto dai danni meccanici (per esempio, urto) e dalla formazione di macchie (dovute ad acciai di legatura che sporgono).

- ***Organizzazione***

  Le superfici di calcestruzzo a vista di buona qualità possono essere realizzate solo da un personale coscienzioso e abile e con un'adeguata sorveglianza. È importante una stretta collaborazione fra progettista ed operaio esecutore.

# 2 Tecnologia del calcestruzzo

Il presente paragrafo è basato sulle indicazioni del codice modello CEB-FIP '90 e sulla norma europea UNI EN 206, che è stata integrata in UNI ENV 1992-1 e nelle NTC 2008. Le note tratte da Linee guida del Servizio centrale del Consiglio Sup. dei LL.PP. forniscono indicazioni specifiche sull'uso del calcestruzzo strutturale.

## 2.1 Prefazione

Questa parte fa riferimento al Codice-Modello FIP-CEB e alla norma europea UNI EN 206-1 (ed. 2000) contiene i principi più importanti della tecnologia del calcestruzzo.

In primo luogo si trattano i criteri per la scelta dei componenti e la composizione del calcestruzzo e successivamente si forniscono indicazioni sulla fabbricazione e la posa in opera del calcestruzzo.

Copyright © Esselibri S.p.A.

■ *Nel seguito sono riportati dei paragrafi tratti dalle «Linee guida sul calcestruzzo strutturale» redatte dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP. del dicembre 1996, alle quali si rimanda per la consultazione completa. Esse sono precedute dal simbolo ▶ LGCS*

Il problema della qualificazione e conseguente certificazione dei prodotti da costruzione è regolato, a livello europeo, dalla Direttiva 89/106/CEE, recepita in ambito nazionale attraverso il D.P.R. n. 246/93; la recente Legge Quadro sui lavori pubblici ha ulteriormente rafforzato l'esigenza della qualificazione dei soggetti, dei processi e dei prodotti relativi al settore.

Le «Linee guida sul calcestruzzo strutturale» che sono state redatte costituiscono una utilissima base per quanto attiene la salvaguardia dei requisiti essenziali concernenti la sicurezza strutturale e la tutela della pubblica incolumità; esse sono basate sull'esperienza nazionale ed europea (UNI EN 206, CEB-FIP Model Code 1990, Richtlinie fur Hochfesten Beton 1995, DIN 1 045/88), sono rivolte a dare indicazioni ed informazioni di carattere generale e di dettaglio per una progettazione, lavorazione, realizzazione e controllo del materiale calcestruzzo.

## 2.2 Quadro normativo europeo

Fare calcestruzzo in Europa significa operare in differenti paesi della comunità in cui vi sono diverse condizioni climatiche e geografiche, differenti livelli di protezione e differenti e soprattutto ben consolidate esperienze e tradizioni regionali. Per permettere una uniformità reale sull'uso del cemento armato sono necessari sforzi comuni sia legislativi che nelle applicazioni pratiche.

Per fronteggiare questa situazione così variegata sono state introdotte le *classi* che individuano le proprietà del calcestruzzo. In linea di principio si permette che continuino e si sviluppino pratiche valide nel luogo d'impiego del calcestruzzo come alternativa all'approccio prescrittivo delle norme europee, almeno in fase transitoria.

**Proprietà $\Longleftrightarrow$ classi**

Le classi raccolgono materiali le cui proprietà cadono in un determinato "range"

Per la norma i soggetti coinvolti nel processo di produzione del calcestruzzo sono:

– **prescrittore**;
– **produttore**;
– **utilizzatore**.

Il **prescrittore** è responsabile per le specifiche del calcestruzzo (Cap. 6 della UNI EN 206).

Il **produttore** è responsabile per la conformità ed il controllo di produzione (Cap. 8 e 9 della UNI EN 206).

L'**utilizzatore** è responsabile per il getto del calcestruzzo (messa in opera).

## 2.3 Materiale

Nel presente capitolo si parla di calcestruzzo per strutture gettate in sito, strutture prefabbricate e componenti strutturali prefabbricati per edifici e strutture di ingegneria civile.

Copyright © Esselibri S.p.A.

Il calcestruzzo può essere:

– miscelato in cantiere;
– preconfezionato o prodotto in un impianto per componenti di calcestruzzo prefabbricato.

Si fa riferimento al *calcestruzzo compatto*, realizzato in modo da non trattenere una quantità apprezzabile di aria intrappolata oltre a quella aggiunta. In base al peso si parla di *calcestruzzo normale*, *pesante e leggero*.

UNI EN 206 e UNI ENV 1992-1 sono correlate e integrate con le norme UNI EN relative a cemento, acqua e aggregati, che devono parimenti essere rispettate.

Particolare menzione va fatta alla direttiva Materiali in attuazione delle prescrizioni europee, al capitolo 11 delle NTC2008 e a tutte le norme UNI EN, EN o ISO in esso citate. Particolarmente utili risultano anche le linee guida per il cls preconfezionato, per il calcestruzzo ad alta resistenza e per le raccomandazioni CNR.

Compito dei soggetti interessati dal processo che porta alla costruzione in calcestruzzo è dunque quello di informarsi e adeguarsi a tutte le disposizioni.

Il fine è quello di ottenere in tutta Europa un prodotto con caratteristiche simili e con una qualità accettabile.

*Altre norme europee per prodotti specifici, per esempio elementi prefabbricati o per processi che rientrano nello scopo della presente norma possono richiedere o permettere deviazioni della presente norma.*

*Requisiti addizionali o diversi possono essere definiti in altre parti della presente norma o in altre norme europee specifiche, per esempio:*

– *calcestruzzo per strade ed altre aree trafficate;*
– *calcestruzzo che utilizza altri materiali o materiali componenti non previsti nelle precedenti norme;*
– *calcestruzzo con diametro massimo dell'aggregato di 4 mm o minore (malta);*
– *tecnologie speciali;*
– *calcestruzzo per contenitori per rifiuti liquidi e gassosi;*
– *calcestruzzo per contenitori per la conservazione di sostanze inquinanti;*
– *calcestruzzo per strutture massicce;*
– *calcestruzzo premiscelato secco.*

N.B.: *Finché queste norme non sono disponibili, potranno essere applicate disposizioni valide nel luogo d'impiego del calcestruzzo.*

*Sono in preparazione norme europee per:*

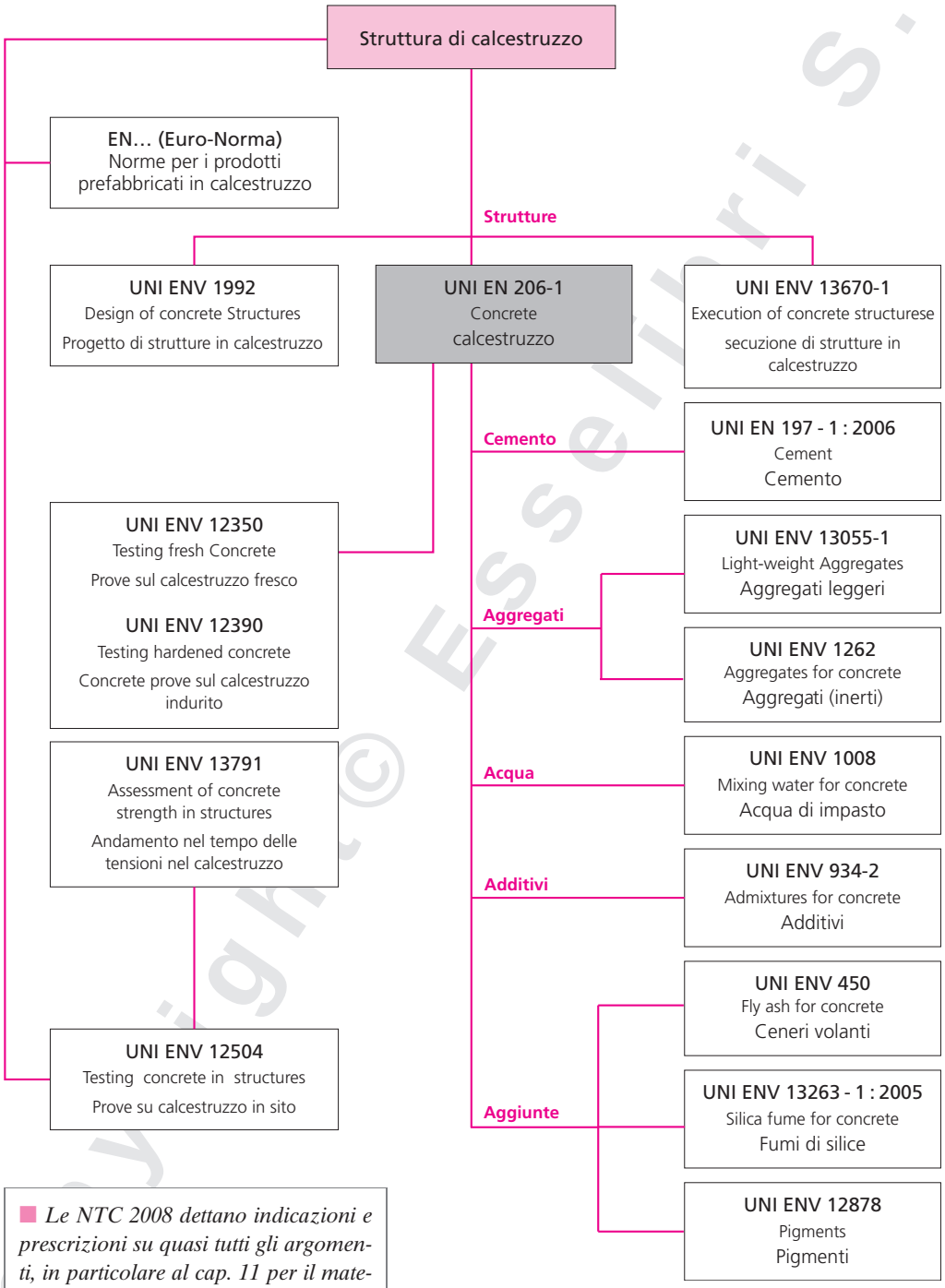
– *calcestruzzo per strade ed altre aree trafficate;*
– *calcestruzzo proiettato.*

*La UNI EN 206 non si applica a:*

– *calcestruzzo areato;*
– *calcestruzzo alveolare;*
– *calcestruzzo con struttura aperta;*
– *calcestruzzo con massa volumica minore di 800 kg/m$^3$;*
– *calcestruzzo refrattario.*

*La norma europea non contiene ancora disposizione per la protezione della salute e per la sicurezza degli addetti alla produzione e consegna del calcestruzzo.*

**Figura 2.1** Relazioni tra la UNI EN 206-1 e le norme per la progettazione e l'esecuzione, le norme relative ai costituenti e le norme per le prove.




*Le NTC 2008 dettano indicazioni e prescrizioni su quasi tutti gli argomenti, in particolare al cap. 11 per il materiale, al cap. 4 per il calcolo e al cap. 7 per la zona sismica.*

Copyright © Esselibri S.p.A.