

# Costruire con il cemento armato

CAPITOLO 4

## LE RAGIONI DI UN SUCCESSO

(*L'évolution du béton armé* – Jacques Fougerolle – 1949 *Les Journées du Centenaire du béton armé.*)

- RESISTENZA AL FUOCO
- ECONOMIA DI MANUTENZIONE
- FLESSIBILITÀ DI IMPIEGO
- LO SVILUPPO DELLA TECNICA
- FLESSIBILITÀ ECONOMICA, che permette di adeguare i cinque elementi costituenti alle particolari condizioni realizzative in modo da ottenere il migliore rapporto costi/benefici)
- EVOLUZIONE DEL CANTIERE DI COSTRUZIONE
- CARATTERE DI MONOLITICITÀ E IPERSTATICITÀ INTRINSECA
- INGEGNOSITÀ DEI TECNICI.



## PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

Ciascuno degli aspetti su richiamati ha contribuito per sua parte a garantire l'alto gradimento che il materiale ha riscosso da parte di progettisti e imprese costruttrici.

Un'osservazione per tutte. Soffermandosi sui vantaggi offerti dalla monoliticità della costruzione in cemento armato nella realizzazione degli orizzontamenti in latero-cemento, vi è da considerare l'indubbia maggiore efficacia statica offerta da questo materiale rispetto alle soluzioni ottenibili in acciaio o in legno. Infatti, anche se la schematizzazione statica del complesso solaio-travi è una diretta derivazione dei più classici impalcati ad elementi sovrapposti (tavolato+ travi secondarie+ travi principali), il suo funzionamento reale è estremamente più articolato e comporta indubbi benefici nei confronti della stabilità di tutto l'organismo strutturale. Basti pensare all'efficacia fornita da una soletta, collegata monoliticamente agli elementi resistenti verticali, per quello che riguarda la sua funzione di ripartizione delle azioni orizzontali tra i vari controventi.

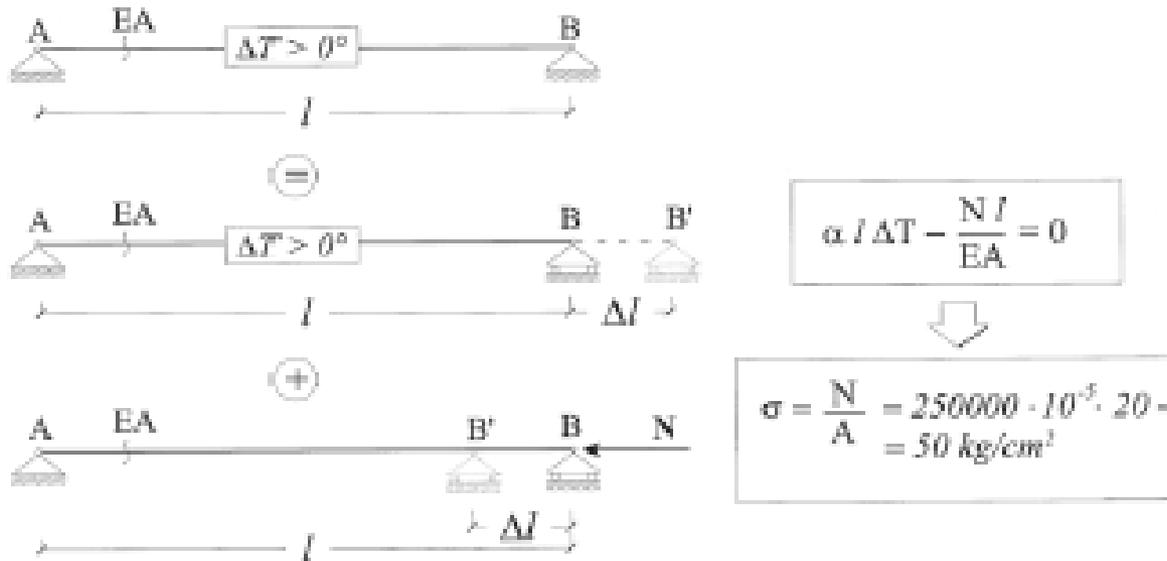
Per contro, non è possibile nascondere le più o meno intrinseche deficienze o, comunque, le peculiarità di comportamento di una struttura in cemento armato. Di tali peculiarità è opportuno tener conto nella progettazione strutturale, per scongiurare sorprese nella risposta dell'organismo realizzato, come per meglio sfruttare tutte le potenzialità del materiale.

# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 1. Sensibilità termica

La circostanza che il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo ( $\alpha \approx 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ) è uguale a quello dell'acciaio, ha, in parte, caratterizzato la fortuna della loro associazione strutturale. Purtroppo, però, la monoliticità dell'organismo e la difficoltà di realizzare efficaci giunti di dilatazione rendono particolarmente oneroso l'effetto delle variazioni termiche.

Tale situazione è esaltata dalla notevole differenza nelle dimensioni solitamente esistente tra le diverse parti della struttura, a carico delle quali gli effetti termici inducono forti interazioni tensionali.



Per valutare l'ordine di grandezza delle sollecitazioni indotte da una variazione termica, basti considerare che l'azzeramento della variazione di lunghezza corrispondente ad un  $\Delta t$  pari a  $20^\circ\text{C}$  conduce ad una tensione di  $50 \text{ kg/cm}^2$

# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 2. Ritiro

Uno degli effetti associati alla presa di un calcestruzzo in ambiente umido è la sua **diminuzione di volume o ritiro**. A causa della inevitabile iperstaticità, quanto meno interna, del solido di calcestruzzo, il ritiro causa delle tensioni autogenerate, associate al mancato libero evolversi del fenomeno.

Gli effetti del ritiro, come ordine di grandezza equivalenti ad una variazione termica di  $20+30^{\circ}\text{C}$ , sono di difficile valutazione poiché dipendono da una serie di fattori legati al tipo di miscela utilizzata, al tipo di maturazione cui è sottoposta la struttura, all'utilizzazione di additivi e così via.

Al ritiro è associato il fenomeno della fessurazione: nei sistemi isostatici, la presenza di armature (che si oppongono al naturale sviluppo del fenomeno) rappresentano la causa principale della fessurazione; nei sistemi iperstatici, invece, le trazioni prodotte dal ritiro per la presenza di vincoli sovrabbondanti, vengono in parte assorbite dall'armatura che, in questo caso, opera invece nel senso di ridurre l'ampiezza delle fessure.

# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 3. Ritiro

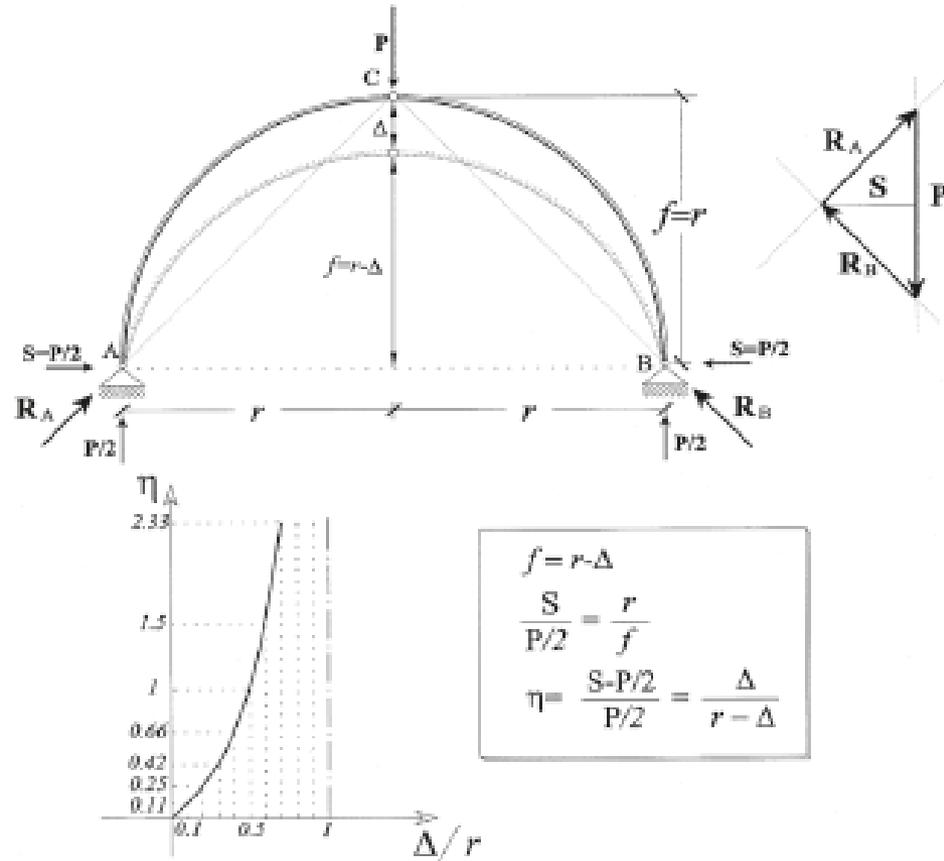
Afferma Nervi che *"per il cemento armato l'elemento base, il conglomerato, è tanto variabile e mutevole quanto possono esserlo gli individui di una stessa specie vivente"*. Infatti la risposta meccanica di un calcestruzzo dipende dalla qualità e granulometria degli inerti, dal rapporto acqua/cemento, dalle modalità usate nell'impasto e nel getto, dalle condizioni ambientali di maturazione, dalla presenza di eventuali additivi, dalle caratteristiche dello stesso cemento.

Pertanto, ai fini della qualità del risultato finale in termini di sicurezza, la progettazione della miscela assume un peso quasi equivalente a quello della vera e propria progettazione strutturale. È comunque certo che i controlli delle diverse operazioni, sia in fase di confezionamento che di maturazione e presa, da realizzare in centrale di betonaggio e in cantiere, assumono un'importanza decisiva.

# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

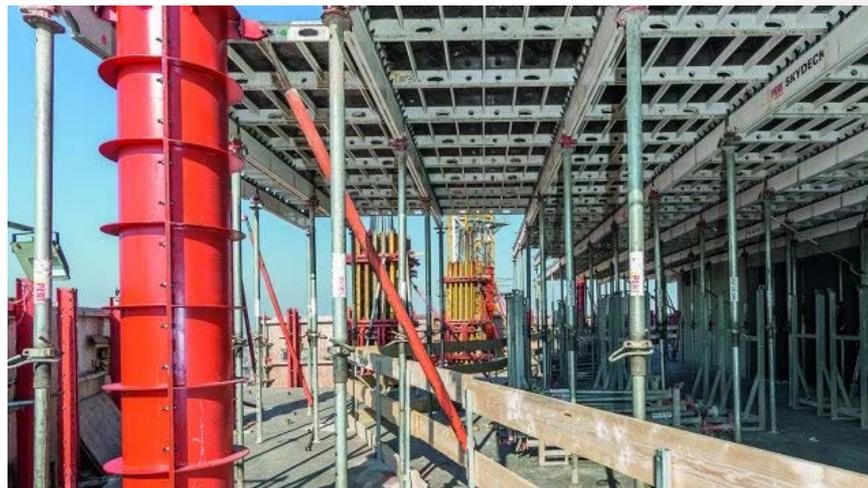
## 4. Casseforme e centine

Un altro momento fondamentale nella realizzazione dell'opera riguarda il controllo delle operazioni di getto della miscela, e, quindi, la progettazione delle cassature e delle armature provvisorie, necessarie a fornire al calcestruzzo indurito la forma prevista. Il progetto e il dimensionamento delle strutture provvisorie è spesso trascurato e ritenuto a torto una semplice operazione routinaria di cantiere, la cui importanza è intesa solo in termini geometrici. In effetti il ruolo delle strutture provvisorie di supporto al getto riveste un'importanza assoluta ai fini della realizzazione del regime statico previsto.



# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 4. Casseforme e centine



# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 4. Casseforme e centine



# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 4. Casseforme e centine



# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 5. Modalità di armatura

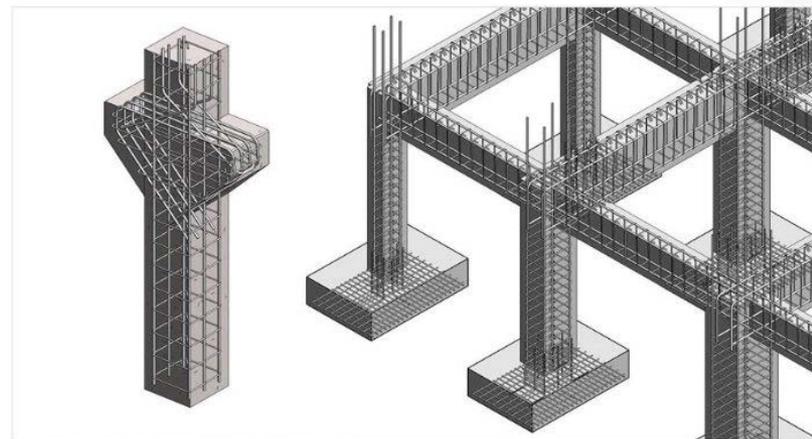
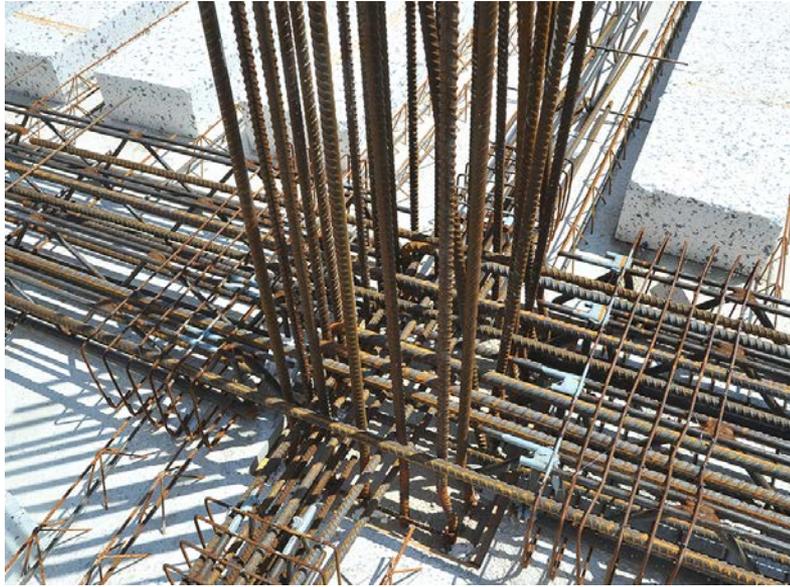
Qualità, quantità e disposizione dei ferri di armatura condizionano la risposta di una struttura in cemento armato, sia globalmente che localmente. Si può infatti affermare che le modalità di trasferimento dei carichi all'interno di una struttura, la qualità del regime statico che in essa si realizza in funzione del dettaglio costruttivo e, in definitiva, la sua sicurezza finale sono influenzati da quelle che genericamente si possono definire le modalità di armatura.

Un buon progetto di una struttura in cemento armato, deve porsi come obiettivo anche il corretto disegno dei ferri, sia in funzione dello stato di sollecitazione determinato dall'analisi strutturale, sia con la finalità di controllare fenomeni quali la fessurazione e gli effetti a lungo termine anche in considerazione delle modalità di realizzazione in cantiere (o nello stabilimento di prefabbricazione).

Un eccesso di armatura, oltre che denunciare spesso un sottodimensionamento dell'elemento strutturale e quindi un suo incorretto funzionamento, può risultare dannoso sia in termini di modalità di rottura che di esecuzione, in quanto crea vere e proprie congestioni di armature che possono compromettere la regolarità dei getti. I risultati in termini di indebolimento delle sezioni possono essere addirittura catastrofici e portare al crollo dell'opera al momento del disarmo, anche solo per l'azione del peso proprio.

# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 5. Modalità di armatura



Define and visualize concrete reinforcement in Revit Structure software.

# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 6. Qualità della manodopera

La competenza di tutte le componenti che concorrono alla realizzazione di un'opera in c.a. ha la stessa importanza di una accurata progettazione.

Il direttore dei lavori deve poter contare su maestranze qualificate e specializzate, in grado di leggere tutti gli elaborati progettuali, di realizzare efficacemente ogni dettaglio costruttivo, e in definitiva di condurre al risultato previsto in sede di progetto.

La qualità di esecuzione, pertanto, è da considerare assolutamente paritetica alla qualità progettuale ai fini dell'ottenimento di un'opera strutturalmente corretta e sicura.

# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 7. Variazioni della risposta rispetto alle previsioni di calcolo

Un ulteriore **motivo di incertezza** nella definizione del comportamento statico-deformativo di una struttura in calcestruzzo risiede nella **incostanza delle leggi costitutive del materiale** in funzione del suo stato di cemento, delle sue caratteristiche di qualità, del tempo di applicazione e di permanenza del carico.

Infatti, a differenza dell'acciaio, **il modulo elastico di un calcestruzzo è una quantità decisamente variabile in funzione della resistenza meccanica dello stesso** e, in definitiva, delle caratteristiche dei suoi componenti e delle modalità di esecuzione e di stagionatura.

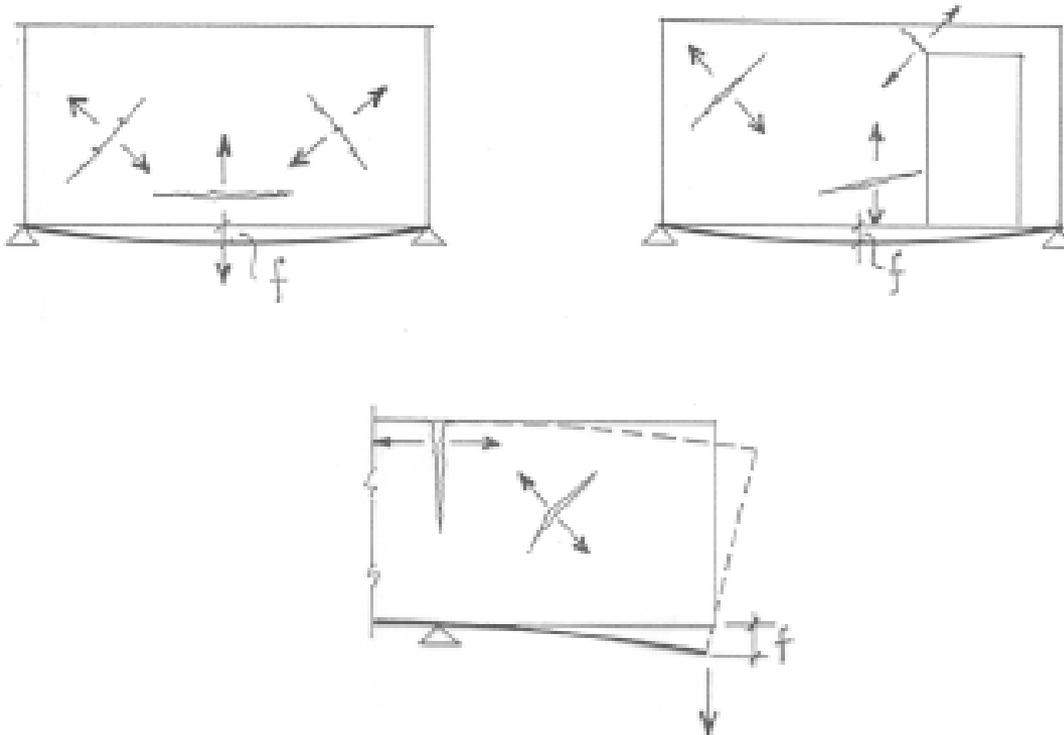
È pertanto ben difficile che parti strutturali differenti, realizzate in momenti diversi e con materiali ovviamente dissimili, presentino uguali caratteristiche elastiche, con l'inevitabile conseguenza di un imprevisto irrigidimento delle zone di migliore qualità. Inoltre, la stessa modalità di risposta istantanea è difficilmente confinabile nell'ambito della teoria dell'elasticità lineare, in quanto il materiale presenta spiccate caratteristiche di non-linearità e di plasticità sin dai livelli più bassi di cemento.

Pertanto, poiché sia la variabilità nei moduli tangenti, che la non linearità e la plasticità interessano l'intera struttura in maniera generalmente non uniforme, esse diventano responsabili di modificazioni nello stato di cemento rispetto alle previsioni di calcolo, a causa del cumularsi di deformazioni permanenti e di stati di coazione generalmente non previsti nel calcolo.

# PECULIARITÀ DI UNA STRUTTURA IN CEMENTO ARMATO

## 7. Variazioni della risposta rispetto alle previsioni di calcolo

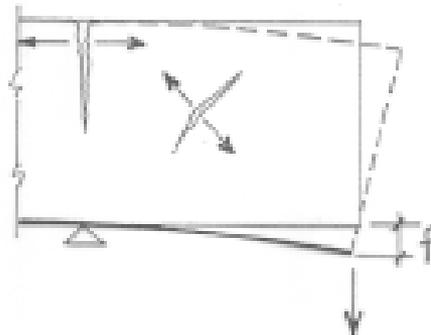
In presenza di carichi che permangono sulla struttura per lunghi periodi, sulla stessa compaiono deformazioni differite nel tempo, le quali, sommandosi a quelle immediate, inficiano la risposta dei diversi componenti. Il fenomeno in questione, definito **viscosità**, non può essere ignorato in alcuna delle fasi di progettazione e di verifica di una struttura, poiché esso spesso condiziona le scelte del progettista, strutturale ma anche architettonico, vincolandolo al rispetto di condizioni non di sola resistenza.



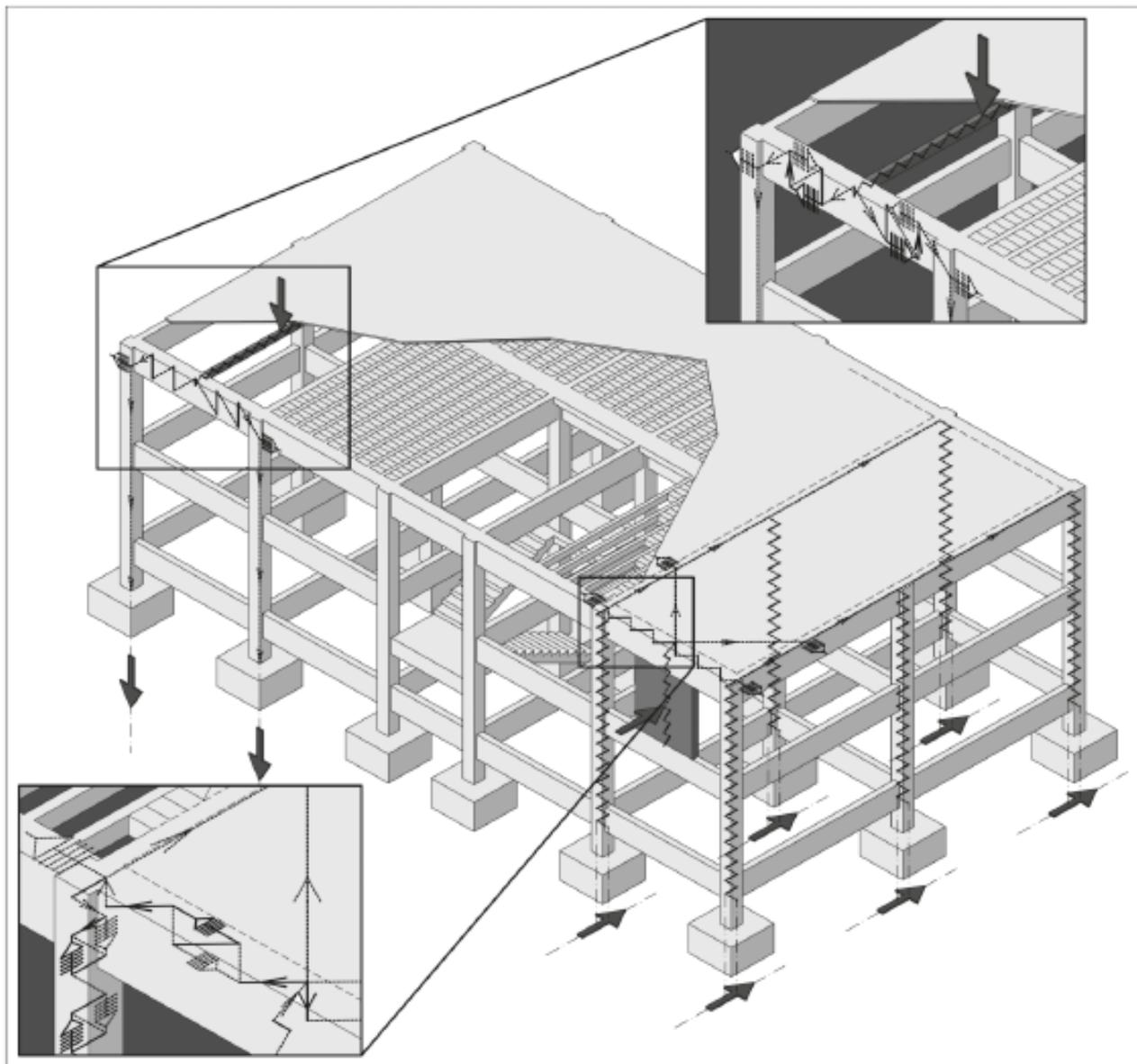
## SISTEMI COSTRUTTIVI IN CEMENTO ARMATO

Considerando esclusivamente gli edifici a struttura resistente in calcestruzzo armato si può affermare che le strutture in c.a. più comunemente utilizzate si possono ricondurre a tre tipologie:

- sistemi intelaiati
- sistemi a pareti
- sistemi misti

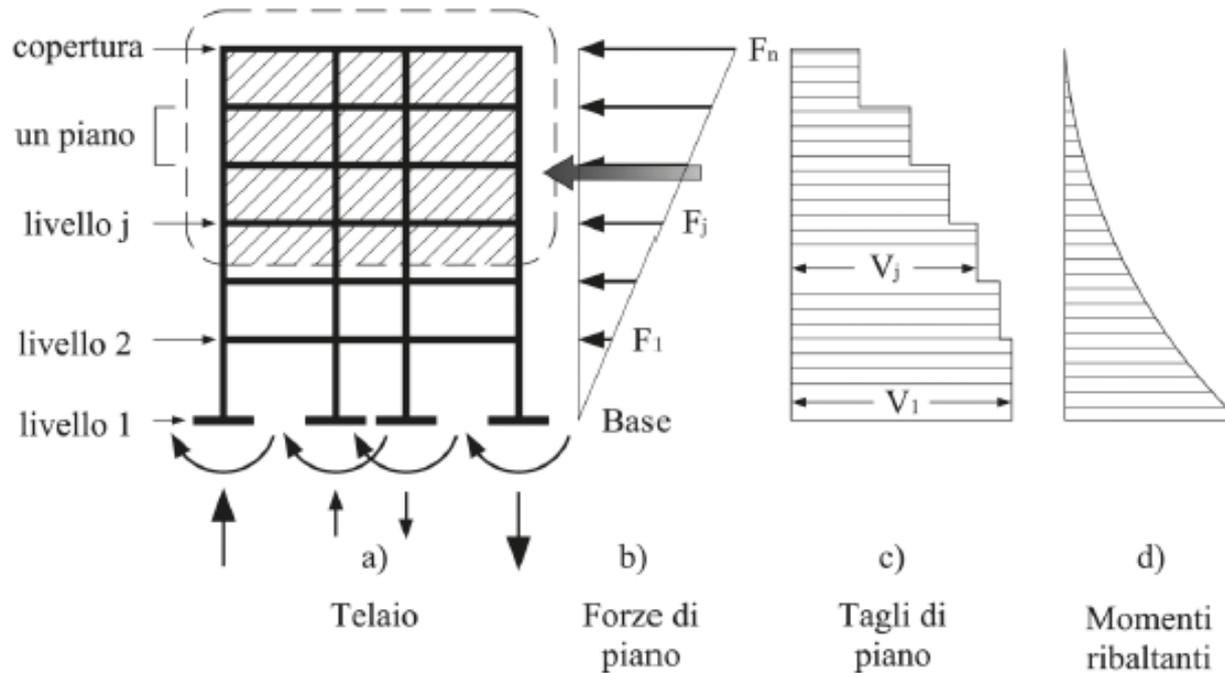


# SISTEMI INTELAIATI



## SISTEMI STRUTTURALI A PARETE O MISTI (TELAIO-PARETE)

Con l'aumentare dell'altezza della costruzione o con l'aumentare dell'entità delle azioni orizzontali (edifici siti in zone sismiche), si tende ad abbandonare le soluzioni tradizionali, convenienti nei campi di corrente impiego, a favore di strutture nelle quali le rilevanti azioni flessionali al piede sono assorbite da elementi-parete controventanti.

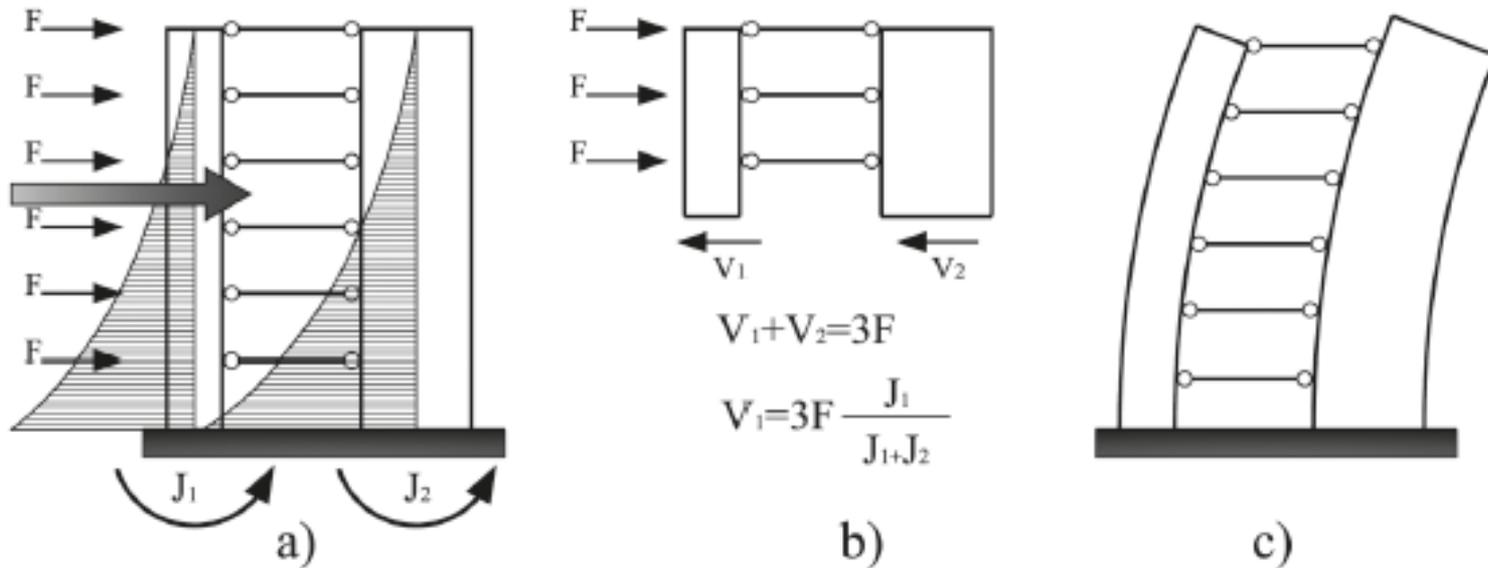


$$M = \sum M_i + \sum N \cdot d$$

Equilibrio al ribaltamento del sistema

## SISTEMI STRUTTURALI A PARETE O MISTI (TELAIO-PARETE)

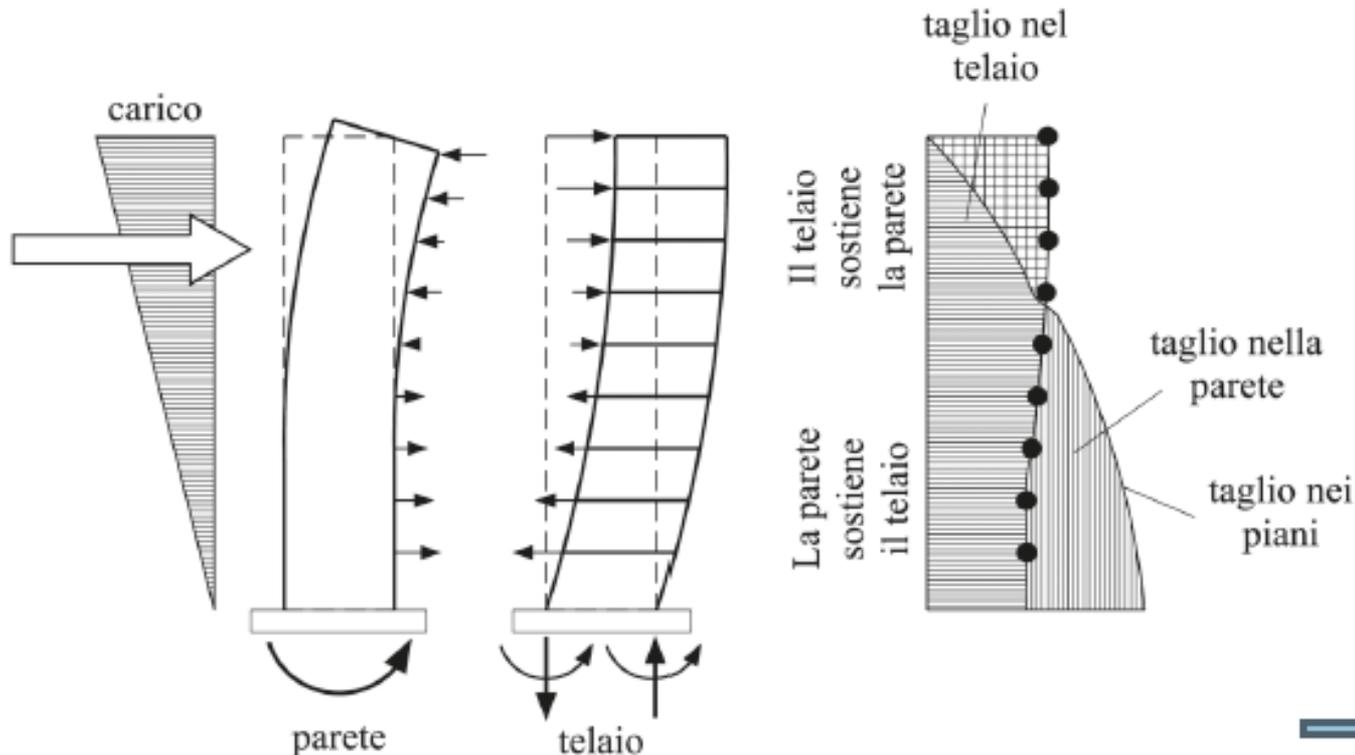
Quando il rapporto B/H (Base/Altezza edificio) diviene più piccolo, la componente flessionale dell'equazione precedente diventa via via più importante. In questi casi, le dimensioni dei pilastri possono raggiungere valori rilevanti, tanto che si tende ad aiutare gli elementi verticali attraverso l'inserimento di larghe pareti (shear walls). In figura è schematizzato il funzionamento limite dell'edificio con la soluzione «a pareti», nell'ipotesi di connessioni trave-parete a cerniera: il momento ribaltante  $M_R$  in questa ipotesi non può che essere equilibrato esclusivamente dalle azioni flessionali sulle singole pareti.



$$M = \sum M_i$$

## SISTEMI STRUTTURALI A PARETE O MISTI (TELAIO-PARETE)

Un interessante miglioramento può essere ottenuto attraverso l'accoppiamento di telai e pareti con scambio di azioni tra i due elementi. Tali interazioni invertono il loro verso passando dai piani più alti a quelli più bassi, tanto che la parete spinge sul telaio in corrispondenza degli ultimi piani (dove esso è più rigido), mentre il telaio spinge sulla parete ai livelli più bassi (dove la parete è più rigida). Si ottiene così un sistema estremamente rigido e resistente, spesso utilizzato nella realizzazione di grattacieli.



## COMPONENTI DEL CALCESTRUZZO

La composizione di un aggregato di **inerti** (sabbia e ghiaia o pietrisco), legati tra loro dalla pasta di **cemento (cemento e acqua)** dà luogo ad un **conglomerato lapideo artificiale**, viene chiamato **calcestruzzo (cls)**.

Questo si ottiene mescolando appunto acqua, cemento, elementi lapidei più o meno fini (aggregati) ed eventuali aggiunte chimiche, nelle opportune proporzioni. L'impasto così ottenuto, inizialmente fluido, lentamente si irrigidisce sino a diventare solido, per sviluppare di seguito considerevoli caratteristiche meccaniche.

Allo stato fluido il **cls** si riesce a colarlo in contenitori appositi (casseforme) che vengono di seguito rimossi ad ultimazione della fase di indurimento.

Il risultato finale è una roccia artificiale monolitica che prende le forme del contenitore in cui viene versato.

Il calcestruzzo è quindi a tutti gli effetti una pietra artificiale e come tale va progettato e costruito: le qualità finali del materiale dipendono non tanto e non solo dalla natura dei singoli componenti, quanto, soprattutto, dalla tecnologia e da un appropriato impiego e dosaggio degli stessi.

## COMPONENTI DEL CALCESTRUZZO

IMPORTANTE:

# CONTROLLO DI QUALITÀ!!

Che non deve limitarsi esclusivamente alla determinazione della resistenza meccanica, ma che deve riguardare anche la valutazione, finale ed in corso d'opera, di tutte le altre caratteristiche.

Modulo elastico, scorrimento viscoso, ritiro, durabilità del calcestruzzo, sono parametri con un'incidenza assolutamente determinante per una buona vita della costruzione, alla stessa stregua, se non in misura maggiore, rispetto alle tensioni di rottura.

## COMPONENTI DEL CALCESTRUZZO

Le Norme tecniche per le costruzioni richiedono al progettista la definizione del calcestruzzo da utilizzare attraverso le seguenti caratteristiche:

- Il diametro massimo dell'aggregato in funzione della disposizione delle armature metalliche.
- La classe di consistenza (lavorabilità) in funzione della difficoltà esecutiva dell'opera.
- La classe di resistenza (resistenza caratteristica) in funzione delle esigenze statiche della costruzione.
- La classe di esposizione (durabilità) della struttura in funzione dell'aggressività dell'ambiente dove l'opera è destinata a sorgere.

# COMPONENTI DEL CALCESTRUZZO

## CEMENTO

I tipi di cemento, sono raggruppati dalla Norma ENV 197-1 in cinque tipi principali:

- Tipo 1 - Cemento Portland,
- Tipo II - Cemento Portland composito,
- Tipo III – Cemento d'altoforno,
- Tipo IV - Cemento pozzolanico,
- Tipo V - Cemento composito,

ognuno dei quali (ad eccezione del Tipo I) può a sua volta distinguersi in sottotipi proprio per la diversità di alcuni costituenti.

I cementi possono avere tre classi di resistenza meccanica a 28 giorni (32.5-42.5-52.5 N/mm<sup>2</sup>) ed indurimento rapido o normale.

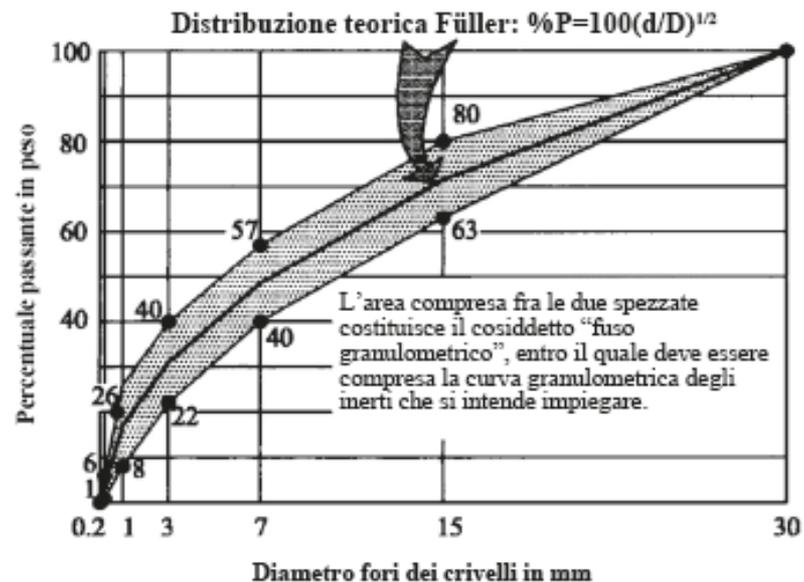
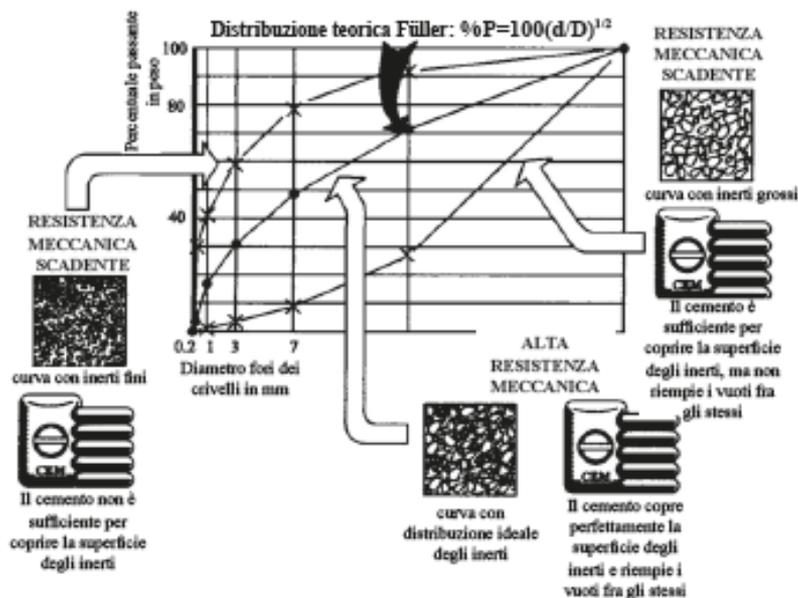
La Norma impone che sulla confezione del cemento compaia per la identificazione esatta, la sigla CEM. seguita dal Tipo, Sottotipo, Classe di resistenza e tipo di indurimento: per cui, ad esempio, un cemento Tipo I Portland, classe di resistenza 42.5 e a rapido indurimento sarà denominato e riconoscibile con la sigla:

**CEM I 42.5 R ENV 197/1**

# COMPONENTI DEL CALCESTRUZZO

## AGGREGATI

Gli aggregati, anche indicati come inerti, costituiscono un componente del calcestruzzo di fondamentale importanza. Si tratta di elementi che non partecipano ai processi chimici di presa ed indurimento (da cui la definizione di inerti) e sono aggiunti alla miscela allo stato sciolto con pezzatura e dimensioni variabili. Gli aggregati ordinari possono essere naturali (inerte tondo) o di frantumazione, o anche artificiali come, ad esempio, l'argilla espansa.



# COMPONENTI DEL CALCESTRUZZO

## AGGREGATI

I principali criteri di scelta del diametro massimo dell'inerte sono:

- Dmax non deve superare i  $3/4$  dello spessore del copriferro (formazione di vespai)
- Dmax deve essere minore di 5mm dell'interferro (blocco del flusso del Cls)
- Dmax non deve superare  $1/4$  della sezione minima strutturale
- Un aumento di Dmax comporta una riduzione della richiesta d'acqua d'impasto a pari lavorabilità.

## COMPONENTI DEL CALCESTRUZZO

### ACQUA

L'acqua d'impasto deve essere limpida, priva di sali (particolarmente solfati e cloruri) in percentuali dannose e non essere aggressiva; in generale l'acqua potabile è adatta.

L'acqua svolge la funzione fondamentale di permettere l'idratazione del cemento.

### IL PARAMETRO FONDAMENTALE È IL RAPPORTO ACQUA-CEMENTO

Sono sufficienti circa 30 litri per 100 kg di cemento (rapporto porto  $a/c = 0.3$ ).  
il rapporto  $a/c$  pari a 0.3 il calcestruzzo non è però lavorabile; per tale motivo, per aumentare la fluidità, bisogna aumentare il rapporto  $a/c$ .

L' aumento dell'acqua di impasto provoca una notevole diminuzione della resistenza finale, aumentando inoltre il ritiro del cls.

Per tale motivo la scelta del rapporto  $a/c$  ottimale costituisce uno dei problemi chiave di un calcestruzzo resistente e durabile.

## COMPONENTI DEL CALCESTRUZZO

### ADDITIVI

Si tratta di composti chimici allo stato liquido o di polvere, con cui vengono additivate le miscele. Queste sostanze, in relazione alle proprie specificità sono in grado di modificare una o più caratteristiche prestazionali, sia dello stato fresco come anche dello stato indurito. La moderna tecnologia si basa in maniera decisiva sul loro impiego, al punto che essi sono divenuti a pieno titolo componenti standard del calcestruzzo moderno.

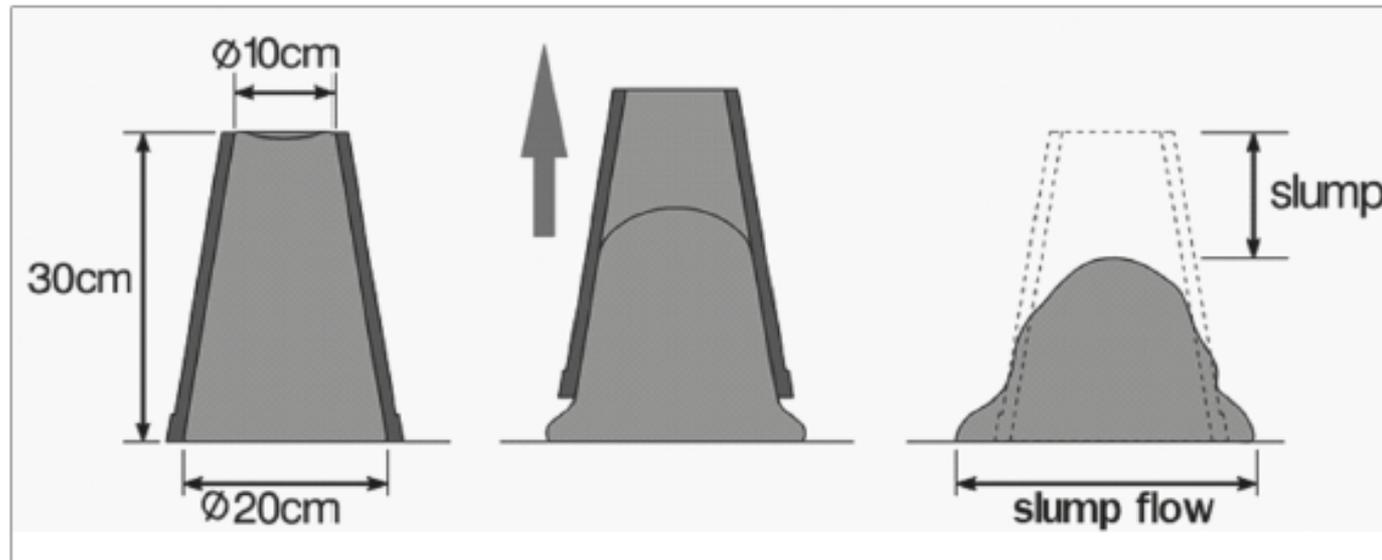
#### TIPI DI ADDITIVI:

- Fluidificanti
- Superfluidificanti
- Acceleranti
- Ritardanti
- Aeranti
- Viscosizzanti
- Antiritiro
- Altri

## CARATTERISTICHE DELLO STATO FRESCO

### CONSISTENZA E LAVORABILITÀ

La prova di abbassamento (slump) al cono di Abrams, indicata dalla norma UNI 9418, è la più semplice **prova per misurare la lavorabilità**. Consiste nel riempimento di un cono di metallo con del calcestruzzo prelevato dall'impasto o dall'autobetoniera.



# CARATTERISTICHE DELLO STATO FRESCO

## CONSISTENZA E LAVORABILITÀ

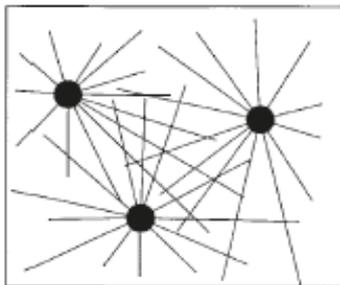
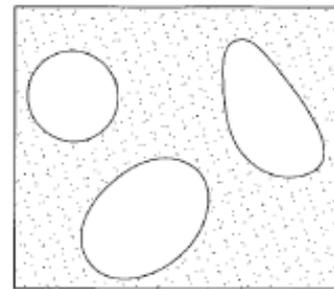
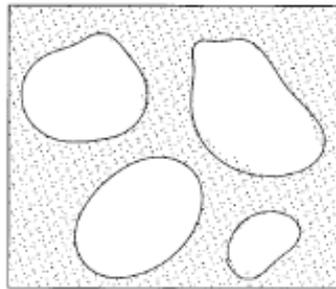
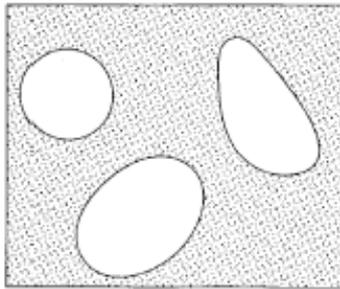


<i>Classe di consistenza</i>	<i>Slump (mm)</i>	<i>Applicazioni</i>
S1	10-40	Pavimenti
S2	50-90	Strutture circolari messe in opera con casseri rampanti
S3	100-150	Strutture non armate o poco armate o con pendenza
S4	160-210	Strutture mediamente armate
S5	$\geq 220$	Strutture fortemente armate di geometria complessa
SCC	$> 600$	Strutture nelle quali la compattazione meccanica non è possibile

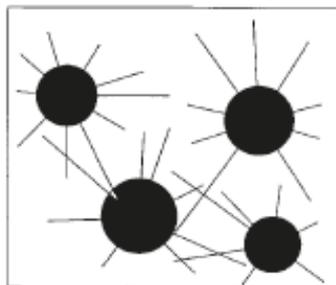
# CARATTERISTICHE DELLO STATO FRESCO

## PRESA E STAGIONATURA

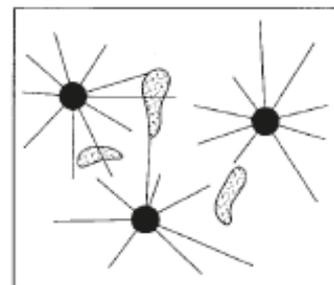
Il fenomeno di presa e successivo indurimento di un calcestruzzo è legato alle complesse trasformazioni chimico-fisiche che avvengono allorché il cemento a contatto con l'acqua, si idrata, cioè interagisce con essa. In particolare la presa consiste in un progressivo irrigidimento della pasta di cemento; tale trasformazione riduce progressivamente la lavorabilità della miscela e pertanto è necessario che inizi dopo un consistente intervallo di tempo dalla miscelazione.



**IDRATAZIONE COMPLETA:**  
tutta l'acqua viene coinvolta  
nei processi di idratazione.

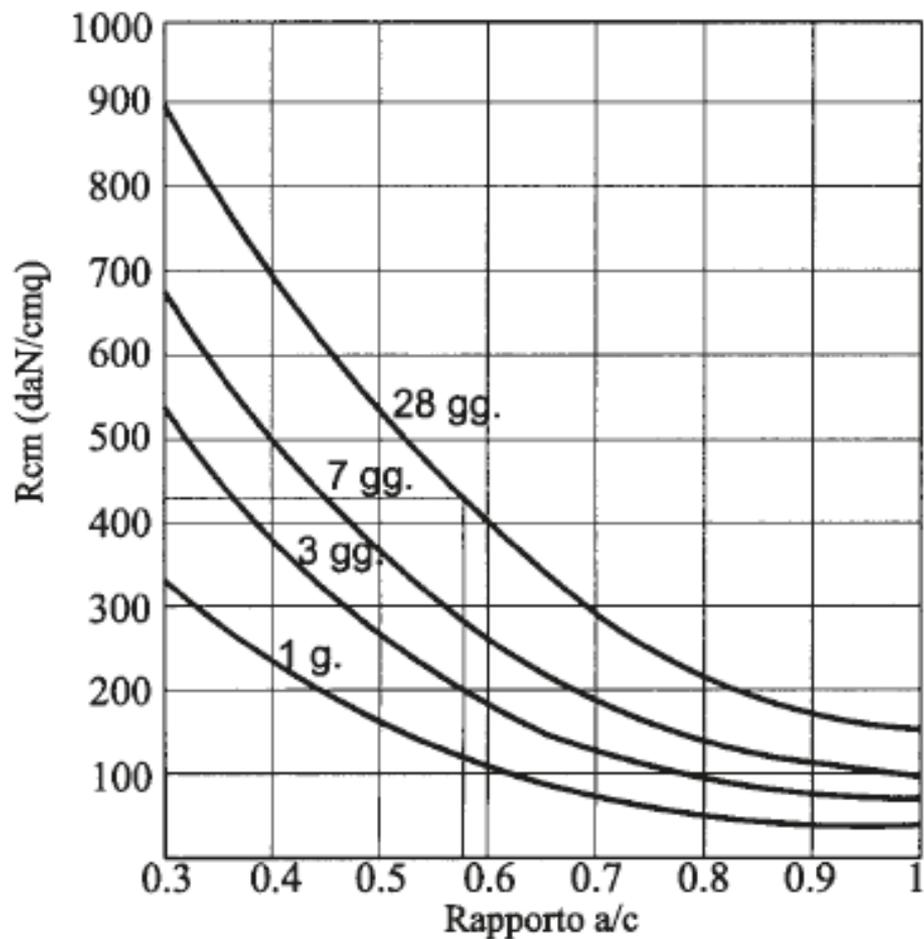


**IDRATAZIONE INCOMPLETA:**  
viene utilizzata tutta l'acqua, ma  
per effetto di un basso rapporto  
a/c si producono pochi prodotti  
d'idratazione.



**ECESSO DI ACQUA:** con un  
alto rapporto a/c non viene  
utilizzata tutta l'acqua.

## CARATTERISTICHE DELLO STATO FRESCO PRESA E STAGIONATURA



Indurimento del calcestruzzo

## CARATTERISTICHE DELLO STATO INDURITO

### RESISTENZA A COMPRESSIONE

Al fine di ottenere le prestazioni richieste, si dovranno dare indicazioni in merito alla composizione, ai processi di maturazione ed alle procedure di posa in opera, facendo utile riferimento alla norma **UNI ENV 13670-1:2001** ed alle *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo* pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nonché dare indicazioni in merito alla composizione della miscela, compresi gli eventuali additivi, tenuto conto anche delle previste classi di esposizione ambientale (norma **UNI EN 206-1 :2006**) e del requisito di durabilità delle opere.

# CARATTERISTICHE DELLO STATO INDURITO

## RESISTENZA A COMPRESSIONE

### CONTROLLI ACCETTAZIONE

La misura della resistenza a compressione (UNI 6132) è la più usuale delle prove sul calcestruzzo indurito, in quanto è prescritta tra gli obblighi del Direttore dei lavori di un'opera in calcestruzzo. Essa viene espressa come resistenza caratteristica  $R_{ck}$ , cioè quel valore al di sotto del quale viene a trovarsi, dal punto di vista probabilistico il 5% dell'insieme di tutti i possibili valori di resistenza misurati sul calcestruzzo in esame.

Il D.M.14.02.2008 distingue tra due possibili controlli di accettazione, in funzione del quantitativo di calcestruzzo:

- controllo di tipo A     quantitativi miscela omogenea  $\leq 300 \text{ m}^3$
- controllo di tipo B     quantitativi miscela omogenea  $\geq 1500 \text{ m}^3$

I “controlli di accettazione” sono obbligatori ed il collaudatore è tenuto a controllarne la validità, qualitativa e quantitativa; ove ciò non fosse, il collaudatore è tenuto a far eseguire delle prove che attestino le caratteristiche del calcestruzzo, seguendo la medesima procedura che si applica quando non risultino rispettati i limiti fissati dai “controlli di accettazione”.

# CARATTERISTICHE DELLO STATO INDURITO

## RESISTENZA A COMPRESSIONE

### **CONTROLLI ACCETTAZIONE**

#### **11.2.4 PRELIEVO DEI CAMPIONI**

Un prelievo consiste nel prelevare dagli impasti, al momento della posa in opera ed alla presenza del Direttore dei Lavori o di persona di sua fiducia, il calcestruzzo necessario per la confezione di un gruppo di due provini.

La media delle resistenze a compressione dei due provini di un prelievo rappresenta la “Resistenza di prelievo” che costituisce il valore mediante il quale vengono eseguiti i controlli del calcestruzzo.

È obbligo del Direttore dei Lavori prescrivere ulteriori prelievi rispetto al numero minimo, di cui ai successivi paragrafi, tutte le volte che variazioni di qualità e/o provenienza dei costituenti dell'impasto possano far presumere una variazione di qualità del calcestruzzo stesso, tale da non poter più essere considerato omogeneo.

Per la preparazione, la forma, le dimensioni e la stagionatura dei provini di calcestruzzo vale quanto indicato nelle norme UNI EN 12390-1:2002 e UNI EN 12390-2:2002.

Circa il procedimento da seguire per la determinazione della resistenza a compressione dei provini di calcestruzzo vale quanto indicato nelle norme UNI EN 12390-3:2003 e UNI EN 12390-4:2002.

Circa il procedimento da seguire per la determinazione della massa volumica vale quanto indicato nella norma UNI EN 12390-7:2002.

CARATTERISTICHE DELLO STATO INDURITO  
RESISTENZA A COMPRESSIONE  
**CONTROLLI ACCETTAZIONE**



# CARATTERISTICHE DELLO STATO INDURITO

## RESISTENZA A COMPRESSIONE

### CONTROLLI ACCETTAZIONE

#### 11.2.5 CONTROLLO DI ACCETTAZIONE

Il Direttore dei Lavori ha l'obbligo di eseguire controlli sistematici in corso d'opera per verificare la conformità delle caratteristiche del calcestruzzo messo in opera rispetto a quello stabilito dal progetto e sperimentalmente verificato in sede di valutazione preliminare

Il controllo di accettazione va eseguito su miscele omogenee e si configura, in funzione del quantitativo di calcestruzzo in accettazione, nel:

- controllo di tipo A di cui al § 11.2.5.1
- controllo di tipo B di cui al § 11.2.5.2

Il controllo di accettazione è positivo ed il quantitativo di calcestruzzo accettato se risultano verificate le disuguaglianze di cui alla Tab. 11.2.I seguente:

Tabella 11.2.I

Controllo di tipo A	Controllo di tipo B
$R_l \geq R_{ck} - 3,5$	
$R_m \geq R_{ck} + 3,5$ (N° prelievi: 3)	$R_m \geq R_{ck} + 1,4 s$ (N° prelievi $\geq 15$ )
Ove: $R_m$ = resistenza media dei prelievi (N/mm <sup>2</sup> ); $R_l$ = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm <sup>2</sup> ); $s$ = scarto quadratico medio.	

# CONTROLLI ACCETTAZIONE

## 11.2.5.1 Controllo di tipo A

Il controllo di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di  $300 \text{ m}^3$ . Ogni controllo di accettazione di tipo A è rappresentato da tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di  $100 \text{ m}^3$  di getto di miscela omogenea. Risulta quindi un controllo di accettazione ogni  $300 \text{ m}^3$  massimo di getto. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo.

Nelle costruzioni con meno di  $100 \text{ m}^3$  di getto di miscela omogenea, fermo restando l'obbligo di almeno 3 prelievi e del rispetto delle limitazioni di cui sopra, è consentito derogare dall'obbligo di prelievo giornaliero.

## 11.2.5.2 Controllo di tipo B

Nella realizzazione di opere strutturali che richiedano l'impiego di più di  $1500 \text{ m}^3$  di miscela omogenea è obbligatorio il controllo di accettazione di tipo statistico (tipo B).

Il controllo è riferito ad una definita miscela omogenea e va eseguito con frequenza non minore di un controllo ogni  $1500 \text{ m}^3$  di calcestruzzo.

Per ogni giorno di getto di miscela omogenea va effettuato almeno un prelievo, e complessivamente almeno 15 prelievi sui  $1500 \text{ m}^3$ .

Se si eseguono controlli statistici accurati, l'interpretazione dei risultati sperimentali può essere svolta con i metodi completi dell'analisi statistica assumendo anche distribuzioni diverse dalla normale. Si deve individuare la legge di distribuzione più corretta e il valor medio unitamente al coefficiente di variazione (rapporto tra deviazione standard e valore medio). In questo caso la resistenza minima di prelievo  $R_1$  dovrà essere maggiore del valore corrispondente al frattile inferiore 1%.

Per calcestruzzi con coefficiente di variazione ( $s / R_m$ ) superiore a 0,15 occorrono controlli più accurati, integrati con prove complementari di cui al §11.2.6.

Non sono accettabili calcestruzzi con coefficiente di variazione superiore a 0,3.

## 11.2.5.3 Prescrizioni comuni per entrambi i criteri di controllo

Il prelievo dei provini per il controllo di accettazione va eseguito alla presenza del Direttore dei Lavori o di un tecnico di sua fiducia che provvede alla redazione di apposito verbale di prelievo e dispone l'identificazione dei provini mediante sigle, etichettature indelebili, ecc.; la certificazione effettuata dal laboratorio prove materiali deve riportare riferimento a tale verbale.

La domanda di prove al laboratorio deve essere sottoscritta dal Direttore dei Lavori e deve contenere precise indicazioni sulla posizione delle strutture interessate da ciascun prelievo.

Le prove non richieste dal Direttore dei Lavori non possono fare parte dell'insieme statistico che serve per la determinazione della resistenza caratteristica del materiale.

Le prove a compressione vanno eseguite conformemente alle norme UNI EN 12390-3:2003.

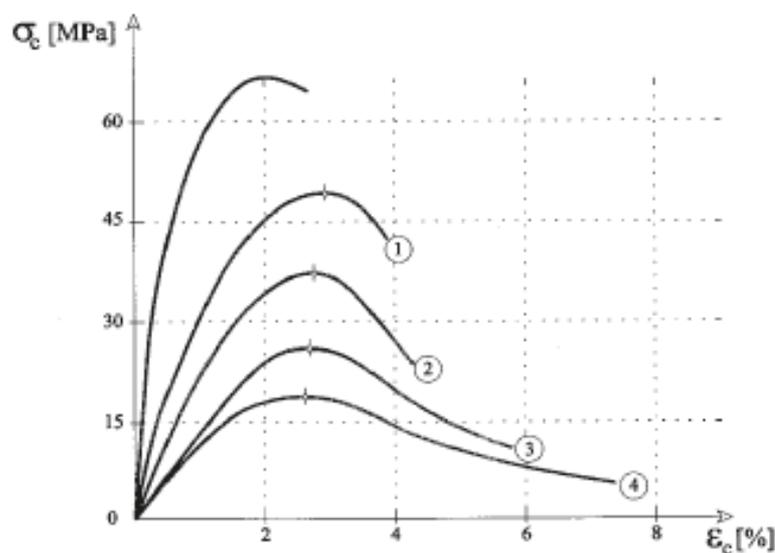
I certificati di prova emessi dai laboratori devono contenere almeno:

- l'identificazione del laboratorio che rilascia il certificato;
- una identificazione univoca del certificato (numero di serie e data di emissione) e di ciascuna sua pagina, oltre al numero totale di pagine;
- l'identificazione del committente dei lavori in esecuzione e del cantiere di riferimento;
- il nominativo del Direttore dei Lavori che richiede la prova;
- la descrizione, l'identificazione e la data di prelievo dei campioni da provare;
- la data di ricevimento dei campioni e la data di esecuzione delle prove;
- l'identificazione delle specifiche di prova o la descrizione del metodo o procedura adottata, con l'indicazione delle norme di riferimento per l'esecuzione della stessa;
- le dimensioni effettivamente misurate dei campioni provati, dopo eventuale rettifica;
- le modalità di rottura dei campioni;
- la massa volumica del campione;
- i valori di resistenza misurati.

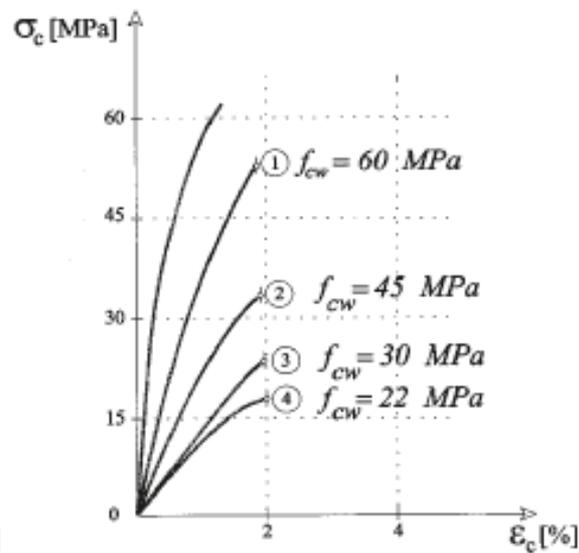
# CARATTERISTICHE DELLO STATO INDURITO

## RESISTENZA A COMPRESSIONE

Ai fini della valutazione del comportamento e della resistenza delle strutture in calcestruzzo, questo viene titolato ed identificato mediante la classe di resistenza contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cilindrica e cubica a compressione uniassiale, misurate rispettivamente su provini cilindrici (o prismatici) e cubici, espressa in MPa. La classe di resistenza è indicata con la lettera C seguita da due valori, resistenza su cilindro e su cubo: ad esempio **C40/50**.



a)  $d\epsilon/dt = \text{cost}$



b)  $d\sigma/dt = \text{cost}$

*Variation of the response of concrete in function of the strength*

# CARATTERISTICHE DELLO STATO INDURITO

## RESISTENZA A COMPRESSIONE

Le classi di resistenza normalizzate sono definite con la sigla **C** seguita da due numeri che rappresentano nell'ordine la resistenza caratteristica cilindrica  $f_{ck}$  e quella cubica  $R_{ck}$ .

Le resistenze si esprimono in  $N/mm^2$ .

La classe di resistenza è contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cilindrica e cubica a compressione uniassiale, misurate su provini normalizzati e cioè rispettivamente su cilindri di diametro 150 mm e di altezza 300 mm e su cubi di spigolo 150 mm.

$$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck}$$

CLASSE DI RESISTENZA
C8/10
C12/15
C16/20
C20/25
C25/30
C28/35
C 32/40
C35/45
C40/50
C45/55
C50/60
C55/67
C60/75
C70/85
C80/95
C90/105

Tabella 4.1.II – Impiego delle diverse classi di resistenza

STRUTTURE DI DESTINAZIONE	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA
Per strutture non armate o a bassa percentuale di armatura (§ 4.1.11)	C8/10
Per strutture semplicemente armate	C16/20
Per strutture precomprese	C28/35

# CARATTERISTICHE DELLO STATO INDURITO

## RESISTENZA A TRAZIONE

È questo un parametro assai significativo per la caratterizzazione del calcestruzzo in quanto da esso dipende, ad esempio, la valutazione della deformabilità e della fessurazione della struttura.

### 11.2.10.2 Resistenza a trazione

La resistenza a trazione del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di diretta sperimentazione, condotta su provini appositamente confezionati, secondo la norma UNI EN 12390-2:2002, per mezzo delle prove di seguito indicate:

- prove di trazione diretta;
- prove di trazione indiretta: (secondo UNI EN 12390-6:2002 o metodo dimostrato equivalente);
- prove di trazione per flessione: (secondo UNI EN 12390-5:2002 o metodo dimostrato equivalente).

In sede di progettazione si può assumere come resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo il valore (in  $\text{N/mm}^2$ ):

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad \text{per classi} \leq C50/60 \quad (11.2.3a)$$

$$f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln[1 + f_{cm}/10] \quad \text{per classi} > C50/60 \quad (11.2.3b)$$

I valori caratteristici corrispondenti ai frattili 5% e 95% sono assunti, rispettivamente, pari a  $0,7 f_{ctm}$ , ed  $1,3 f_{ctm}$ .

Il valore medio della resistenza a trazione per flessione è assunto, in mancanza di sperimentazione diretta, pari a:

$$f_{ctfm} = 1,2 f_{ctm} \quad (11.2.4)$$

# CARATTERISTICHE DELLO STATO INDURITO

## MODULO ELASTICO – POISSON – TERMICO

### 11.2.10.3 Modulo elastico

Per modulo elastico istantaneo del calcestruzzo va assunto quello secante tra la tensione nulla e 0,40  $f_{cm}$ , determinato sulla base di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI 6556:1976.

In sede di progettazione si può assumere il valore:

$$E_{cm} = 22.000 \cdot [f_{cm}/10]^{0,3} \quad [N/mm^2] \quad (11.2.5)$$

La formula non è da considerarsi vincolante nell'interpretazione dei controlli sperimentali delle strutture. È sempre confermato sperimentalmente che la deformabilità del calcestruzzo diminuisce all'aumentare della resistenza e che calcestruzzi di resistenza più elevata esibiscono rotture meno duttili.

### 11.2.10.4 Coefficiente di *Poisson*

Per il coefficiente di *Poisson* può adottarsi, a seconda dello stato di sollecitazione, un valore compreso tra 0 (calcestruzzo fessurato) e 0,2 (calcestruzzo non fessurato).

### 11.2.10.5 Coefficiente di dilatazione termica

Il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può essere determinato a mezzo di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI EN 1770:2000.

In sede di progettazione, o in mancanza di una determinazione sperimentale diretta, per il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può assumersi un valor medio pari a  $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , fermo restando che tale quantità dipende significativamente dal tipo di calcestruzzo considerato (rapporto inerti/legante, tipi di inerti, ecc.) e può assumere valori anche sensibilmente diversi da quello indicato.

## DEFORMAZIONI DIPENDENTI DAL TEMPO

### RITIRO

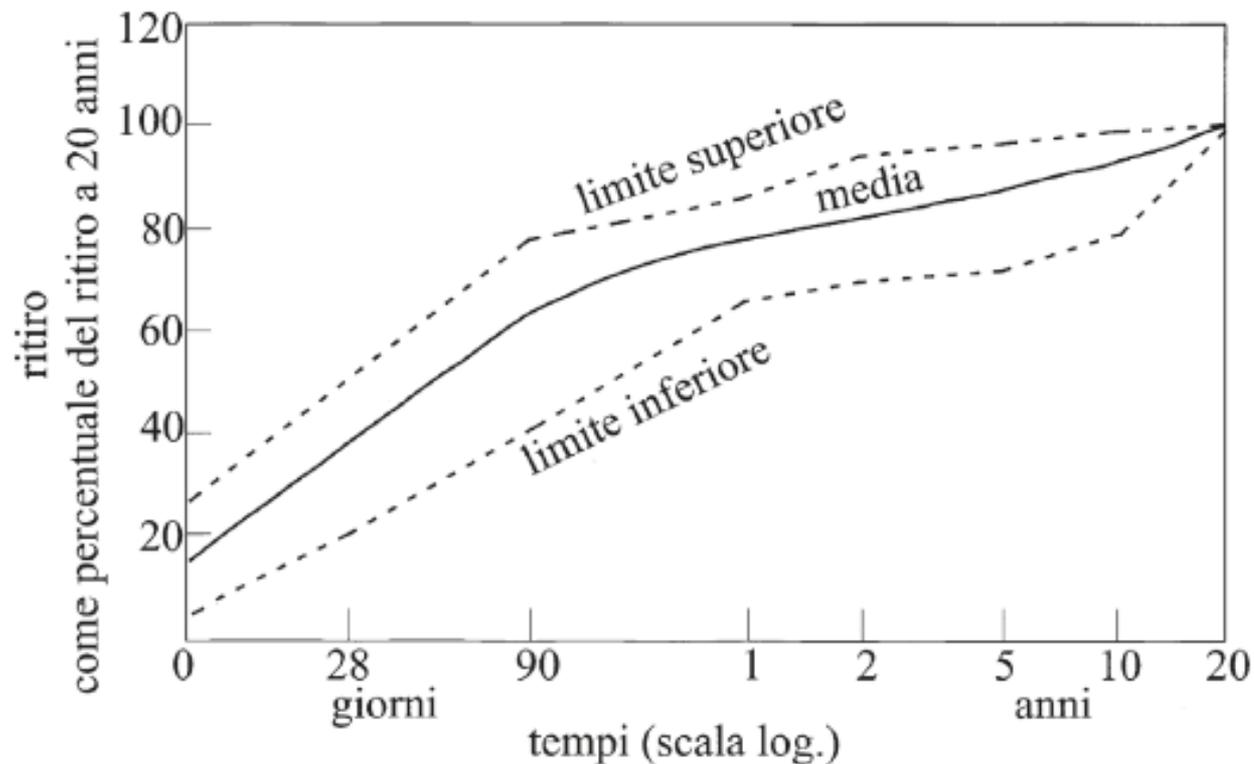
Il **ritiro** è un fenomeno indipendente dal carico, che comporta **variazione di volume** nel calcestruzzo **durante la fase di presa e di indurimento a causa dalla progressiva eliminazione dell'acqua contenuta nella pasta cementizia**. Esso determina una contrazione (shrinkage), ovvero un rigonfiamento (swelling) del getto a seconda che, dopo il disarmo, la maturazione avvenga rispettivamente in aria (insatura di vapore) o in acqua. Per strutture esposte in un ambiente con umidità relativa permanente superiore al 95% il ritiro può considerarsi praticamente nullo.

La contrazione che si verifica **a poche ore dal getto** quando il calcestruzzo è ancora in fase plastica viene indicato come **ritiro plastico (o a breve termine)** ed è dovuto alla perdita d'acqua dalla superficie del calcestruzzo a seguito del passaggio dalla fase liquida alla fase plastica;

La contrazione che si verifica **durante la fase di indurimento** viene indicata **ritiro idraulico (o a lungo termine)** e si manifesta durante tutta la vita del conglomerato anche se con velocità rapidamente decrescente nel tempo.

## DEFORMAZIONI DIPENDENTI DAL TEMPO

### RITIRO



Il ritiro a lungo termine si distingue in:

- **ritiro autogeno** dovuto a motivi interni al calcestruzzo (idratazione del cemento) e si verifica in assenza di variazioni igrometriche e termiche.
- **ritiro da essiccamento** dovuto a cause esterne al calcestruzzo e si verifica durante la stagionatura a causa dell'evaporazione dell'acqua contenuta dal conglomerato.

# DEFORMAZIONI DIPENDENTI DAL TEMPO

## RITIRO

La deformazione totale da ritiro si può esprimere come:

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} \quad (11.2.6)$$

dove:

$\epsilon_{cs}$  è la deformazione totale per ritiro

$\epsilon_{cd}$  è la deformazione per ritiro da essiccamento

$\epsilon_{ca}$  è la deformazione per ritiro autogeno.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento :

$$\epsilon_{cd,\infty} = k_h \epsilon_{c0} \quad (11.2.7)$$

può essere valutato mediante i valori delle seguenti Tab. 11.2.Va-b in funzione della resistenza caratteristica a compressione, dell'umidità relativa e del parametro  $h_0$ :

**Tabella 11.2.Va** – Valori di  $\epsilon_{c0}$

$f_{ck}$	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in %)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

**Tabella 11.2.Vb** – Valori di  $k_h$

$h_0$ (mm)	$k_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

$$h_0 = \frac{2A_c}{u}$$

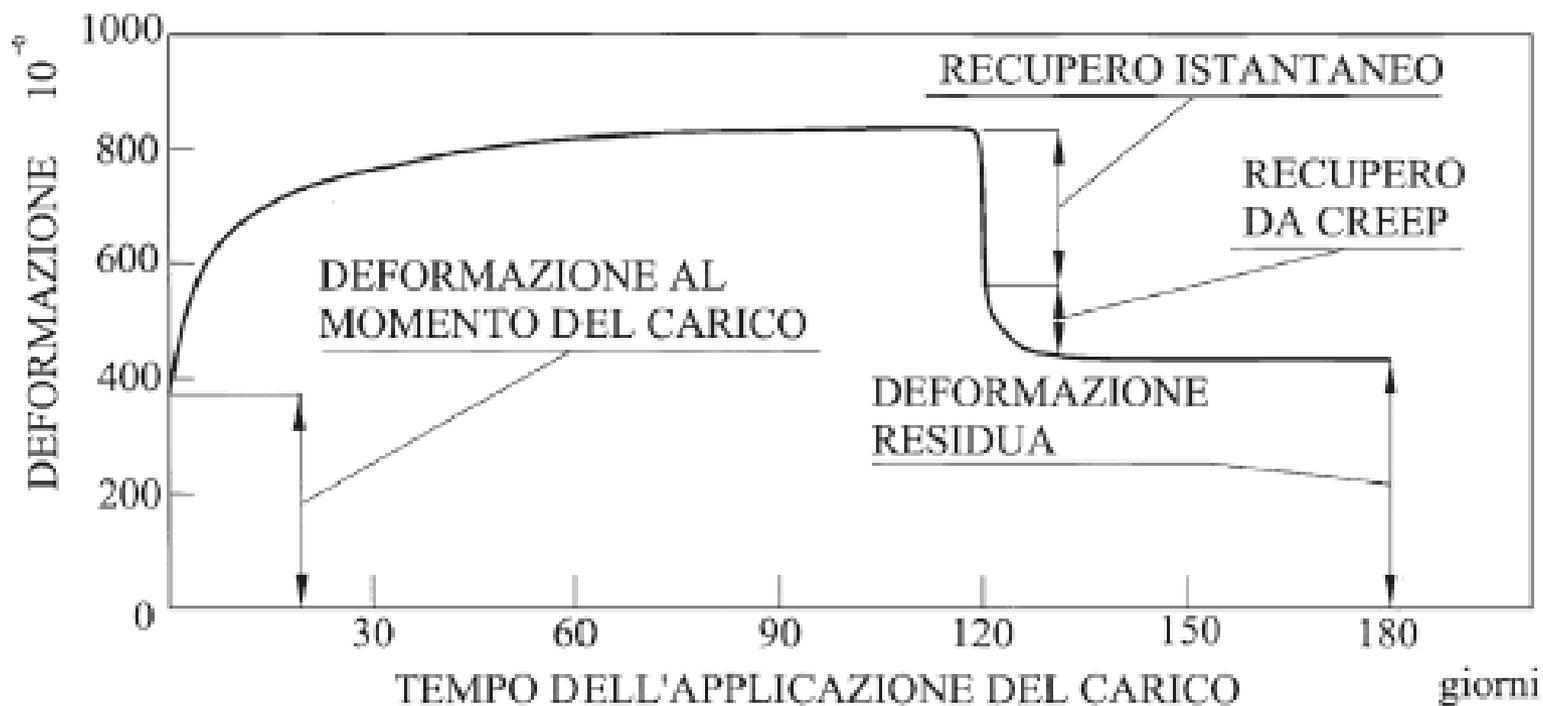
$A_c$  = area sezione

$u$  = perimetro esposto all'aria

## DEFORMAZIONI DIPENDENTI DAL TEMPO

### VISCOSITÀ

Un elemento prismatico di calcestruzzo omogeneo ed isotropo sottoposto, a partire dall'istante  $t_0$ , ad una compressione a costante, mostra oltre la deformazione elastica anche una **deformazione** cosiddetta «**viscosa**» che si incrementa nel tempo. La deformazione viscosa non è completamente reversibile.



# DEFORMAZIONI DIPENDENTI DAL TEMPO

## VISCOSITÀ

Per  $\sigma_c \leq 0.45f_{ck}(t_0)$ , la deformazione viscosa si può valutare come:

$$\varepsilon_v = (t, t_0) = \varphi(t, t_0) \cdot \varepsilon_e(t_0)$$

$\varphi(t, t_0)$  = coefficiente di viscosità lineare al tempo  $t$  relativo all'istante di messa in carico  $t_0$ .

**Tabella 11.2.VI** – Valori di  $\phi(\infty, t_0)$ . Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%

$t_0$	$h_0 \leq 75$ mm	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	3,5	3,2	3,0	2,8
7 giorni	2,9	2,7	2,5	2,3
15 giorni	2,6	2,4	2,2	2,1
30 giorni	2,3	2,1	1,9	1,8
$\geq 60$ giorni	2,0	1,8	1,7	1,6

**Tabella 11.2.VII** - Valori di  $\phi(\infty, t_0)$ . Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%

$t_0$	$h_0 \leq 75$ mm	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	4,5	4,0	3,6	3,3
7 giorni	3,7	3,3	3,0	2,8
15 giorni	3,3	3,0	2,7	2,5
30 giorni	2,9	2,6	2,3	2,2
$\geq 60$ giorni	2,5	2,3	2,1	1,9

Per valori intermedi è ammessa una interpolazione lineare.

# ACCIAIO PER C.A. ORDINARIO – LEGGI COSTITUTIVE

