

Il Calcestruzzo:

- 1. Brevi richiami di tecnologia del materiale;**
- 2. Definizione delle proprietà del calcestruzzo;**
- 3. Controlli di normativa;**
- 4. Progetto della miscela (Mix-Design).**

LEZIONE n. 1 - Componenti del Calcestruzzo e Mix Design

- Introduzione sulle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito e loro significato ~~meccanico~~ statistico

D. H. 96 : Allegato I - Requisiti dei Materiali

1. Leganti: I leganti si distinguono in "idraulici" ed "aerei" a seconda del fatto che essi possano o non possano far presa ed indurire in acqua.

Il CEMENTO PORTLAND è uno dei leganti più utilizzati ed è costituito da:

- silicati tricalcico e bicalcico (C_3S C_2S)
- alluminati di silice e ferrosiluminati di calcio
- gesso aggiunto per controllare la velocità di reazione degli alluminati.

Esistono anche cementi con aggiunte UNIVERSALI ottenuti miscelando il cemento Portland con materiali piroclastici o LOPPA d'ALTOFORNO.

Essi prendono parte alle reazioni di idratazione migliorando le caratteristiche della pasta cementizia, soprattutto per quanto riguarda gli aspetti legati alla

durabilità.

I calcestruzzi ottenuti con cementi di miscela si differenziano sensibilmente da quelli ottenuti con cemento Portland. Infatti la reazione di idratazione dei materiali pottolomaci o della lopps consuma alcali, e questo riduce il contenuto rispetto a quello che si otterrebbe con un cemento Portland senza aggiunte. ~~Questo~~

Peraltro la reazione pottolomica è più lenta dell'idratazione del cemento Portland, per cui questi benefici si ottengono solo se il calcestruzzo è stagionato per tempi sufficientemente lunghi.

Il cemento alluminoso è sconsigliato per impieghi strutturali. In passato il suo utilizzo ha causato problemi di durabilità o strutturali soprattutto in Spagna dove per motivi subteranei era stato molto diffuso tra gli anni '50 e '60. Non si tratta di un cemento della famiglia di Portland, ma si ottiene portando a fusione una miscela di calcare e bauxite; uno dei prodotti di questo processo ~~è~~ risulta instabile in ambienti umidi con temperature

maggiori di 25°C, per questo motivo col tempo la porosità del calcestruzzo diviene molto diffusa. ~~e percolata~~
~~per la~~ II DM 96 ~~non~~ non consente l'utilizzo dei cementi alluminosi.
Le NORME EUROPEE CEN ENV 197/1 prevedono i tipi di cemento riportati nel seguente elenco:

- CEMENTO PORTLAND (tipo I);
- CEMENTI PORTLAND CON AGGIUNTE:
 - cem. portland alla loppa II/A-S II/B-S
 - cem. portland alla microsilice II/A-D
 - cem. portland alle pozzolane
 - cem. portland alle ceneri volanti
 - cem. portland allo scisto calcareo
 - cem. portland al calcare
 - cem. portland composito
- cemento d'altoforno con contenuto di loppa dal 36 al 95%
- cemento pozzolanico con materiale pozzolanico dall'11 al 55%
- cemento ~~portland~~ composito con loppa e pozzolana.

Nei diversi cementi è ammesso un contenuto di costituenti secondari (filler o altri materiali) non superiore al 5%.

Ogni tipo di cemento è potenzialmente disponibile in sei diverse classi di resistenza. La designazione della resistenza

e classificati per classi di resistenza a 32.5, 42.5 e 52.5 per specificare la resistenza (i numeri esprimono in MPa la minima resistenza a 28 giorni che debbono avere provini preparati in modo standardizzato con rapporto $a/c = 0.5$ e rapporto sabbia/cemento = 3) se il cemento possiede una elevata resistenza iniziale si aggiunge anche la lettera R.

CLASSE	RESISTENZA A COMPRESIONE			
	Iniziale (2gg)	7gg	28 gg	
32.5	-	≥ 16	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5 R	≥ 10	-	≥ 32.5	< 52.5
42.5	≥ 10	-	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5 R	≥ 10	-	≥ 42.5	≤ 62.5
52.5	≥ 20	-	≥ 52.5	
52.5 R	≥ 30	-	≥ 52.5	

2. Aggregati o inerti.

Gli inerti naturali o da fonte naturale devono essere costituiti da elementi non gelivi e non friabili, privi di sostanze organiche, limose ed argillose, di gesso ecc. in proporzioni non superiori all'indennità del conglomerato ed alla conservazione

all'attore del gelo, possono contenere solfati in grado di reagire con i costituenti della pasta cementizia per dare prodotti espansivi o cloruri che causano problemi di corrosione alle armature.

3. Acqua d'impasto.

L'acqua utilizzata per il confezionamento del calcestruzzo non deve contenere sali o impurezze che interferiscono con i fenomeni di presa ed indurimento o che influenzano negativamente le proprietà del calcestruzzo.

Per quanto attiene alla DURABILITÀ delle opere in cemento armato è importante soprattutto il contenuto di solfati e di cloruri.

~~Derivando~~ L'acqua di mare non ~~tenere~~ ~~d'~~ ~~sal~~ può ~~utilizzata~~ per l'impasto

4. Additivi

Gli additivi impiegati nel calcestruzzo sono prodotti chimici che aggiunti in piccole quantità all'impasto consentono di migliorare alcune proprietà del calcestruzzo allo

all'azione del gelo; possono contenere solfati in grado di reagire con i costituenti della pasta cementizia per dare prodotti espansivi o cloruri che causano problemi di corrosione alle armature.

3. Acqua d'impasto.

L'acqua utilizzata per il confezionamento del calcestruzzo non deve contenere sali o impurezze che interferiscano con i fenomeni di presa ed indurimento o che influenzano negativamente le proprietà del calcestruzzo.

Per quanto attiene alla DURABILITÀ delle opere in cemento armato è importante soprattutto il contenuto di solfati e di cloruri. ~~Deve risultare~~ L'acqua di mare non ~~tenere~~ ~~di~~ ~~sali~~ può essere utilizzata per l'impasto.

4. Additivi

Gli additivi impiegati nel calcestruzzo sono prodotti chimici che aggiunti in piccole quantità all'impasto consentono di migliorare alcune proprietà del calcestruzzo allo

stato fresco o indurito.

Si distinguono

- FLUIDIFICANTI o SUPERFLUIDIFICANTI

- ACCELERANTI

- RITARDAANTI

PROPRIETÀ DEL CALCESTRUZZO FRESCO

A. LAVORABILITÀ:

- Aumenta all'aumentare della quantità d'acqua; tuttavia la ~~variazione~~ ^{variazione} dell'acqua d'impasto può determinare una variazione del rapporto a/c e quindi può interagire con gli aspetti di resistenza e durabilità. L'aumento di fluidificanti può aumentare la lavorabilità a parità di rapporto a/c.
- La lavorabilità è maggiore se le particelle sono ben bagnate. La NORMA EN 206 richiede che il diametro degli aggregati non esulti superiore a
 - un quinto della dimensione minima dell'elemento strutturale
 - la distanza delle armature adottate di 5 mm

- 1.3 volte il conifero.

- MISURA DELLA LAVORABILITÀ

Generalmente si fa riferimento alla prova di abbassamento del cono di Abrams.

Classe di consistenza	Abbassamento al cono (mm)	Denominazione conrete
S1	10 ÷ 40	Umida
S2	50 ÷ 90	Plastica
S3	100 ÷ 150	Semifluida
S4	150 ÷ 210	Fluida
S5	> 210	Superfluida

DH 96 - Allegato 2 - Controlli sul Conglomerato.

~~Il~~ Ogni prelievo consta del calcestruzzo necessario a costituire due provini. La media delle resistenze a compressione misurate in prove sperimentali si dice RESISTENZA DI PRELIEVO.

CONTROLLO TIPO A

Ogni controllo di eccezione è rappresentato da 3 prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m^3 di getto di massello omogeneo. Risulta quindi un controllo ogni 300 m^3 massimo di getto. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo. Siano R_1, R_2, R_3 le resistenze di prelievo dei tre

$$R_1 \leq R_2 \leq R_3$$

~~Il~~ il controllo è positivo e

$$R_{max} \geq R_{ex} + 3,5 \quad \text{MPa}$$

$$R_{min} \geq R_{ex} - 3,5$$

- CONTROLLO TIPO B

Nelle costruzioni con più di 1500 m^3 di miscela omogenea è ammesso il controllo di tipo statistico.

È necessario un controllo ogni 1500 m^3 ; tale controllo consiste nell'estrazione di 15 proben.

Il controllo è positivo se

$$R_m \geq R_{uk} + 1.4s$$

$$R_i \geq R_{ek} - 3.5$$

MIX DESIGN e durabilità

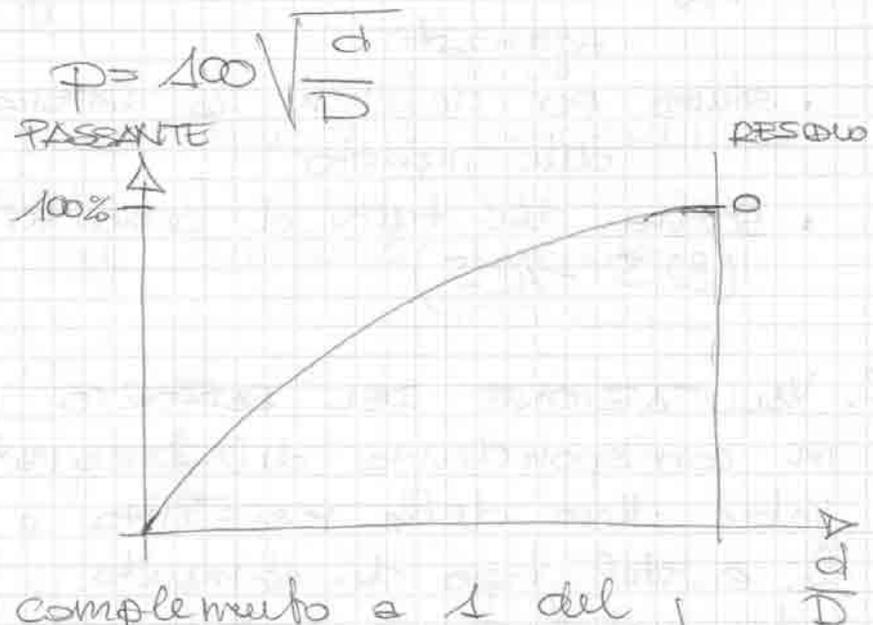
Il "progetto della miscela" è volto alla determinazione del dosaggio delle diverse componenti al fine di ottenere un calcestruzzo di assegnata resistenza e lavorabilità.

ASSORTIMENTO GRANULOMETRICO

Per la caratterizzazione dell'assortimento granulometrico degli inerti si può considerare il parametro p , che rappresenta la percentuale di passanti attraverso stacci di diametro d . Un modello teorico

che rappresenta una distribuzione ottimale

degli inerti è quello proposto da Fuller



Il ~~passante~~ complemento a 1 del p passante attraverso lo staccio di diametro d rappresenta proprio il

residuo rispetto agli obiettivi superiori
e dunque rappresenta la frazione
di inerti di diametro maggiore
di D .

MIX DESIGN.

Si tratta di "progettare" la miscela
al fine di aver un impasto ed un
calcestruzzo indurito con determinate
caratteristiche di lavorabilità e di
resistenza risultanti.

Il procedimento può essere delineato
come segue:

1. Definire i parametri di ingresso
che possono essere i seguenti

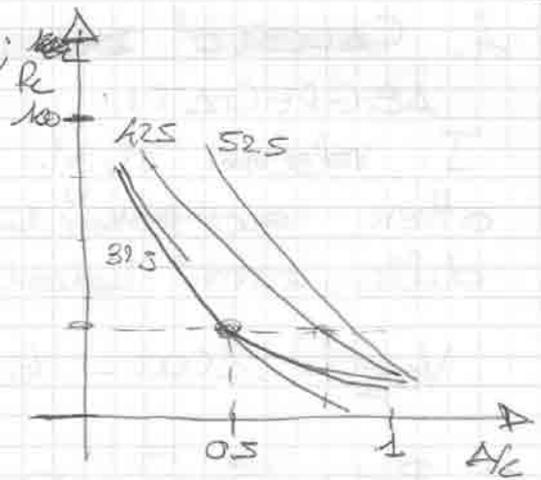
- R_c resistenza a compressione attesa
- D_{max} diametro massimo degli
aggregati
- slump per definire la lavorabilità
dell'impasto
- scelta del tipo di cemento
(32,5 - 42,5)

2. VALUTAZIONE DEL RAPPORTO A/C

in corrispondenza dell'assegnato
valore atteso della resistenza a compressione
 R_c e del tipo di cemento.

La valutazione di tale rapporto
può essere condotta in base a correlazioni

calibrate sperimentalmente; esse legano il valore della R_c a quello del rapporto A/C in funzione del ~~rapporto~~ tipo di cemento impiegato per la miscela.



Nota il rapporto acqua-cemento si può anche scegliere il volume d'acqua che si vuole utilizzare per la miscela. Tale volume può essere ridotto in presenza di un opportuno fluidificante.

3. CALCOLO DELLA QUANTITÀ DI CEMENTO.

Nota il volume di acqua (determinato in funzione del livello di lavorabilità della miscela) ed il rapporto acqua cemento A/C si ha

$$C = \frac{A}{A/C}$$

e dunque si può ottenere la quantità in peso di cemento necessaria per $1 m^3$ di impasto.

4. CALCOLO DEL VOLUME DI AGGREGATI

Il volume degli aggregati si ottiene scorponando dal totale quello delle parti calcolate in precedenza

$$V_{agg} = 1000 - V_{cem} - V_{acqua} - V_{add} - V_{aria}$$

5. PESO DEGLI AGGREGATI

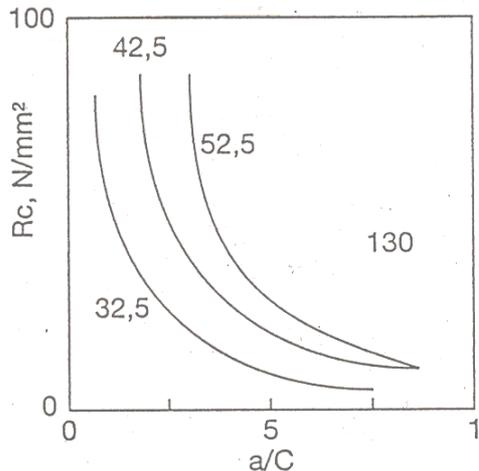
Assumendo un peso specifico per gli aggregati (peso scelto in funzione della natura degli aggregati stessi) ~~per~~ si ottiene il peso degli aggregati.

L'assorbimento granulometrico può essere scelto in funzione di una curva (ad esempio quella di Filler) che esprima la quantità di passanti (in percentuale) in funzione del diametro degli stacci.

MIX DESIGN DEL CALCESTRUZZO

PASSI DEL MIX DESIGN

1. Definizione dei dati di ingresso: R_c , D_{max} , S (slump)
2. Dal valore della resistenza richiesta R_c si ricava, in funzione del tipo di cemento, il rapporto A/C (acqua/cemento); in funzione della lavorabilità richiesta (slump S) si ricava, poi, il dosaggio di acqua per metro cubo di calcestruzzo, che può essere eventualmente ridotto impiegando additivi fluidificanti
3. Dal dosaggio di acqua e dal rapporto A/C si ricava il dosaggio di cemento
4. Dai dosaggi per metro cubo già noti di acqua, cemento ed eventualmente additivo, si ricavano i volumi in litri e, per differenza da 1000, il volume complessivo degli aggregati
5. Dal volume degli aggregati e dal suo peso specifico si ottiene il peso degli aggregati, che devono essere ripartiti tra le varie frazioni granulometriche sulla base della curva di riferimento scelta (ad esempio la curva di Fuller)

4. Passi del procedimento	Esempio					
1 Definire i dati di ingresso e almeno i seguenti: R_c , D_{max} e slump	$R_c = 30 \text{ N/mm}^2$ $D_{max} = 25 \text{ mm}$ Slump = 200 mm Possibilità di scelta tra cemento 32,5 e 42,5; eventuale uso di additivo fluidificante					
2 Relazioni		Cemento 42,5		Cemento 32,5		
	A/C	0,50		0,45		
	Fluidificante	NO	SI	NO	SI	
	Acqua	200	160	200	160	
3 $\text{Cemento} = \frac{A}{A/C}$	Cemento, kg/m^3	400	320	440	355	
4 $V_{agg} = 1000 - V_{cem} - V_{acqua} - V_{add} - V_{aria}$	V_{agg} , l/m^3	651	714	638	702	
5 $\text{Peso agg.} = \text{Vol. agg.} \times \text{MV agg.}$	P_{agg} , kg	1738	1905	1704	1876	
6 Verifica in cantiere:	Ricette					
	Cemento tipo	kg/m^3	acqua l/m^3	Additivo l/m^3	Aggr. kg/m^3	
	Misura dell'acqua reale	42,5	406	203	-	1727
	Resa	42,5	324	162	3,1	1900
	Aggiustamento	32,5	458	206	-	1672
32,5		364	164	3,5	1859	