

Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Corso Integrato di Scienza e Tecnica delle Costruzioni

Modulo di **Tecnica delle Costruzioni** (8 CFU)

A.A. 2025-2026  
2° semestre

Docente: Marco Zucca

**STATI LIMITE ULTIMI  
SOLLECITAZIONE NORMALE E/O  
FLESSIONALE**



**POLITECNICO**  
MILANO 1863  
Scuola Master Fratelli Pesenti



Università degli Studi di Cagliari

**DICAAR**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E ARCHITETTURA

# **STATI LIMITE ULTIMI SOLLECITAZIONI NORMALI E FLESSIONALI**

**Obiettivo: dimensionare e verificare le strutture in calcestruzzo armato**

## **Strumenti:**

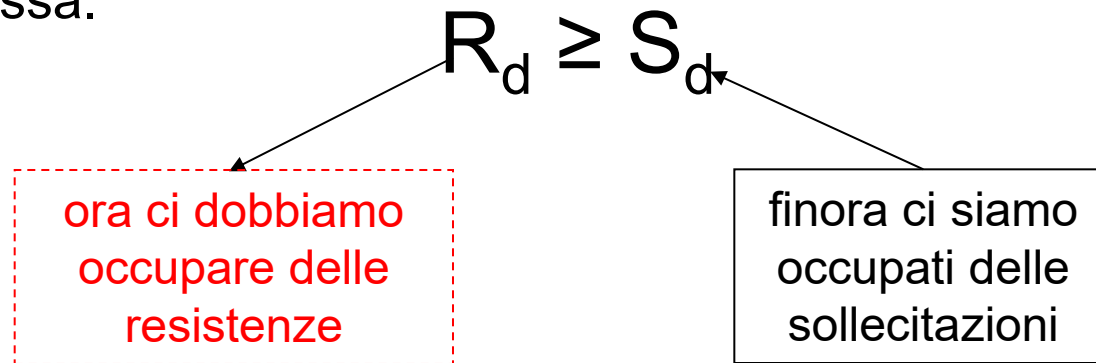
- Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 17.01.2018, G.U. n. 42 del 20.02.2018 (Cap. 4.1)**
- Circolare Ministeriale del 21.01.2019, G.U. n. 5 del 11.02.2019 (Cap. 4.1)**

# Verifica allo Stato Limite Ultimo (SLU)

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) è espressa dall'equazione formale:

$$R_d \geq S_d$$

che si traduce nella considerazione che la resistenza di progetto ( $R_d$ ) di una costruzione deve essere maggiore della sollecitazione ( $S_d$ ) che agisce in essa.



Ad esempio una sezione di una struttura sollecitata a Momento Flettente è verificata se

**M<sub>Rd</sub>**  
MOMENTO RESISTENTE DI PROGETTO

≥

**M<sub>Sd</sub>**  
MOMENTO SOLLECITANTE DI PROGETTO

# Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$$

dove:

- $\alpha_{cc}$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
  - $\gamma_c$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo;
  - $f_{ck}$  è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni.
- Il coefficiente  $\gamma_c$  è pari ad 1.5.
- Il coefficiente  $\alpha_{cc}$  è pari a 0.85.

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori minori di 50 mm, la resistenza di calcolo a compressione va ridotta a  $0.80f_{cd}$ .

# Come scegliere la classe del calcestruzzo?

- In funzione delle **condizioni ambientali**
- In funzione del **tipo di struttura**
- Per ridurre la **dimensione delle sezioni**

# Come scegliere l'acciaio?

- L'acciaio d'armatura lenta più utilizzato è il **B450C**

# Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

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

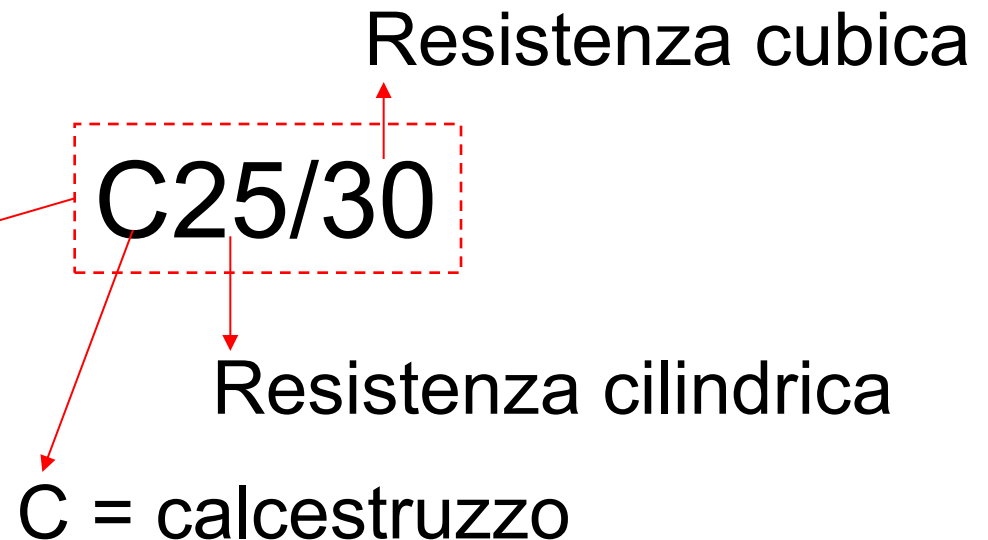


Tabella 4.1.II – Impiego delle diverse classi di resistenza

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

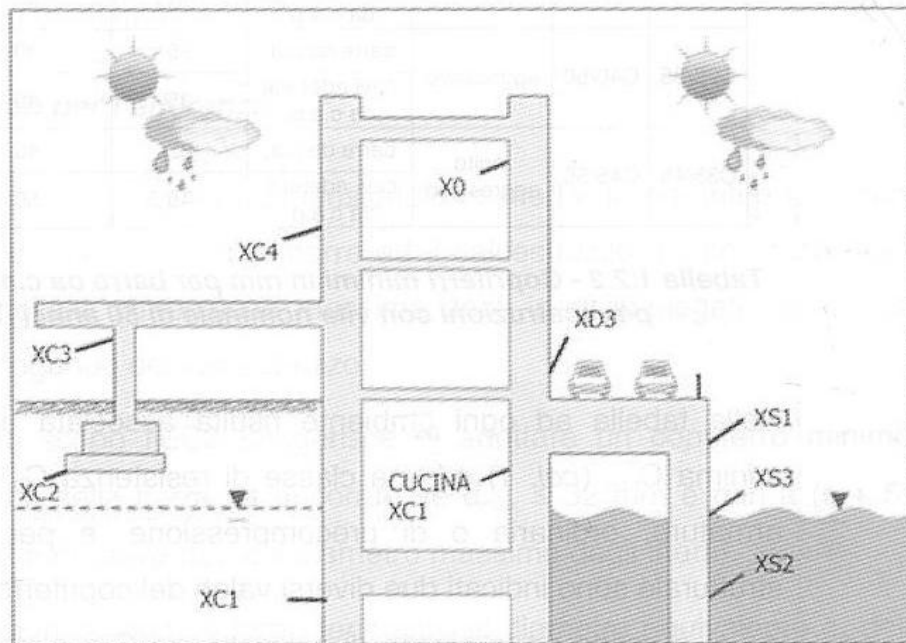
# La norma **UNI EN 206: 2021** nell' **Appendice F** riporta la tabella **RACCOMANDAZIONE PER I VALORI LIMITE PER LA COMPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO**

prospetto F.1 Valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione o attacco	Corrosione da carbonatazione				Corrosione da cloruri						Attacco gelo/disgelo				Ambienti chimici aggressivi		
						Acqua marina			Altri cloruri (diversi dall'acqua di mare)									
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
Rapporto massimo a/c	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe di resistenza minima	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto minimo di cemento (kg/m <sup>3</sup> )	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	4,0 <sup>a)</sup>	-	-	-
Altri requisiti												Aggregati in accordo alla EN 12620 con sufficiente resistenza al gelo/disgelo				Cemento resistente ai solfati <sup>b)</sup>		
a)	Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni dovrebbero essere verificate conformemente ad un metodo di prova appropriato rispetto ad un calcestruzzo per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo per la relativa classe di esposizione.																	
b)	Qualora la presenza di SO <sub>4</sub> comporti le classi di esposizione XA2 e XA3, è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati. Se il cemento è classificato a moderata o ad alta resistenza ai solfati, il cemento dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA2 (e in classe di esposizione XA1 se applicabile) e il cemento ad alta resistenza, ai solfati dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA3.																	

# Classi di esposizione del calcestruzzo

## Corrosione indotta da carbonatazione



### 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

# Resistenza di calcolo dell'acciaio

La resistenza di calcolo dell'acciaio  $f_{yd}$  è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore è dato da:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

dove:

- $\gamma_s$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio;
- $f_{yk}$  per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (cap. 11.3.2 delle NTC2018), per armature da precompressione è la tensione convenzionale caratteristica di snervamento data, a seconda del tipo di prodotto, da  $f_{pyk}$  (barre),  $f_{p(0,1)k}$  (fili),  $f_{p(1)k}$  (trefoli e trecce); si veda in proposito la Tab 11.3.VII.
- Il coefficiente  $\gamma_s$  assume sempre, per tutti i tipi di acciaio, il valore di 1.15.

# Stati limite ultimi

## SOLLECITAZIONI NORMALI E FLESSIONALI

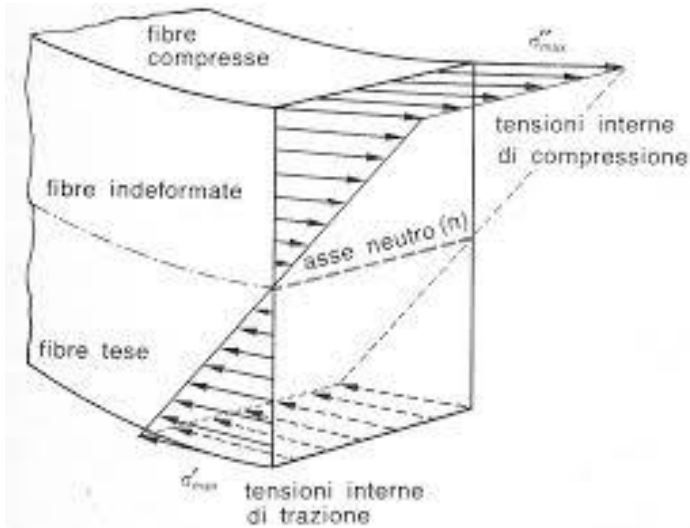
### **IPOTESI DI CALCOLO**

- conservazione delle sezioni piane;
- perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima.

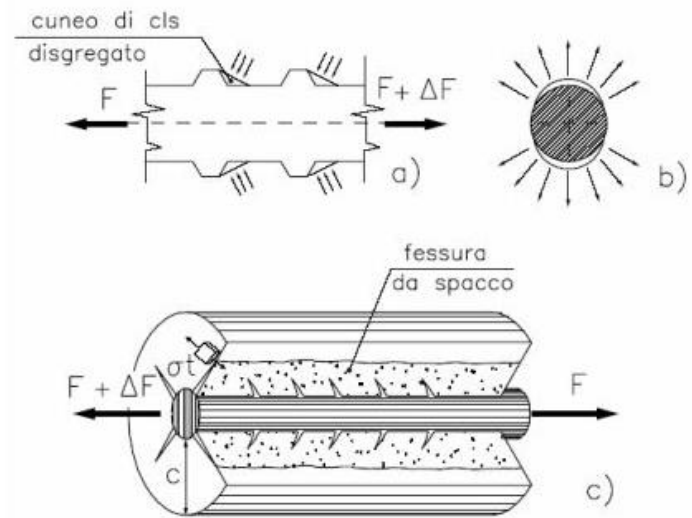
# Stati limite ultimi

## SOLLECITAZIONI NORMALI E FLESSIONALI

### IPOSTESI DI CALCOLO



conservazione delle sezioni piane

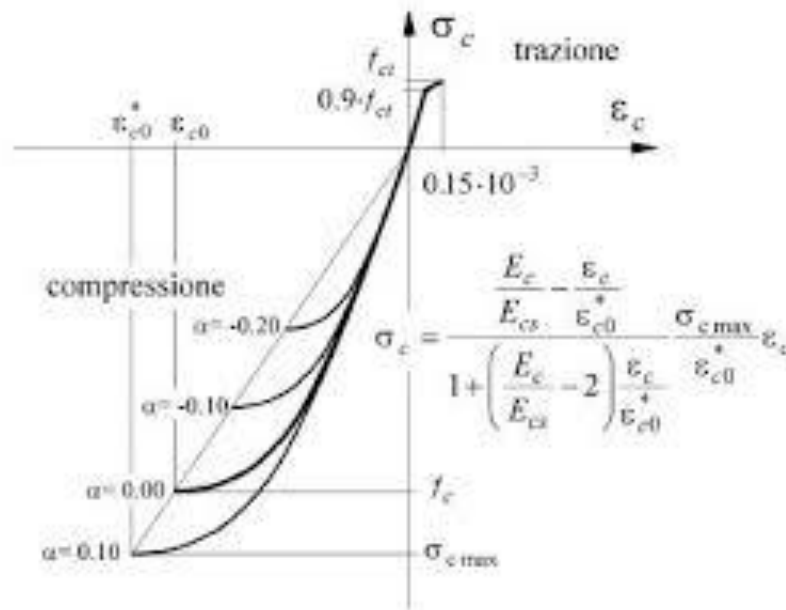


perfetta aderenza tra acciaio-calcestruzzo

# Stati limite ultimi

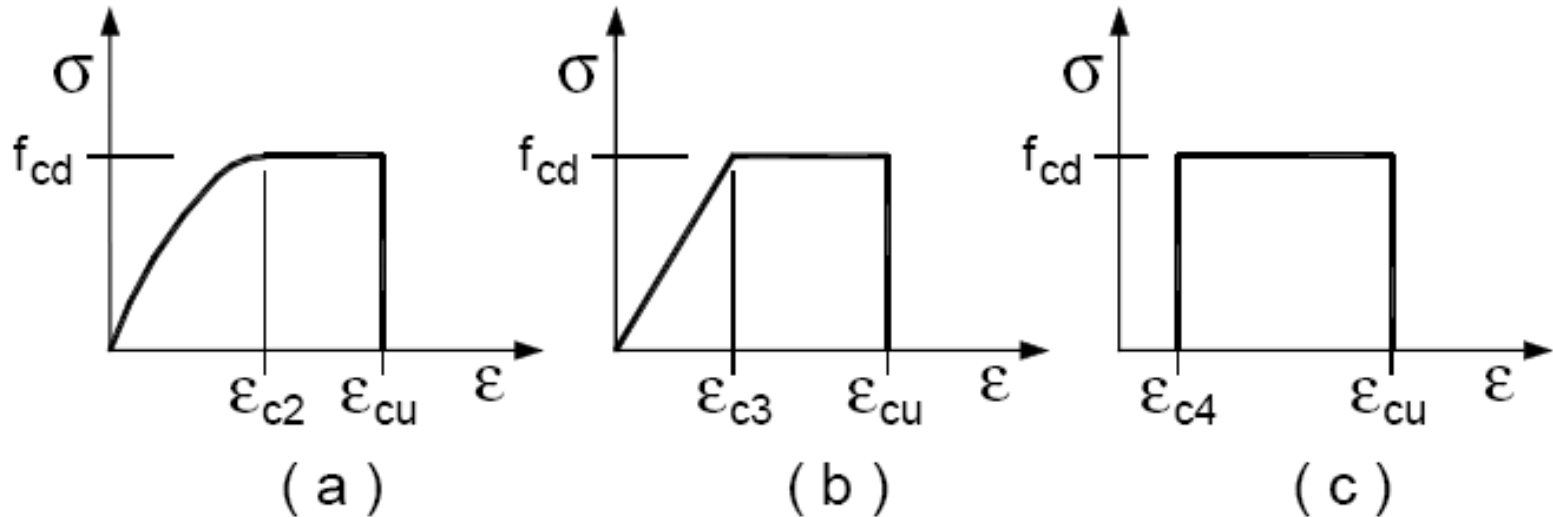
## SOLLECITAZIONI NORMALI E FLESSIONALI

### IPOSTESI DI CALCOLO



calcestruzzo non resistente a trazione

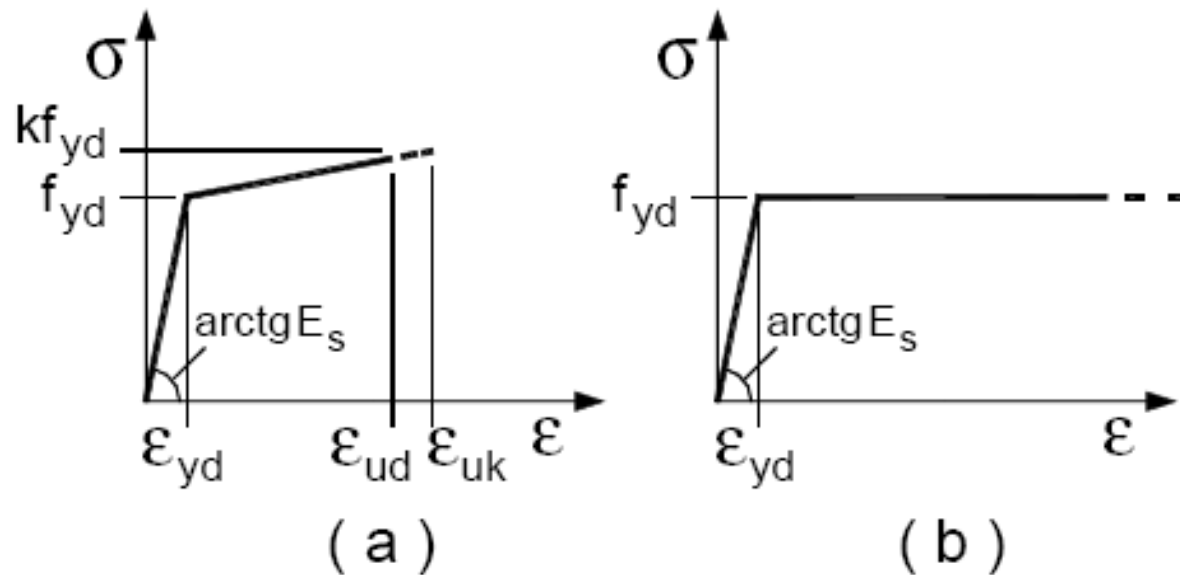
# Diagrammi di calcolo tensioni-deformazioni del calcestruzzo



$$\epsilon_{c2} = 0.20\% \quad \epsilon_{c3} = 0.175\% \quad \epsilon_{c4} = 0.07\% \quad \epsilon_{cu} = 0.35\%$$

Per sezioni o parti di sezioni soggette a distribuzioni di tensione di compressione approssimativamente uniformi la deformata ultima di progetto vale  $\epsilon_{c2}$  anziché a  $\epsilon_{cu}$

# Diagrammi di calcolo tensioni-deformazioni dell'acciaio



Per il diagramma tensione-deformazione dell'acciaio è possibile adottare opportuni modelli rappresentativi del reale comportamento del materiale, modelli definiti in base al valore di calcolo  $\epsilon_{ud} = 0.9 \epsilon_{uk}$  ( $\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$ ) della deformazione uniforme ultima, al valore di calcolo della tensione di snervamento  $f_{yd}$  ed il rapporto di sovraresistenza  $K = (f_t/f_y)_k$  (Tab. 11.3.Ia-b).

# Barre di armatura

diametro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	28	57	85	113	141	170	198	226	254	283
8	50	101	151	201	251	302	352	402	452	503
10	79	157	236	314	393	471	550	628	707	785
12	113	226	339	452	565	679	792	905	1018	1131
14	154	308	462	616	770	924	1078	1232	1385	1539
16	201	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	2011
18	254	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290	2545
20	314	628	942	1257	1571	1885	2199	2513	2827	3142
22	380	760	1140	1521	1901	2281	2661	3041	3421	3801
24	452	905	1357	1810	2262	2714	3167	3619	4072	4524
26	531	1062	1593	2124	2655	3186	3717	4247	4778	5309
28	616	1232	1847	2463	3079	3695	4310	4926	5542	6158
30	707	1414	2121	2827	3534	4241	4948	5655	6362	7069