

CEMENTO ARMATO METODO AGLI STATI LIMITE

Il calcestruzzo cementizio, o cemento armato come normalmente viene definito in modo improprio, è un materiale artificiale eterogeneo costituito da conglomerato cementizio nel quale vengono inserite armature metalliche.

Nel cemento armato si valorizzano le qualità dei due materiali: calcestruzzo e acciaio, che presentano le seguenti caratteristiche

CALCESTRUZZO

Discreta resistenza a compressione

Resistenza a trazione praticamente nulla

Costo contenuto

Facilità realizzativa del materiale

Facile messa in opera

ACCIAIO

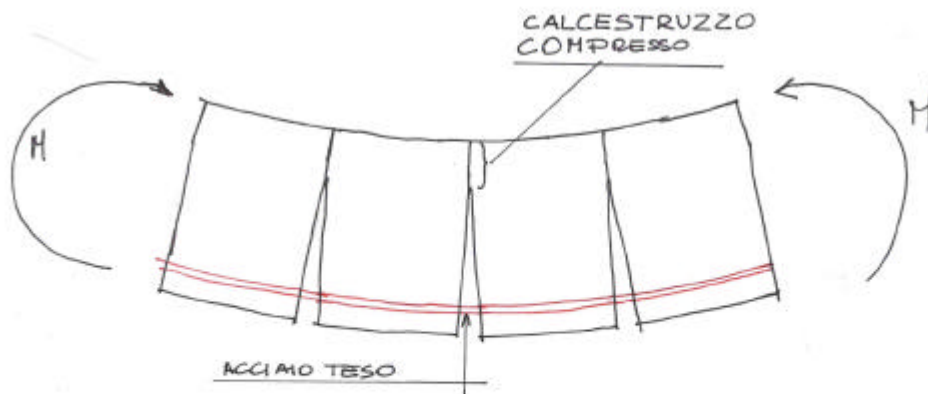
Ottima resistenza alle torsioni

Ottima resistenza a compressione, difficilmente utilizzabile a causa dell'instabilità

Costo elevato

Facile posa in opera se si possono utilizzare mezzi di sollevamento

SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DEL CEMENTO ARMATO



VANTAGGI E SVANTAGGI DELLE STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO

VANTAGGI

L'acciaio risulta protetto dal calcestruzzo pertanto non subisce corrosioni

Buona resistenza al fuoco

La struttura presenta una buona monoliticità

Massima elasticità nella forma della struttura

Facile approvvigionamento dei materiali componenti calcestruzzo

Rapidità di esecuzione anche in ambienti difficilmente accessibili

SVANTAGGI

Peso elevato in rapporto alle prestazioni

Scarsa coibentazione termica ed acustica

Complessità di calcolo

In caso di demolizione ci sono difficoltà al recupero dei componenti

CENNI STORICI SULL'IMPIEGO DEL CEMENTO ARMATO

Le prime applicazioni risalgono alla metà del 1800

Nella seconda metà del 1800 si formulano le prime ipotesi di calcolo

La grande diffusione della tecnica costruttiva avviene nei primi decenni del 900' in corrispondenza dello sviluppo industriale

Localmente nella costruzione di edifici industriali (Vado, Cairo, Ferrania, Cengio)

Nelle costruzioni civili la tecnica delle strutture in cemento armato soppiantano quasi totalmente le altre tecniche a partire dalla ricostruzione del secondo dopoguerra

Nella seconda metà del 1900 la tecnica del cemento armato si è ulteriormente sviluppata evolvendo nella tecnica le cemento armato precompresso.

CALCESTRUZZO

COMPOSIZIONE MEDIA

Il calcestruzzo cementizio è una miscela di cemento, sabbia, ghiaia e acqua, con il seguente dosaggio medio per ottenere un metro cubo di impasto:

300 daN di cemento

0,400 m³ di sabbia

0,800 m³ di ghiaia

120÷140 litri d'acqua

CEMENTO

Secondo la norma, i cementi comuni sono distinti in cinque tipi:

Cemento Portland

Cemento Portland composito

Cemento d'altoforno

Cemento Pozzolanico

Composito

SABBIA

Può essere di fiume o di cava, priva di sostanze organiche o terrose, le dimensioni dei granuli variano da 0,5 mm a 5 mm.

GHIAIA

Anch'essa può essere di fiume o di cava, priva di sostanze organiche o terrose, i granuli devono essere assortiti da 0,5 cm a 3 cm.

ACQUA

Deve essere pura, priva di sali e di sostanze organiche o terrose.

RESISTENZA CARATTERISTICA R_{ck} A COMPRESSIONE

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

f_{ck} : Resistenza caratteristica su provino cilindrico $\varnothing 150$ mm

R_{ck} : Resistenza caratteristica cubica, su provino cubico da 150 mm

Un conglomerato viene individuato tramite la caratteristica resistenza a compressione R_{ck} a 28 giorni di stagionatura.

Le classi di resistenza vengono indicate con la sigla C n/m , dove n ed m sono due numeri che indicano rispettivamente la resistenza cilindrica f_{ck} e la corrispondente resistenza cubica R_{ck} , ad esempio C 28/35 indica un calcestruzzo con $f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$ e $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$

I calcestruzzi di uso più comune appartengono alle classi: C 12/15, C 16/20, C 20/25, C 25/30, C 28/35, C 32/40, C 35/45, C40/50.

Per le classi superiori a C 45/55 sono necessarie apposite sperimentazioni e controlli di qualità; per le classi superiori a C 70/85 è necessaria l'autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Si definisce resistenza caratteristica quella resistenza che probabilmente può essere raggiunta o superata dal 95% di tutte le prove eseguite, la resistenza caratteristica viene calcolata con l'espressione:

$$R_{ck} = R_{cm} - k \cdot s$$

dove: R_{cm} = resistenza media

$$k = 1,64$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (R_x - R_m)^2}{n - 1}}$$

scarto quadratico medio

CONTROLLO DI ACCETTAZIONE

Il controllo della resistenza caratteristica viene effettuato su provini cubici di calcestruzzo, prelevati dall'impasto in cantiere al momento del getto.

Controllo di tipo A: viene eseguito su un massimo di 300 m³ di getto ed è costituito da tre prelievi, ognuno eseguito su un massimo di 100 m³, effettuando in genere almeno un prelievo al giorno; il controllo è positivo se risulta:

$$R_1 = R_{ck} - 3,5 \quad R_m = R_{ck} + 3,5$$

dove: R_m = resistenza media dei tre provini (in N/mm²)

R_1 = minimo valore della resistenza dei prelievi (in N/mm²)

Controllo di tipo B: è obbligatorio quando vengono impiegati più di 1500 m³ di conglomerato; si deve eseguire almeno un prelievo al giorno e complessivamente 15 prelievi ogni 1500 m³; il controllo è positivo se risulta:

$$R_1 = R_{ck} - 3,5 \quad R_m = R_{ck} + 1,4 \cdot s$$

essendo: R_m = resistenza media dei $n = 15$ provini (in N/mm²)

s = scarto quadratico medio.

RESISTENZA CILINDRICA MEDIA A COMPRESSIONE f_{cm}

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

RESISTENZA MEDIA A TRAZIONE f_{ctm}

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad \text{per classi = C50/60}$$

MODULO ELASTICO

$$E_{cm} = 22000 \left[\frac{f_{cm}}{10} \right] \quad (\text{in N/mm}^2)$$

COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA

$$\alpha = 10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

RITIRO

Durante il processo di presa e indurimento si manifesta una riduzione di volume nella massa di calcestruzzo indipendente dai carichi applicati e sui quali influiscono principalmente:

Qualità e granulometria degli inerti;

Qualità dei cementi impiegati;

Quantitativo di cemento;

Umidità ambientale

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

TIPO DI ACCIAIO E LORO IMPIEGO

Acciaio B450C (laminato a caldo) in barre con diametri compresi tra 6 mm e 40 mm

Acciaio B450A (laminato a freddo) in barre con diametri compresi tra 5 mm e 10 mm

Entrambi i tipi di acciaio sono caratterizzati dai seguenti valori nominali delle tensioni:

$f_{yk} = f_y \text{ nom} = 450 \text{ N/mm}^2 = \text{tensione caratteristica di snervamento}$

$f_{tk} = f_t \text{ nom} = 450 \text{ N/mm}^2 = \text{tensione caratteristica di rottura}$

GIUNZIONE DELLE BARRE

La continuità delle barre si ottiene mediante giunzioni da realizzare preferibilmente in zona compressa o di minore sollecitazione, mediante:

Sovrapposizione per la lunghezza nel tratto rettilineo non inferiore a 20 volte il diametro della barra;

Saldature;

Giunzioni meccaniche.

COPRIFERRO

Le armature metalliche devono essere protette dall'ossidazione e dalla corrosione con un adeguato strato di ricoprimento di calcestruzzo, in linea di massima può assumere uno spessore non inferiore a $2,5 \div 3 \text{ cm}$.

METODO AGLI STATI LIMITE

Resistenza di calcolo dei materiali e azioni di calcolo

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo:

$$f_{cd} = \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad (\text{N/mm}^2)$$

dove: f_{ck} = resistenza caratteristica cilindrica a compressione

$\gamma_c = 1,5$ = coefficiente parziale di sicurezza

Resistenza media a trazione del calcestruzzo:

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

Resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo (frattile 5%):

$$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm}$$

Resistenza di calcolo dell'acciaio:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (\text{N/mm}^2)$$

dove: $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ = tensione caratteristica di snervamento

$\gamma_s = 1,15$ = coefficiente parziale di sicurezza

e quindi

$$f_{yd} = \frac{450}{1,15} = 391 \text{ N/mm}^2$$

Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo:

$$f_{bd} = \frac{f_{bk}}{\gamma_c} \quad (\text{N/mm}^2)$$

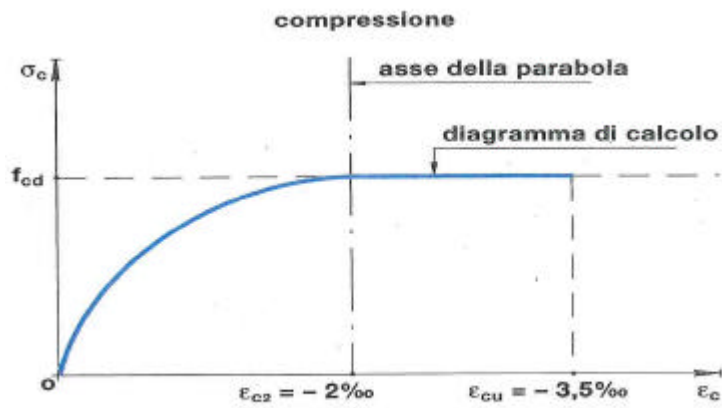
dove: $f_{bk} = 2,25 \cdot f_{ctk}$ (per barre $\phi < 32 \text{ mm}$) = resistenza tangenziale caratteristica di aderenza

f_{ctk} = resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo

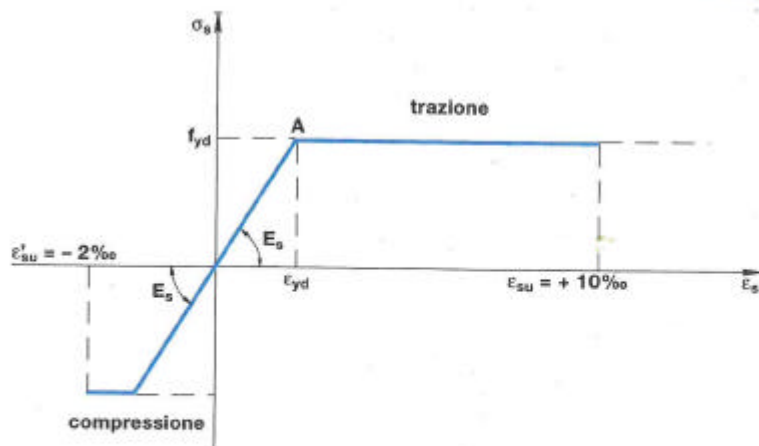
$\gamma_c = 1,5$ = coefficiente parziale di sicurezza

Diagrammi di calcolo tensione – deformazione

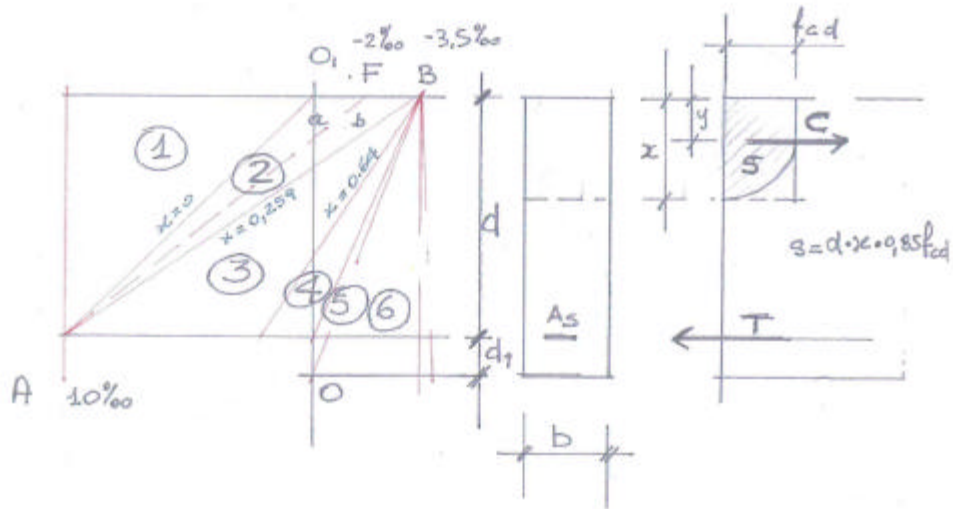
Calcestruzzo



Acciaio



Campi limite a rottura



- 1) Trazione semplice Retta AA1
- 2) Presso flessione (rottura duttile)
- 3) Presso flessione (rottura duttile)
- 4) Presso flessione (fragile)
- 5) Presso flessione (fragile)
- 6) Presso flessione (fragile)

$$x = K \cdot d$$

$$K = \frac{X}{D} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s}$$

$$y = \beta \cdot x$$

Area parabola rettangolo = $\alpha \cdot$ area rettangolo

CALCOLO DI VERIFICA

Asse neutro

$$C = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b$$

$$T = A_s \cdot f_{yd}$$

$$\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = A_s \cdot f_{yd}$$

$$x = \frac{f_y \cdot d \cdot A_s}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} =$$

in campo 3 e 4 $\alpha = 0,81$

$$x = \frac{f_y \cdot d \cdot A_s}{0,81 \cdot f_{cd} \cdot b}$$

di conseguenza:

$$K = \frac{x}{d}$$

Allungamento acciaio

$$\varepsilon_c : \chi = \varepsilon_s : (d - x)$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_c \cdot (d - x)}{x}$$

Momento resistente

$$M_{rd} = C \cdot (d - \beta \cdot x)$$

dove M_{rd} è il momento resistente di progetto

C = risultante di compressione

$$M_{rd} = T \cdot (d - \beta \cdot x)$$

T = risultato di trazione

$$M_{rd} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot (d - \beta x)$$

$$M_{rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - \beta x)$$

CALCOLO DI PROGETTO

Dimensioni trave rettangolare

$$M_{rd} = M_{sd}$$

$$M_{sd} = C \cdot (d - \beta \cdot x)$$

$$M_{sd} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b (d - \beta \cdot x)$$

$$M_{sd} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot K \cdot d \cdot b (d - \beta \cdot K d)$$

$$M_{sd} = f_{cd} \cdot b \cdot d^2 [\alpha \cdot K \cdot (1 - \beta \cdot K)]$$

ponendo

$$\frac{1}{r} = d \cdot K (1 - \beta \cdot K)$$

$$M_{sd} = f_{cd} \cdot d^2 \cdot b \cdot \frac{1}{R} \quad \rightarrow \quad d = \sqrt{\frac{M_{sd} \cdot r}{f_{cd} \cdot b}}$$

Armatura trave rettangolare

$$M_{sd} = T \cdot (d - \beta x)$$

$$M_{sd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - \beta x)$$

$$M_{sd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - \beta k \cdot d)$$

$$A_s = M_{sd} \cdot f_{yd} \cdot d (1 - \beta k)$$

ponendo

$$\frac{1}{t} = 1 - \beta k$$

$$A_s = M_{sd} \cdot f_{yd} \cdot \frac{1}{t}$$

$$A_s = \frac{M_{sd} \cdot t}{f_{yd} \cdot d}$$

	sc	es	k	α	β	r	t
campo 2	0,000	10,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
	-0,100	10,000	0,010	0,049	0,335	2433,040	1,003
	-0,200	10,000	0,020	0,097	0,336	622,659	1,007
	-0,300	10,000	0,029	0,143	0,338	285,271	1,010
	-0,400	10,000	0,038	0,187	0,339	165,734	1,013
	-0,500	10,000	0,048	0,229	0,341	109,667	1,017
	-0,600	10,000	0,057	0,270	0,343	78,503	1,020
	-0,700	10,000	0,065	0,309	0,344	59,538	1,023
	-0,800	10,000	0,074	0,347	0,346	46,974	1,026
	-0,900	10,000	0,083	0,383	0,348	38,303	1,030
	-1,000	10,000	0,091	0,417	0,350	32,054	1,033
	-1,100	10,000	0,099	0,449	0,352	27,396	1,036
	-1,200	10,000	0,107	0,480	0,354	23,778	1,039
	-1,300	10,000	0,115	0,509	0,356	20,949	1,043
	-1,400	10,000	0,123	0,537	0,359	18,662	1,046
	-1,500	10,000	0,130	0,563	0,361	16,812	1,049
	-1,600	10,000	0,138	0,587	0,364	15,299	1,053
	-1,700	10,000	0,145	0,609	0,366	14,042	1,056
	-1,800	10,000	0,153	0,630	0,369	12,972	1,060
	-1,900	10,000	0,160	0,649	0,372	12,070	1,063
	-2,000	10,000	0,167	0,667	0,375	11,288	1,067
	-2,100	10,000	0,174	0,683	0,378	10,622	1,070
	-2,200	10,000	0,180	0,697	0,382	10,053	1,074
	-2,300	10,000	0,187	0,709	0,385	9,562	1,078
	-2,400	10,000	0,194	0,722	0,388	9,102	1,081
	-2,500	10,000	0,200	0,733	0,391	8,706	1,085
	-2,600	10,000	0,206	0,744	0,394	8,341	1,088
	-2,700	10,000	0,213	0,753	0,397	8,026	1,092
	-2,800	10,000	0,219	0,762	0,400	7,735	1,096
	-2,900	10,000	0,225	0,770	0,402	7,472	1,099
	-3,000	10,000	0,231	0,778	0,405	7,228	1,103
	-3,100	10,000	0,237	0,785	0,407	7,008	1,107
	-3,200	10,000	0,242	0,792	0,410	6,804	1,110
	-3,300	10,000	0,248	0,798	0,412	6,618	1,114
	-3,400	10,000	0,254	0,804	0,414	6,444	1,117
-3,500	10,000	0,259	0,810	0,417	6,281	1,121	
campo 3	-3,500	9,500	0,269	0,810	0,417	6,077	1,126
	-3,500	9,000	0,280	0,810	0,417	5,873	1,132
	-3,500	8,500	0,292	0,810	0,417	5,669	1,138
	-3,500	8,000	0,304	0,810	0,417	5,466	1,145
	-3,500	7,500	0,318	0,810	0,417	5,263	1,153
	-3,500	7,000	0,333	0,810	0,417	5,061	1,161
	-3,500	6,500	0,350	0,810	0,417	4,859	1,171
	-3,500	6,000	0,368	0,810	0,417	4,658	1,182
	-3,500	5,500	0,389	0,810	0,417	4,458	1,194
	-3,500	5,000	0,412	0,810	0,417	4,259	1,207
	-3,500	4,500	0,438	0,810	0,417	4,061	1,223
	-3,500	4,000	0,467	0,810	0,417	3,864	1,242
	-3,500	3,500	0,500	0,810	0,417	3,670	1,263
	-3,500	3,000	0,538	0,810	0,417	3,478	1,290
	-3,500	2,500	0,583	0,810	0,417	3,290	1,321
campo 4	-3,500	2,000	0,636	0,810	0,417	3,107	1,361
	-3,500	1,500	0,700	0,810	0,417	2,930	1,412
	-3,500	1,000	0,778	0,810	0,417	2,764	1,480
	-3,500	0,500	0,875	0,810	0,417	2,614	1,574
	-3,500	0,000	1,000	0,810	0,417	2,491	1,715

diametro	peso										
mm	Kg/ml	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	0,10	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	0,88	1,01	1,13	1,26
6	0,22	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
8	0,39	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,62	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	0,89	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,21	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39
16	1,58	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
18	2,00	2,54	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45
20	2,47	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
22	2,98	3,80	7,60	11,40	15,21	19,01	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01
24	3,55	4,52	9,05	13,57	18,10	22,62	27,14	31,67	36,19	40,72	45,24
26	4,17	5,31	10,62	15,93	21,24	26,55	31,86	37,17	42,47	47,78	53,09
28	4,83	6,16	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	61,58
30	5,55	7,07	14,14	21,21	28,27	35,34	42,41	49,48	56,55	63,62	70,69
32	6,31	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42
34	7,13	9,08	18,16	27,24	36,32	45,40	54,48	63,55	72,63	81,71	90,79