

Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio
Corso Integrato di Scienza e Tecnica delle Costruzioni
Modulo di **Tecnica delle Costruzioni**

A.A. 2025-2026
2° semestre

CFU 8

Docente

Marco Zucca

Materiali da Costruzione: IL CALCESTRUZZO ARMATO



POLITECNICO
MILANO 1863
Scuola Master Fratelli Pesenti



Università degli Studi di Cagliari

DICAAR

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E ARCHITETTURA

PROGRAMMA DEL CORSO

- I materiali da costruzione
- Le azioni sulle costruzioni
- Analisi dei sistemi strutturali
- La sicurezza strutturale
- Stato limite ultimo: Combinazioni dei carichi
- Stato limite di esercizio: Combinazione dei carichi
- Verifiche allo SLU: azione normale
- Verifiche allo SLU: flessione retta
- Verifiche allo SLU: presso e tenso flessione
- Verifiche allo SLU: taglio
- Travi: progettazione, verifica e disposizione delle armature
- Pilastri: progettazione, verifica e disposizione delle armature
- Progettazione e verifica di un solaio latero-cementizio

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 17.01.2018

G.U. n. 42 del 20.02.2018

Cap.11

Circolare Ministeriale del 21.01.2019

G.U. n. 5 del 11.02.2019

Cap.11

UNI EN 206:2021

Linee Guida “Calcestruzzo Strutturale” Consiglio Superiore dei lavori Pubblici

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

E. Cosenza, G. Manfredi, M. Pecce “Strutture in Cemento Armato”, Hoepli.

E. Pozzo “Teoria e Tecnica delle Strutture”, Pitagora Editrice Bologna.

IL CALCESTRUZZO ARMATO

Le ragioni del **successo** di questo materiale, nato nel 1850:

- resistenza al fuoco
- economia nella manutenzione
- flessibilità di impiego
- sviluppo nella tecnica di produzione
- flessibilità economica
- evoluzione del cantiere di costruzione
- monoliticità ed iperstaticità intrinseca
- tecnologie di produzione di tipo industriale

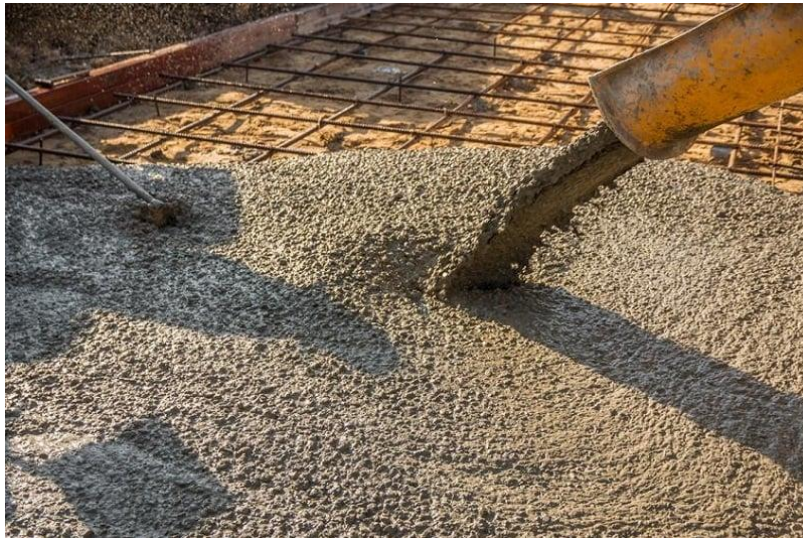
Le principali **problematiche** del calcestruzzo armato sono legate a:

- caratteristiche dell'impasto
- casseforme
- disposizione delle armature
- qualità della manodopera
- stato tenso-deformativo del calcestruzzo
- ritiro
- sensibilità termica

IL CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo può essere definito come una pietra artificiale ottenuta dalla **miscela** di

- Cemento
- Inerti fini (sabbia)
- Inerti grossi (ghiaia e pietrisco)
- Acqua
- Additivi (componenti chimici)
- Aggiunte



IL CALCESTRUZZO E LE SUE FASI

➤ **FASE DI GETTO:** il calcestruzzo è ancora allo stato **fluid**

➤ **FASE DI PRESA:** la pasta dallo stato **fluid** passa a quello **solid**

➔ durata: 6 – 24 ore

➤ **FASE DI MATURAZIONE:** il calcestruzzo acquisisce **caratteristiche meccaniche** che si **incrementano** nel tempo

➔ durata **convenzionale**: 28 giorni



AGGREGATI O INERTI: SABBIA, PIETRISCO GHIAIA

Gli aggregati **non partecipano** ai processi chimici di presa ed indurimento e sono aggiunti alla miscela allo stato sciolto con pezzatura e dimensioni variabili.

Costituiscono lo **scheletro del calcestruzzo** allo stato indurito, arrivando ad occupare sino al 70% del volume totale e rappresentano un componente essenziale nei confronti delle caratteristiche meccaniche (resistenza – deformabilità).



Aggregati grossi

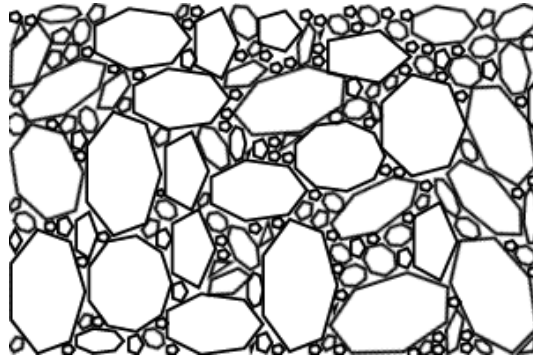


Aggregati fini

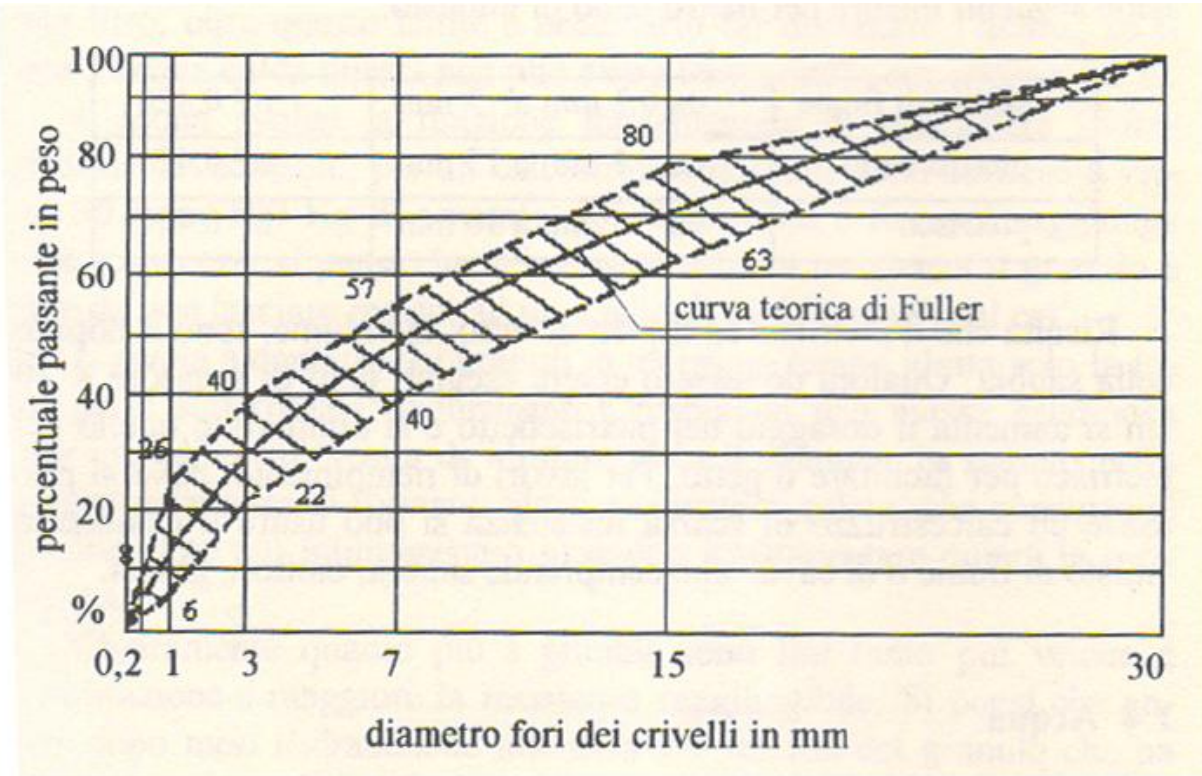
AGGREGATI

Nel confezionamento del calcestruzzo l'obiettivo principale consiste nell'ottenere il volume minimo di vuoti fra i granuli dell'aggregato che successivamente si riempirà con la pasta di cemento.

Pertanto la granulometria deve essere assortita e deve essere rispettata una distribuzione delle granulometrie.



AGGREGATI



Curva teorica di Fuller

$$PC_i(\%) = 100 \cdot \sqrt{\frac{d}{d_{max}}}$$

dove PC_i è la percentuale di materiale passante al setaccio con apertura d e d_{max} è la massima dimensione dell'aggregati più grosso.

L'arco compreso tra le due curve costituisce il **fuso granulometrico** entro il quale deve essere compresa la **curva granulometrica** degli inerti disponibili in cantiere destinati alla produzione del calcestruzzo.

Se in uno o più punti la curva granulometrica del materiale disponibile si discosta dal fuso occorre ridurre o aumentare per tentativi la quantità dell'inerte causa dell'irregolarità.

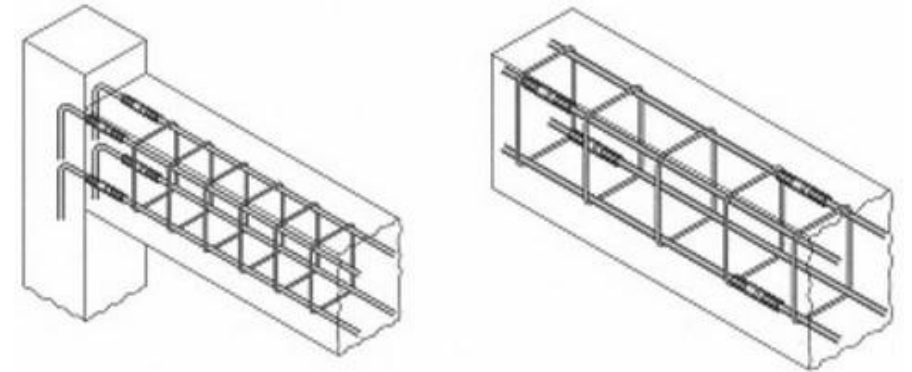
AGGREGATI

La scelta del diametro massimo è definita in funzione della disposizione delle armature e dalle dimensioni della sezione trasversale dell'elemento strutturale.

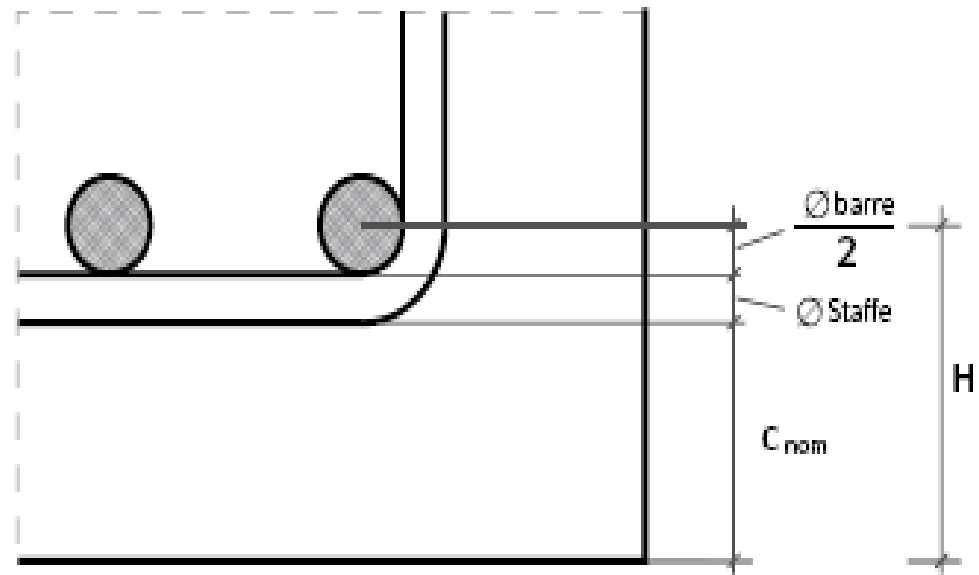
La vecchia norma ENV 206-1 consigliava i seguenti ragionevoli valori del diametro massimo dell'aggregato d_{\max} :

- $d_{\max} \leq \frac{3}{4}$ dello spessore del copriferro
- $d_{\max} \leq s - 5 \text{ mm}$
- $d_{\max} \leq \frac{1}{4}$ della sezione minima strutturale

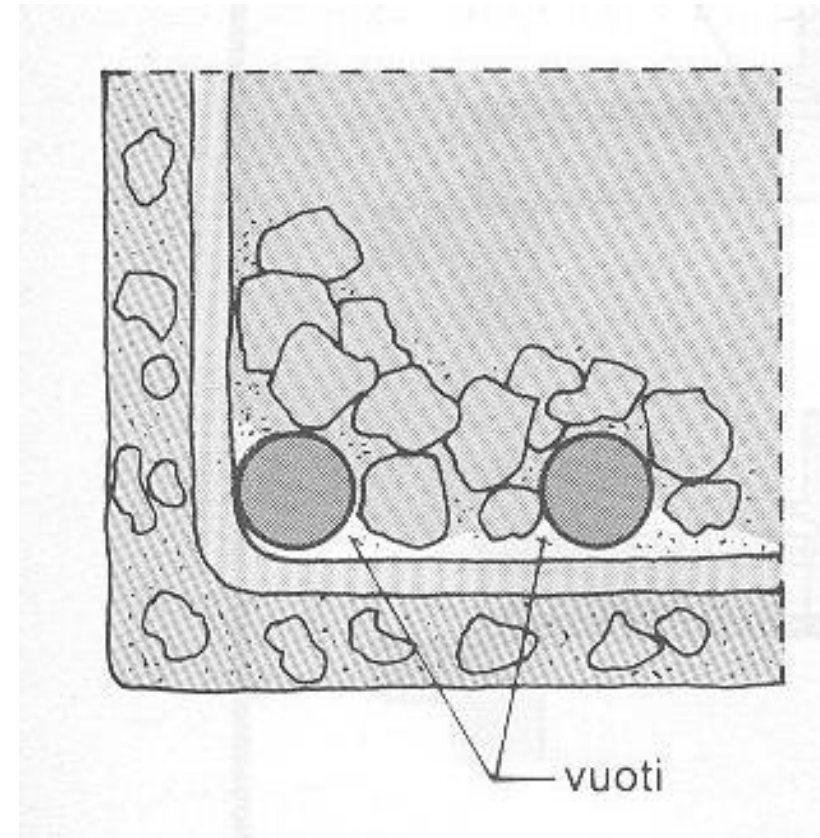
s = interfero



AGGREGATI



- d_{max} dell'aggregato $\leq \frac{3}{4}$ dello spessore del copriferro
- d_{max} dell'aggregato \leq interfero - 5 mm
- d_{max} dell'aggregato $\leq \frac{1}{4}$ della sezione minima strutturale



AGGREGATI

Nel paragrafo 11.2.9.2 «Aggregati» delle NTC 2018 è riportato:

*«sono idonei alla produzione di calcestruzzo per uso strutturale gli aggregati ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali, artificiali, oppure **provenienti da processi di riciclo conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 12620** e, per gli aggregati leggeri, alla norma europea armonizzata UNI EN 13055».*

Gli aggregati da impiegare nel calcestruzzo strutturale devono sottostare ad un sistema di valutazione e verifica della costanza di prestazione ai sensi del Regolamento UE 305/2011, come riportato nella Tabella 11.2.II delle NTC 2018.

Tab. 11.2.II

Specifica Tecnica Europea armonizzata di riferimento	Uso Previsto	Sistema di Valutazione e Verifica della Costanza della Prestazione
Aggregati per calcestruzzo UNI EN 12620 e UNI EN 13055-1	Calcestruzzo strutturale	2 +

AGGREGATI

È consentito l'uso di aggregati grossi provenienti da riciclo, secondo i limiti di cui alla Tab. 11.2.III a condizione che la miscela di calcestruzzo, confezionato con aggregati riciclati, venga preliminarmente qualificata e documentata, nonché accettata in cantiere, attraverso le procedure di cui alle presenti norme.

Tab. 11.2.III

Origine del materiale da riciclo	Classe del calcestruzzo	percentuale di impiego
demolizioni di edifici (macerie)	= C 8/10	fino al 100%
demolizioni di solo calcestruzzo e c.a. (frammenti di calcestruzzo \geq 90%, UNI EN 933-11:2009)	\leq C20/25	fino al 60%
	\leq C30/37	\leq 30%
	\leq C45/55	\leq 20%
Riutilizzo di calcestruzzo interno negli stabilimenti di prefabbricazione qualificati - da qualsiasi classe	Classe minore del calcestruzzo di origine	fino al 15%
	Stessa classe del calcestruzzo di origine	fino al 10%

AGGREGATI

Per quanto riguarda i controlli di accettazione degli aggregati da effettuarsi a cura del Direttore dei Lavori, questi sono finalizzati almeno alla verifica delle caratteristiche tecniche riportate nella Tab. 11.2.IV. I metodi di prova da utilizzarsi sono quelli indicati nelle Norme Europee Armonizzate citate, in relazione a ciascuna caratteristica.

Tab. 11.2.IV – Controlli di accettazione per aggregati per calcestruzzo strutturale

Caratteristiche tecniche
Descrizione petrografica
Dimensione dell'aggregato (analisi granulometrica e contenuto dei fini)
Indice di appiattimento
Tenore di solfati e zolfo
Dimensione per il filler
Resistenza alla frammentazione/frantumazione (per calcestruzzo $R_{ck} \geq C50/60$ e aggregato proveniente da riciclo)

DALLA CALCE AEREA AL CEMENTO

Il **primo legante** impiegato per la realizzazione del calcestruzzo è stato la **calce aerea**, ben presto abbandonata per i lunghi tempi di presa e la bassa resistenza che conferiva al calcestruzzo.



- Il cemento è un legante idraulico che si presenta sotto forma di polvere finissima.
- E' un legante in quanto ha la capacità di legare gli elementi solidi inerti.
- E' idraulico in quanto indurisce e si lega alle materie inerti reagendo e combinandosi con l'acqua: questa reazione può avvenire in acqua e in aria.
- Il componente fondamentale del cemento è il clinker, prodotto ottenuto dalla cottura di materiali naturali. Il clinker combinato con altri componenti dà luogo a vari tipi di cemento.

Requisiti meccanici e fisici dei vari cementi

Classe	Resistenza alla compressione N/mm ²				Tempo di inizio presa minuti	Espansione mm
	Resistenza iniziale		Resistenza normalizzata			
	2 giorni	7 giorni	28 giorni			
32.5	-	≥ 16	≥ 32.5	≤ 52.5	≥ 75	≤ 10
32.5 R	≥ 10					
42.5	≥ 10		≥ 42.5	≤ 62.5	≥ 60	
42.5 R	≥ 20					
52.5	≥ 20		≥ 52.5	-	≥ 45	
52.5 R	≥ 30					

Nota: la lettera R indica rapido indurimento

I cementi in commercio si ottengono aggiungendo al clinker ulteriori componenti. Le nostre norme prevedono i seguenti:

Cemento Portland	Clinker, gesso	
Cemento pozzolanico	Clinker, pozzolana	
Cemento d'alto forno	Clinker , loppa basica	Ottimo potere idraulico
Cemento per sbarramenti di ritenuta		Basso calore di idratazione
Cemento alluminoso	Componenti del clinker calcare e bauxite	
Cementi bianchi	Clinker privo di ossi di ferro, caolino	Colore
Cementi ferrici	Clinker con pari contenuto di ossido ferrino e allumina	Resistenza alle acque aggressive, basso calore di idratazione e basso ritiro
Cementi ferrici pozzolanici	Clinker con pari contenuto di ossido ferrino e allumina, pozzolana	Resistenza alle acque aggressive, basso calore di idratazione e basso ritiro
Cementi per pozzi petroliferi		Alte pressioni e alte temperature

TIPO	CEMENTO
I	Portland
II	Portland composito
III	d'alto forno
IV	pozzolanico
V	Composito

**Esempio
simbologia
«CEM I 32.5 R»**

Se per la produzione del calcestruzzo, si utilizza:

- **l'acqua potabile** questa non necessita di alcuna prova, le acque nere non sono utilizzabili.
- le **acque di origine sotterranea e l'acqua naturale di superficie e acque reflue industriali** possono essere idonee ma devono essere sottoposte a **prova**.
- **l'acqua di recupero dei processi dell'industria del calcestruzzo**, è in genere **idonea** ma deve essere messa in conto la sua possibile influenza su calcestruzzi architettonici, precompressi, aerati, esposti a situazioni ambientali aggressive.
- **l'acqua marina o salmastra** può essere utilizzata nel calcestruzzo non armato, ma in genere **non è idonea** per la produzione di calcestruzzo armato, il suo utilizzo è subordinato al contenuto massimo di cloruri ammesso per il calcestruzzo.

ADDITIVI

ADDITIVI	AZIONI PRINCIPALI	BENEFICI PRINCIPALI	EFFETTI COLLATERALI POSSIBILI
RIDUTTORI DI ACQUA (FLUIDIFICANTI E SUPERFLUIDIFICANTI)	ADSORBIMENTO SULLA SUPERFICIE DEL CEMENTO E DISPERSIONE DEI GRANULI DI CEMENTO	MIGLIORAMENTO DELLA QUALITA' IN SERVIZIO (RIDUZIONE DEL RAPPORTO A/C) E DELLA MESSA IN OPERA (AUMENTO DELLA LAVORABILITA')	PERDITA DI LAVORABILITA'
RITARDANTI	RITARDO NELLA IDRATAZIONE INIZIALE DEL CEMENTO	CONSERVAZIONE DELLA LAVORABILITA' IN CLIMI CALDI	RIDUZIONE DELLA RESISTENZA MECCANICA INIZIALE
ACCELERANTI	ACCELERAZIONE NELLA IDRATAZIONE INIZIALE DEL CEMENTO	RIDUZIONE NEI TEMPI DI PRESA ED AUMENTO DELLA RESISTENZA MECCANICA INIZIALE	ACCENTUAZIONE DELLA PERDITA DI LAVORABILITA' E RIDUZIONE DELLA RESISTENZA MECCANICA FINALE
ANTI-GELO	ABBASSAMENTO DEL PUNTO DI GELO DELL'ACQUA DI IMPASTO	GETTO DEL CALCESTRUZZO IN CLIMI MOLTO FREDDI (ANCHE SOTTO 0°C)	CORROSIONE DEI FERRI E RIDUZIONE DELLA RESISTENZA MECCANICA FINALE
AERANTI	FORMAZIONE DI MICROBOLLE DI ARIA	AUMENTO DELLA RESISTENZA AL GELO-DISGELO IN SERVIZIO	RIDUZIONE DELLA RESISTENZA MECCANICA

D.M. 14/01/08 Norme sulle costruzioni, punto 11.2.9.3 «Aggiunte»:

- **le ceneri volanti** devono soddisfare i requisiti della norma europea armonizzata UNI EN 450 -1. Per quanto riguarda l'impiego si potrà fare utile riferimento ai criteri stabiliti dalle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004.
- **i fumi di silice** devono soddisfare i requisiti della norma europea armonizzata UNI EN 13263-1.

IL CALCESTRUZZO

L'impasto, inizialmente fluido, lentamente indurisce fino a diventare solido, ed in tempi successivi sviluppa le caratteristiche meccaniche. (proprietà idrauliche pulvis puteolana).

Viene versato allo stato ancora liquido in appositi contenitori (casseforme) che vengono rimossi ad ultimazione della fase di indurimento/stagionatura (durata convenzionale: 28 giorni), ed assume quindi le forme del contenitore in cui viene versato.



IL CALCESTRUZZO

Le qualità finali del calcestruzzo non dipendono solo dalla natura dei singoli componenti, ma soprattutto dalla tecnologia e da un appropriato impiego e dosaggi degli stessi.

Il problema del controllo della qualità non deve limitarsi alla determinazione della resistenza meccanica, ma deve riguardare anche la valutazione, finale ed in corso d'opera, di tutte le altre sue caratteristiche.

Trasporto del calcestruzzo fresco

- Il trasporto del calcestruzzo, dal sito di confezione al luogo d'impiego, deve essere effettuato con **mezzi adeguati** ad evitare la segregazione o il danneggiamento del conglomerato.
- Terminata la miscelazione e durante la movimentazione, si può osservare una graduale **diminuzione**, nel tempo, della **lavorabilità** provocata:
 - **dall'assorbimento** dell'acqua d'impasto da parte degli aggregati,
 - **dall'inizio delle reazioni** d'idratazione del cemento e dalla perdita d'acqua per evaporazione.

IL CALCESTRUZZO

Tutti i tipi di casseforme (con la sola esclusione di quelle che rimangono inglobate nell'opera finita), prima della messa in opera del calcestruzzo, richiedono il **trattamento con un agente (prodotto) disarmante**.

I prodotti disarmanti sono applicati ai manti delle casseforme per agevolare il distacco del calcestruzzo, ma **svolgono anche altre funzioni** quali:

- la **protezione** della superficie delle casseforme metalliche **dall'ossidazione** e della corrosione,
- **l'impermeabilizzazione** dei pannelli di legno,
- il miglioramento della **qualità della superficie** del calcestruzzo.

IL CALCESTRUZZO

Messa in opera del calcestruzzo

- La messa in opera del calcestruzzo comprende le operazioni di **movimentazione** e getto del materiale nelle apposite casseforme. Per assicurare la migliore riuscita del getto, la messa in opera del calcestruzzo richiede una serie di **verifiche preventive** che riguardano, oltre che le casseforme e i ferri d'armatura, anche l'organizzazione e l'esecuzione delle operazioni di getto, di protezione e di stagionatura del calcestruzzo.

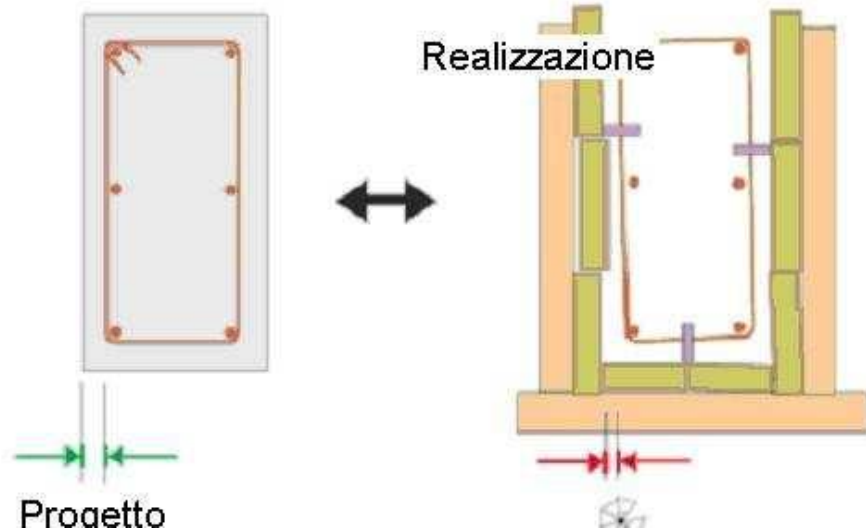
Movimentazione del calcestruzzo

- La movimentazione del calcestruzzo dal mezzo di trasporto al punto di messa in opera può essere effettuata mediante uno dei seguenti dispositivi: canaletta, benna, nastro trasportatore, pompa.
- Il mezzo deve essere scelto tenendo in considerazione le caratteristiche del calcestruzzo allo stato fresco, la distanza tra il punto d'arrivo del mezzo e quello di getto, le condizioni climatiche, la conformazione delle casseforme e del cantiere, le attrezzature di compattazione disponibili e la velocità d'avanzamento prevista.

IL CALCESTRUZZO

Operazioni di getto

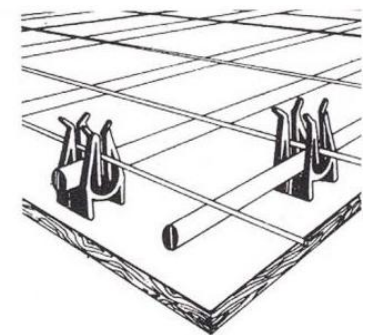
- Considerata l'importanza delle operazioni di getto, che riguardano la posa in opera del calcestruzzo e tutte le fasi relative, è necessario stabilire un programma di verifiche comprendenti: il **coordinamento** con la Direzione Lavori, con il progettista, con i laboratori esterni per ispezioni, verifiche, prelievi di campioni e prove a piè d'opera e **l'istruzione/coordinamento** con i fornitori e subappaltatori, per la consegna del calcestruzzo delle caratteristiche prescritte.



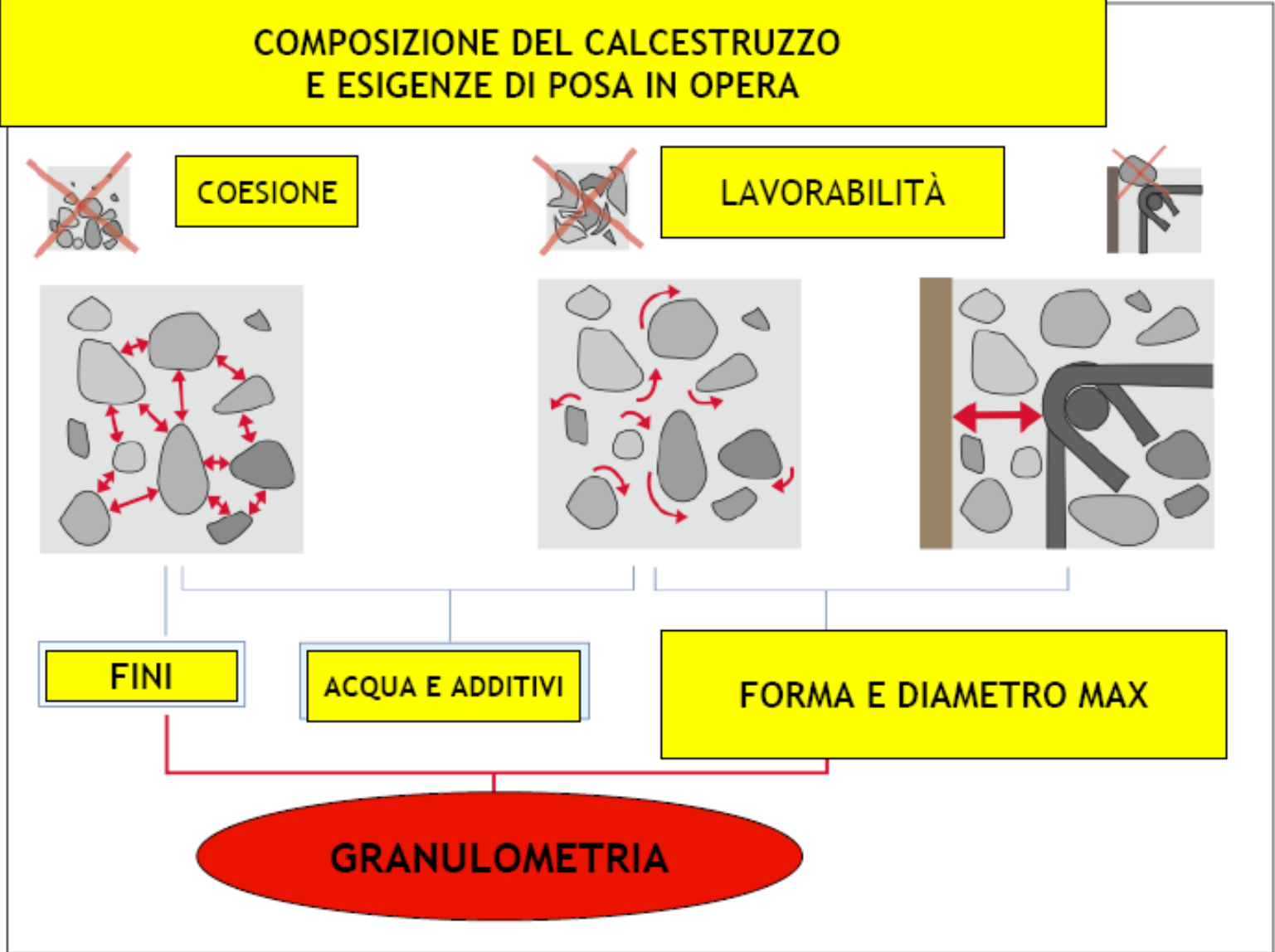
Controllo sulla cassaforma



Distanziatori



IL CALCESTRUZZO



IL CALCESTRUZZO

Le reazioni chimiche che avvengono durante la fase di presa (la pasta passa dallo stato fluido a quello solido) e di indurimento (si incrementano le caratteristiche meccaniche) sviluppano una notevole quantità di energia sotto forma di calore che, soprattutto nei getti di grande dimensione, può indurre deformazioni termiche di entità non trascurabile.

Al termine del processo di indurimento, per effetto della evaporazione dell'acqua in eccesso rispetto alle reazioni chimiche, si realizza una riduzione di volume che viene indicata come ritiro. Gli inerti vengono inclusi nella pasta di cemento, ne aumentano il volume, riducono il ritiro al termine dell'idratazione.

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

- la classe di resistenza;
- Il diametro massimo degli aggregati in funzione della disposizione delle armature metalliche;
- la classe di consistenza in funzione della difficoltà esecutiva dell'opera;
- la classe di esposizione della struttura in funzione dell'aggressività dell'ambiente.

IL CALCESTRUZZO

La scelta della **lavorabilità** più appropriata del calcestruzzo è **funzione del tipo di struttura** (densità dei ferri di armatura, della forma e dimensione delle strutture) e della particolare tecnica esecutiva.

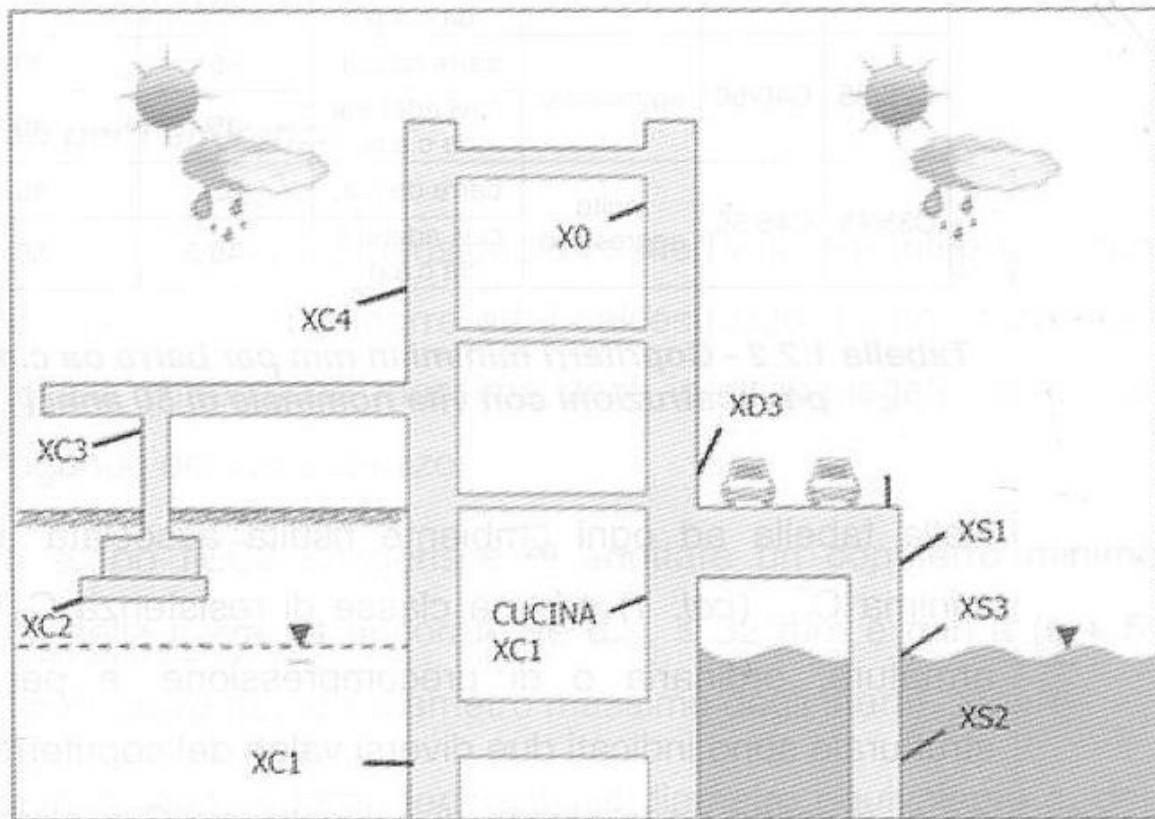
CLASSE DI CONSISTENZA	SLUMP (mm)	APPLICAZIONI
S1 (terra umida)	10-40	Pavimenti messi in opera con vibro-finitrice
S2 (plastica)	50-90	Strutture circolari (silo, ciminiera) messe in opera con casseri rampanti
S3 (semi-fluida)	100-150	Strutture non armate o poco armate o con pendenza
S4 (fluida)	160-210	Strutture mediamente armate
S5 (super-fluida)	≥ 220	Strutture fortemente armate, di ridotta sezione e/o complessa geometria
SCC → slump flow	> 600 mm	Strutture nelle quali la compattazione meccanica non è possibile

IL CALCESTRUZZO

La Norma UNI EN 206 definisce **6** classi di esposizione ambientale

Classe di esposizione	Ambiente	Tipo di struttura	Numero di sottoclassi
X0	Nessun rischio di corrosione (interni di edifici con UR molto bassa)	Non armata e armata	1
XC	Corrosione delle armature promossa dalla carbonatazione	Armata	4
XD	Corrosione delle armature promossa dai cloruri esclusi quelli presenti in acqua di mare	Armata	3
XS	Corrosione delle armature promossa dai cloruri dell'acqua di mare	Armata	3
XF	Degrado del calcestruzzo per cicli di gelo-disgelo	Non armata e armata	4
XA	Attacco chimico del calcestruzzo (incluso quello promosso dall'acqua di mare)	Non armata e armata	3

IL CALCESTRUZZO



2 Corrosione indotta da carbonatazione

Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione sarà classificata nel modo seguente:

Nota Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.

XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa Calcestruzzo costantemente immerso in acqua
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo Molte fondazioni
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2

IL CALCESTRUZZO

Valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo in funzione della classe di esposizione

	Corrosione da carbonatazione			
	XC1	XC2	XC3	XC4
Classe di esposizione				
Rapporto massimo a/c	0,65	0,6	0,55	0,5
Classe di resistenza minima	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37
Contenuto minimo di cemento (kg/m ³)	260	280	280	300
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-
Altri requisiti	-	-	-	-

IL CALCESTRUZZO

Classe di resistenza in funzione dell'opera

Classe di resistenza	f_{ck}/R_{ck}	Struttura
Molto bassa	$\geq 8/10$	Non armata
Bassa	$\geq 16/20$	c.a.
Media	$\geq 28/35$	c.a. e c.a.p.
Alta	$\geq 45/55$ *	c.a. e c.a.p.
Molto alta	$\geq 70/85$ **	c.a. e c.a.p.

* Richiede mix-design e sperimentazione in laboratorio

** Richiede autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

dove f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica e R_{ck} è la resistenza caratteristica cubica

IL CALCESTRUZZO

Esempio dei parametri relativi al calcestruzzo da inserire nella tabella materiali dei disegni di progetto

CALCESTRUZZO	
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XS1
CLASSE DI RESISTENZA	$C f_{ck} / R_{ck} = 32 / 40 \text{ MPa}$
CLASSE DI CONSISTENZA	S5
DIMENSIONE MAX AGGREGATO	$d = 25 \text{ mm}$
COPPRIFERRO	$c = 45 \text{ mm}$

Tab. 4.1.I – Classi di resistenza

Classe di resistenza
C8/10
C12/15
C16/20
C20/25
C25/30
C30/37
C35/45
C40/50
C45/55
C50/60
C55/67
C60/75
C70/85
C80/95
C90/105

IL CALCESTRUZZO

11.2.5. CONTROLLO DI ACCETTAZIONE

Il controllo di accettazione è eseguito dal Direttore dei Lavori su ciascuna miscela omogenea 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:

Tab. 11.2.I

Controllo di tipo A	Controllo di tipo B
$R_{c,min} \geq R_{ck} - 3,5$	
$R_{cm28} \geq R_{ck} + 3,5$ (N° prelievi: 3)	$R_{cm28} \geq R_{ck} + 1,48 s$ (N° prelievi ≥ 15)

Ove: R_{cm28} = resistenza media dei prelievi (N/mm²); $R_{c,min}$ = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm²);
 s = scarto quadratico medio

11.2.4. PRELIEVO E PROVA 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. Il prelievo non viene accettato se la differenza fra i valori di resistenza dei due provini supera il 20% del valore inferiore; in tal caso si applicano le procedure di cui al §11.2.5.3.

11.2.5.1 CONTROLLO DI TIPO A

Ogni controllo di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m³ ed è costituito da tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m³ di getto di miscela omogenea. Risulta quindi un controllo di accettazione ogni 300 m³ massimo di getto. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo.

Nelle costruzioni con meno di 100 m³ 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 m³ di miscela omogenea è obbligatorio il controllo di accettazione di tipo statistico (tipo B).

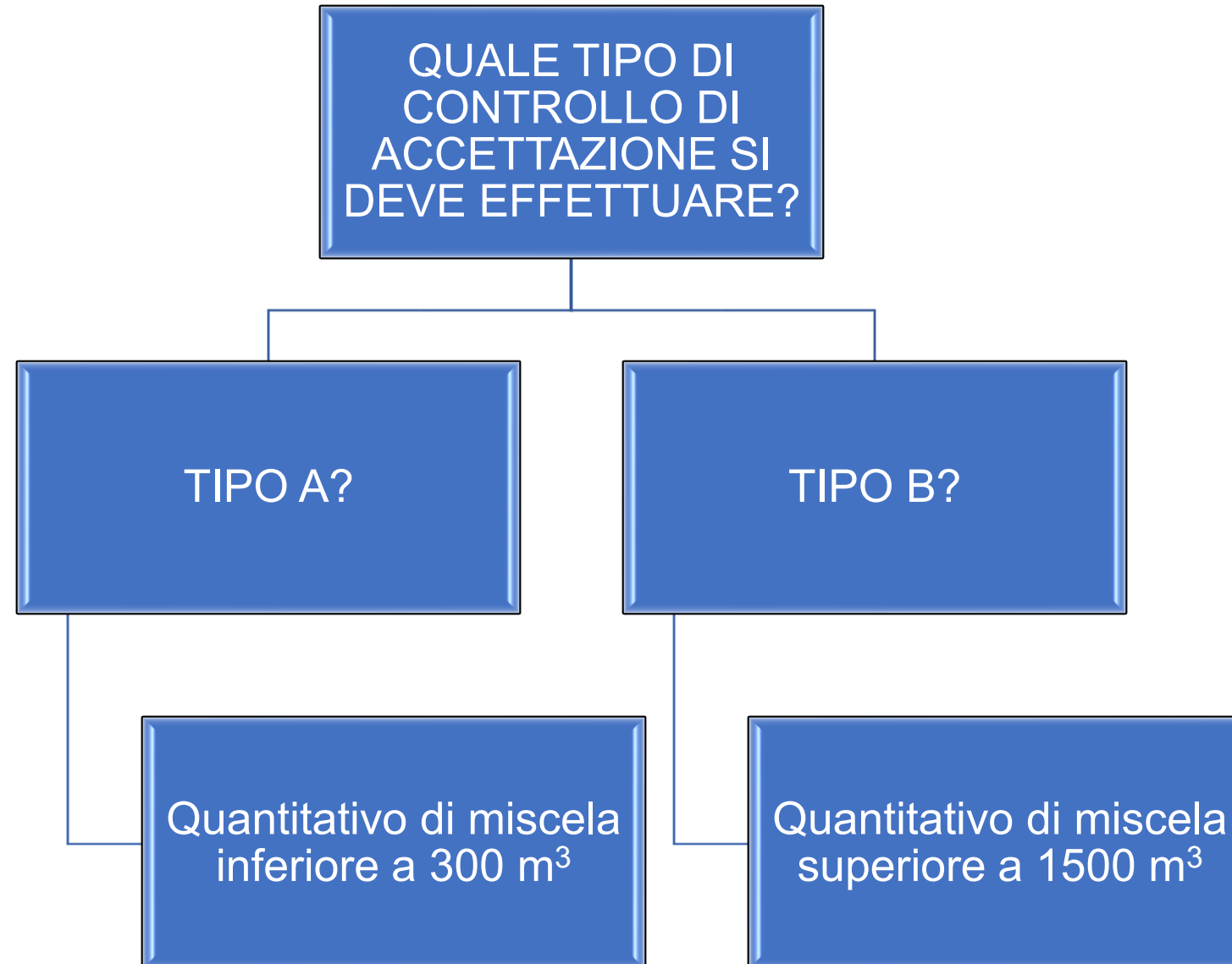
Il controllo è riferito ad una miscela omogenea e va eseguito con frequenza non minore di un controllo ogni 1500 m³ di calcestruzzo.

Ogni controllo di accettazione di tipo B è costituito da almeno 15 prelievi, ciascuno dei quali eseguito su 100 m³ di getto di miscela omogenea. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo.

Se si eseguono controlli statistici accurati, l'interpretazione dei risultati sperimentali può essere svolta con i metodi completi dell'analisi statistica assumendo la legge di distribuzione più corretta e il suo valor medio, unitamente al coefficiente di variazione (rapporto tra deviazione standard e valore medio). Non sono accettabili calcestruzzi con coefficiente di variazione superiore a 0,3. Per calcestruzzi con coefficiente di variazione (s/R_m) superiore a 0,15 occorrono controlli più accurati, integrati con prove complementari di cui al §11.2.7.

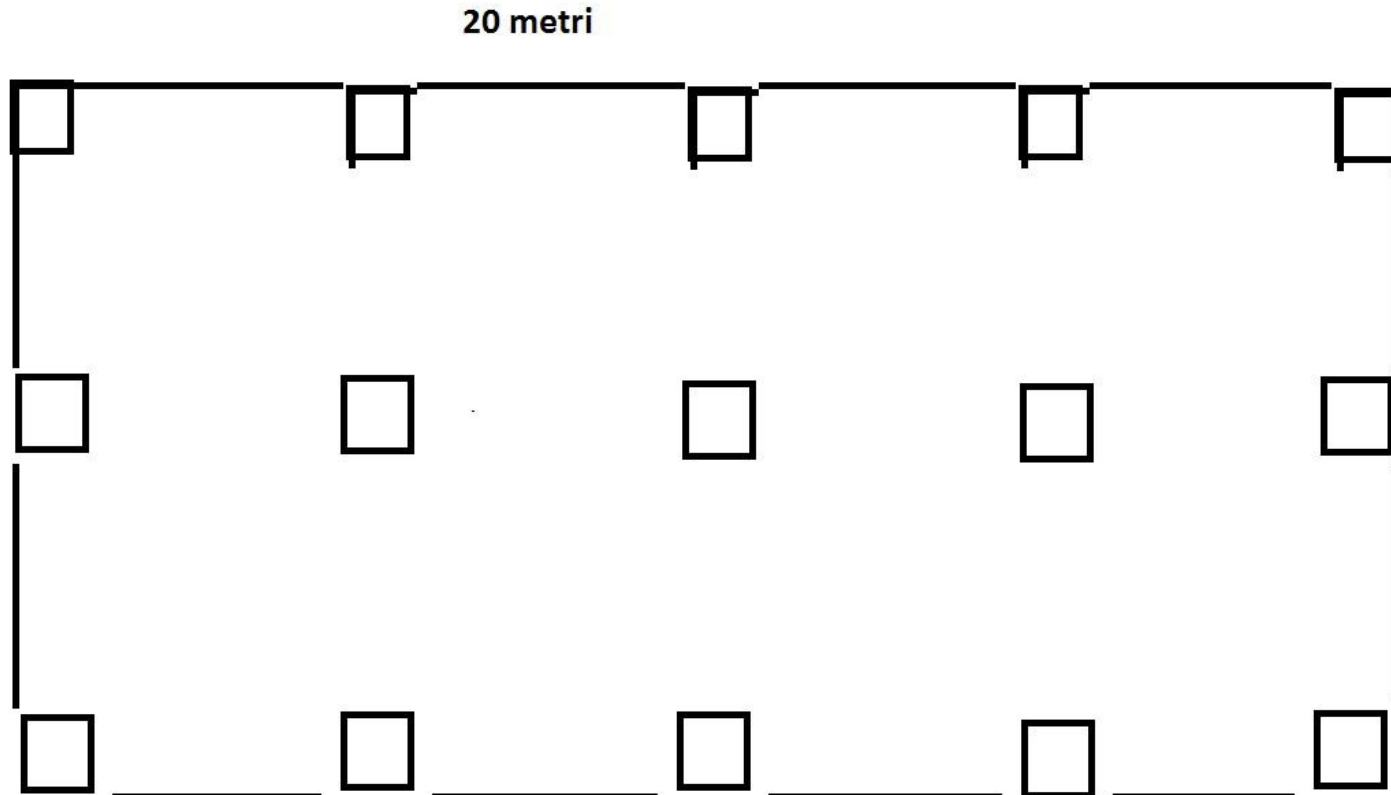
Infine, la resistenza caratteristica R_{ck} di progetto dovrà essere minore del valore sperimentale corrispondente al frattile inferiore 5% delle resistenze di prelievo e la resistenza minima di prelievo $R_{c,min}$ dovrà essere maggiore del valore corrispondente al frattile inferiore 1%.

IL CALCESTRUZZO



IL CALCESTRUZZO

Quale controllo di accettazione effettuare?



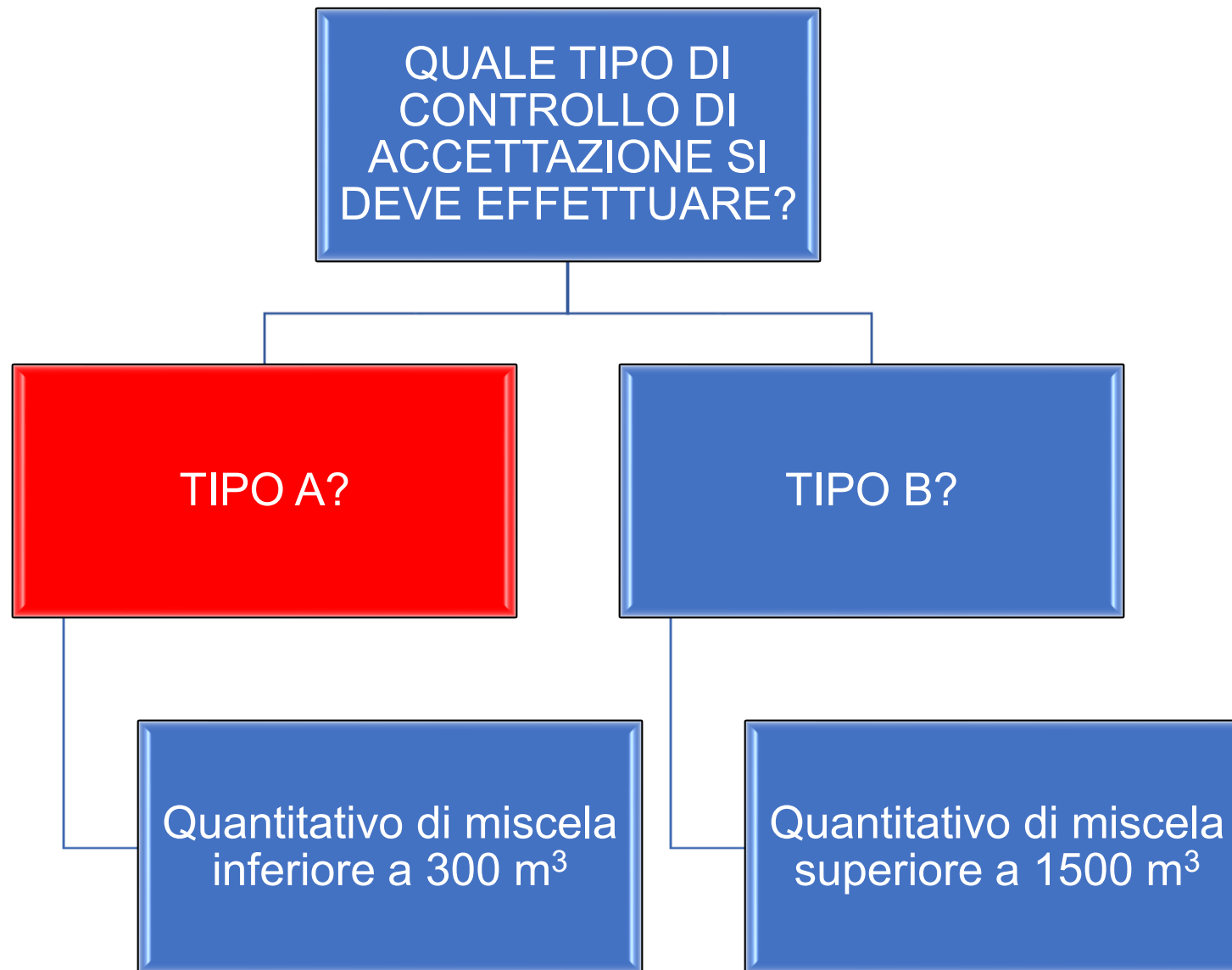
10 metri

dimensione pilastri 30 x 30 cm,
altezza 2,70 m

Volume = $0,30 \times 0,30 \times 2,70 =$
0,243 m³

N. PILASTRI 15 3,6 m³

IL CALCESTRUZZO



ACCIAIO

CAP.11 - MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE

- TIPOLOGIE DI ACCIAIO -

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili. Inoltre sono previste solo due tipologie di acciaio: **B450C (laminato a caldo)** - **B450A (trafilato a freddo)**.

11.3.2.1 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO B450C

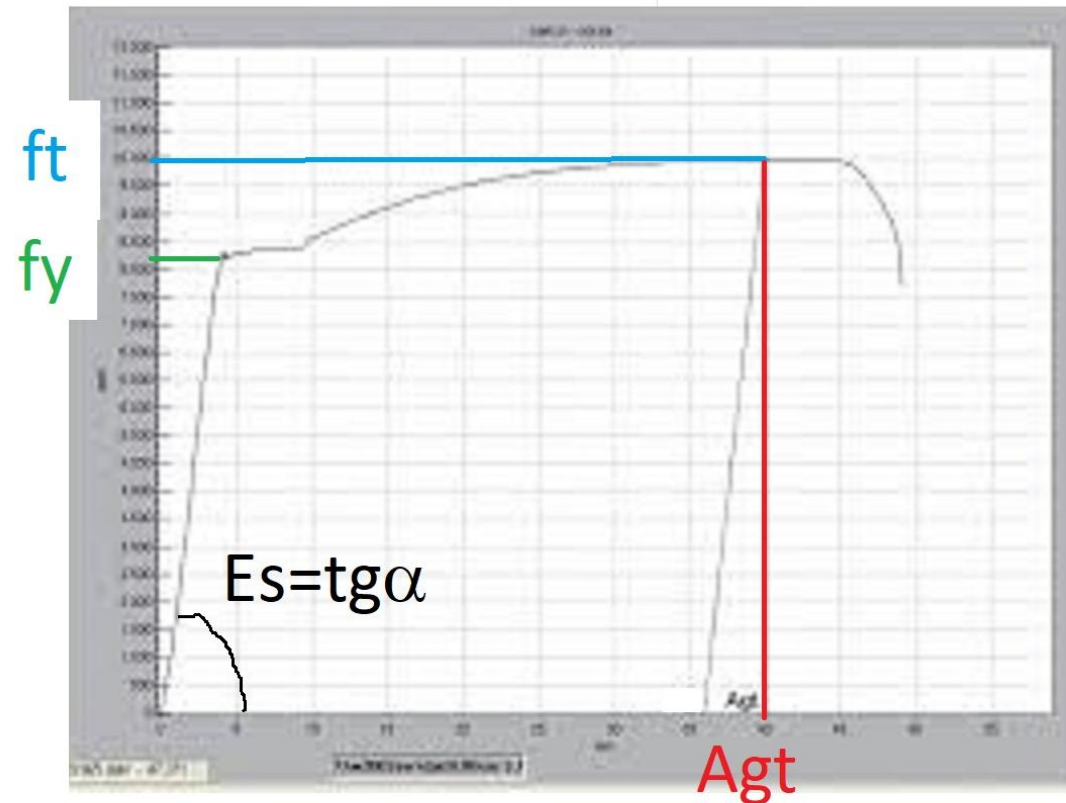
Tab. 11.3.Ia

$f_{y\text{ nom}}$	450 N/mm ²
$f_{t\text{ nom}}$	540 N/mm ²

Tab. 11.3.Ib

Caratteristiche		Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	$\geq f_{y\text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo	f_{tk}	$\geq f_{t\text{ nom}}$	5.0
	$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10.0
	$(f_y/f_{y\text{ nom}})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento	$(A_{gt})_k$	$\geq 7,5\%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:	$\phi < 12\text{ mm}$	4 ϕ	
	$12 \leq \phi \leq 16\text{ mm}$	5 ϕ	
	per $16 < \phi \leq 25\text{ mm}$	8 ϕ	
	per $25 < \phi \leq 40\text{ mm}$	10 ϕ	

ACCIAIO



f_y tensione di snervamento

f_t tensione al carico massimo

A_{gt} allungamento % al carico massimo

ACCIAIO

CAP.11 - MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE

- TIPOLOGIE DI ACCIAIO -

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili. Inoltre sono previste solo due tipologie di acciaio: **B450C (laminato a caldo)** - **B450A (trafilato a freddo)**.

11.3.2.2 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO B450A

Tab. 11.3.Ia

$f_{y\text{ nom}}$	450 N/mm ²
$f_{t\text{ nom}}$	540 N/mm ²

Tab. 11.3.Ic

Caratteristiche		Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	$\geq f_{y\text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo	f_{tk}	$\geq f_{t\text{ nom}}$	5.0
	$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	10.0
	$(f_y/f_{y\text{ nom}})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento	$(A_{gt})_k$	$\geq 2,5\%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:	per $\phi \leq 10\text{ mm}$	4 ϕ	

ACCIAIO

L'acciaio da cemento armato ordinario comprende:

- barre d'acciaio tipo B450C ($6 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 50 \text{ mm}$), rotoli ($6 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 16 \text{ mm}$);
- prodotti raddrizzati ottenuti da rotoli ammessi senza limitazioni con diametri $\leq 16 \text{ mm}$;
- reti elettrosaldate;
- tralicci elettrosaldati.

Per barre con diametri superiori a 40 mm la struttura va considerata composta e valgono le regole delle strutture composte acciaio-conglomerato cementizio.

Gli acciai delle reti elettrosaldate devono essere saldabili; l'equidistanza non può superare i 330 mm

Le Reti e tralicci realizzate con il B450A devono avere diametro ($5 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 12 \text{ mm}$) e devono essere tutti acciai saldabili.

ACCIAIO



Barre in acciaio
B450C



Barre in acciaio in rotoli
B450C



Rete elettrosaldata
B450A



Traliccio elettrosaldato
B450A

ACCIAIO

11.3.2.12 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori e devono essere effettuati, entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale, a cura di un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

Essi devono essere eseguiti in ragione di 3 campioni ogni 30 t di acciaio impiegato della stessa classe proveniente dallo stesso stabilimento o Centro di trasformazione, anche se con forniture successive.

Tab. 11.3.VII a) – Valori di accettazione in cantiere – barre

Caratteristica	Valore limite	Note
f_y minimo	425 N/mm ²	per acciai B450A e B450C
f_y massimo	572 N/mm ²	per acciai B450A e B450C
A_{gt} minimo	≥ 6,0%	per acciai B450C
A_{gt} minimo	≥ 2,0%	per acciai B450A
f_t / f_y	$1,13 \leq f_t / f_y \leq 1,37$	per acciai B450C
f_t / f_y	$f_t / f_y \geq 1,03$	per acciai B450A
Piegamento/raddrizzamento	assenza di cricche	per acciai B450A e B450C

ESERCITAZIONE 1

I CONTROLLI SUI MATERIALI

ESERCIZIO 1

In progetto è stato definito l'impiego di un calcestruzzo con resistenza caratteristica cubica a compressione $R_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ (Classe C20/25), in sede di esecuzione dell'opera sono stati effettuati 50 prelievi (ogni prelievo è costituito da 2 provini).

I risultati delle prove di rottura a compressione sono riportati nella tabella (la resistenza di prelievo R è la media delle resistenze ottenute dai 2 singoli provini).

N	R (N/mm ²)	N	R (N/mm ²)	N	R (N/mm ²)	N	R (N/mm ²)	N	R (N/mm ²)
1	25	11	26	21	25	31	27	41	30
2	26	12	25	22	25	32	27	42	28
3	30	13	26	23	27	33	30	43	28
4	30	14	27	24	28	34	30	44	26
5	25	15	31	25	29	35	30	45	26
6	27	16	30	26	32	36	28	46	27
7	27	17	30	27	32	37	28	47	27
8	28	18	30	28	26	38	29	48	31
9	29	19	28	29	26	39	24	49	28
10	29	20	28	30	26	40	30	50	29

Secondo il controllo di accettazione tipo B, occorre valutare la conformità del calcestruzzo messo in opera.

Determinare la resistenza media a compressione, lo scarto quadratico medio, la resistenza caratteristica, il coefficiente di variazione (Pearson), la distribuzione delle frequenze e la funzione di densità di probabilità del campione.

ESERCIZIO 2

In progetto è stato definito l'impiego di un calcestruzzo con resistenza caratteristica cubica a compressione $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ (Classe C25/30), in sede di esecuzione dell'opera sono stati effettuati 3 prelievi (ogni prelievo è costituito da 2 provini). Le resistenze a compressione ottenute su 6 cubi sono le seguenti:

Campione n°	1	2	3	4	5	6
R N/mm ²	27	29	34	36	31	33

Valutare secondo il controllo di accettazione tipo A la conformità del calcestruzzo messo in opera.

ESERCIZIO 3

Per l'esecuzione di un'opera in calcestruzzo armato sono stati impiegati i seguenti diametri:

Ø 8, 12 e 18 mm. Si tratta di acciaio B450C. Indicare le prove da effettuare in fase di costruzione ed i valori limite per qualificare l'idoneità del materiale.