

**Prof. Rita Greco**

**Novembre 2015**

## **IL PROGETTO DEL SOLAIO (parte III)**

# **DM 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni Cap. 4**

## **COSTRUZIONI CIVILI E INDUSTRIALI**

### **4.1.2.1.2.1      *Ipotesi di base***

Senza escludere specifici approfondimenti, necessari in particolare nel caso di elementi costituiti da calcestruzzo di classe di resistenza superiore a C45/55, per la valutazione della resistenza ultima delle sezioni di elementi monodimensionali nei confronti di sforzo normale e flessione, si adotteranno le seguenti ipotesi:

- 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;
- deformazione iniziale dell'armatura di precompressione considerata nelle relazioni di congruenza della sezione.

Le tensioni nel calcestruzzo e nell'armatura si dedurranno, a partire dalle deformazioni, utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione;

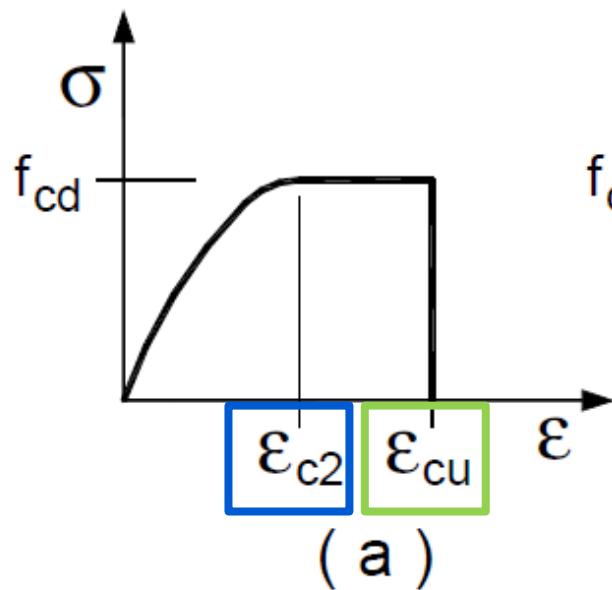
# SLU per Tensioni Normali: caratteristiche dei materiali

## Diagrammi di calcolo tensione-deformazione del calcestruzzo

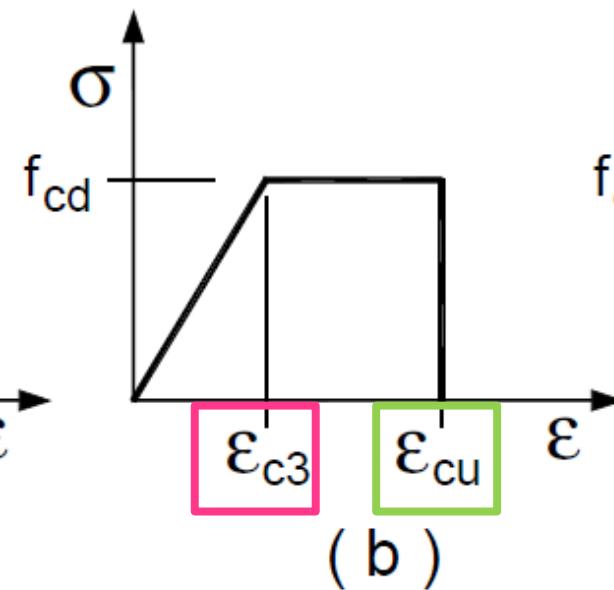
Parabola-Rettangolo

Triangolo-Rettangolo

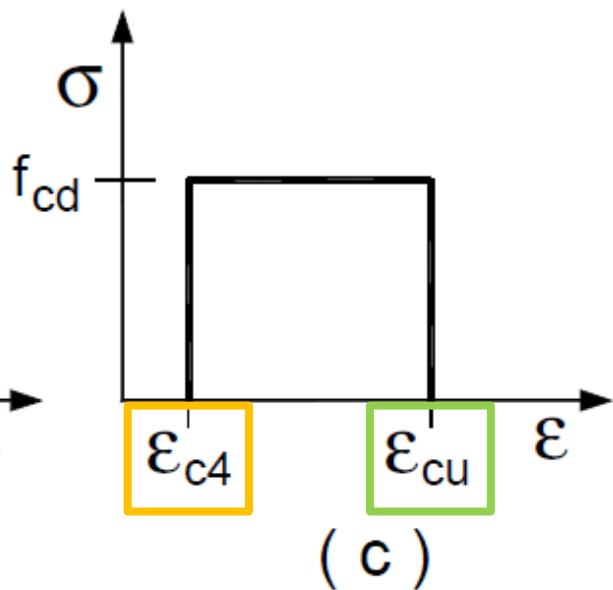
Stress-Block



$$\epsilon_{c2} = 0,20\%$$



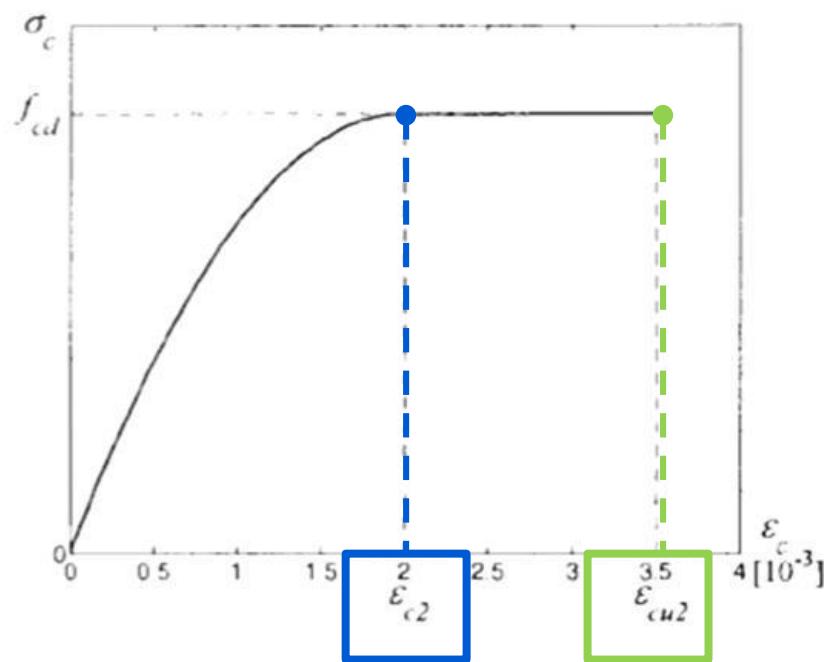
$$\epsilon_{c3} = 0,175\%$$



$$\epsilon_{c4} = 0,07\%$$

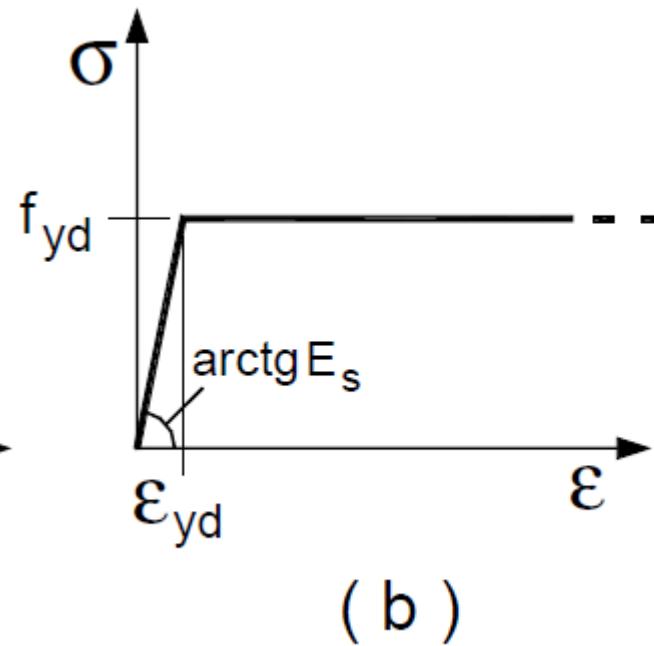
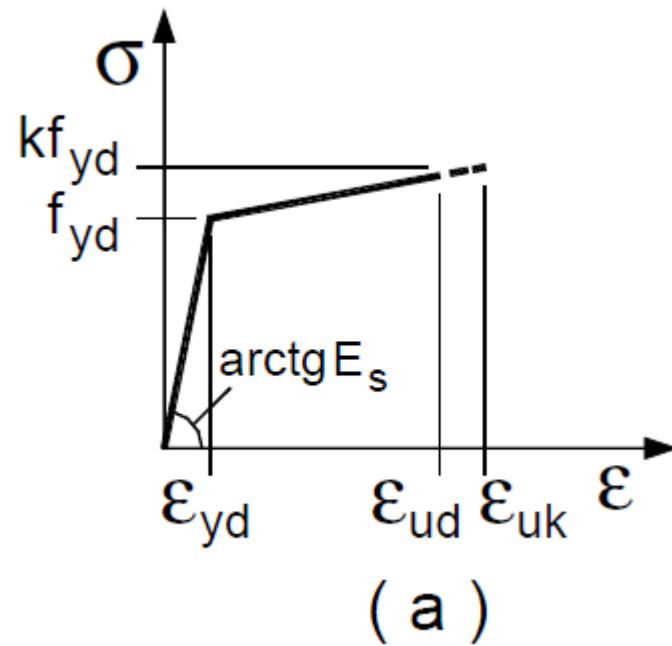
$$\epsilon_{cu} = 0,35\%$$

# SLU per Tensioni Normali: caratteristiche dei MATERIALI



- in sezioni soggette a compressione semplice, la deformazione specifica di compressione nel conglomerato è limitata a -0.002;
- per sezioni non completamente compresse la deformazione limite a compressione  $\varepsilon_{cu}$  nel conglomerato è pari a -0.0035;

## Diagrammi di calcolo tensione-deformazione dell'acciaio

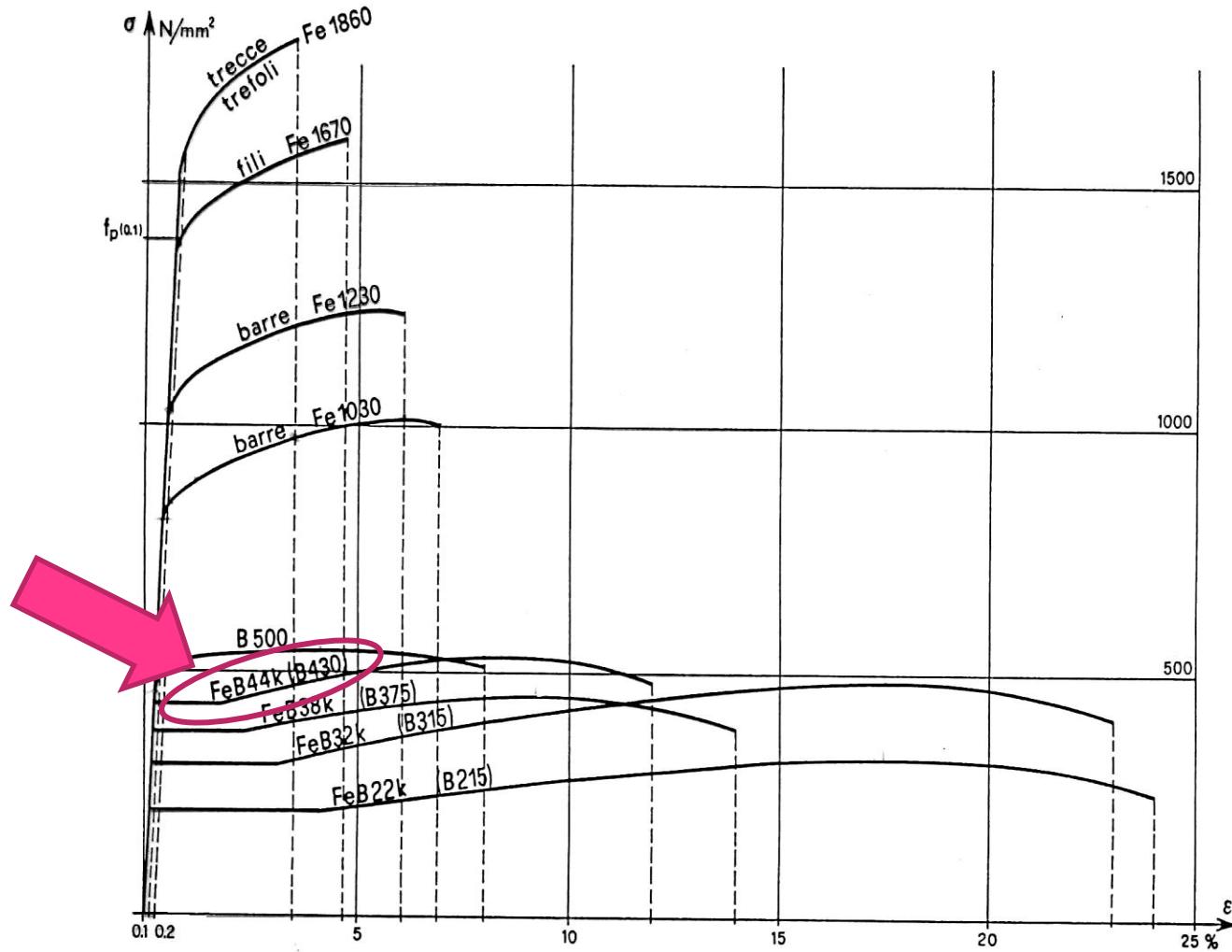


$$\epsilon_{ud} = 0,9\epsilon_{uk} \quad (\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k)$$

$$k = (f_t / f_y)_k \quad (\text{Tab. 11.3.Ia-b}).$$

$$\epsilon_{ud} = \infty$$

# SLU per Tensioni Normali: caratteristiche dei materiali Acciaio



# Acciaio per armatura lenta in strutture in c.a.

## 11.3.2 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili qualificati secondo le procedure di cui al precedente § 11.3.1.2 e controllati con le modalità riportate nel § 11.3.2.11.

### 11.3.2.1 Acciaio per cemento armato **B450C**

L'acciaio per cemento armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

**Tabella 11.3.Ia**

$f_y$ nom	450 N/mm <sup>2</sup>
$f_t$ nom	540 N/mm <sup>2</sup>

#### **4.1.2.1.1 Resistenze di calcolo dei materiali**

In accordo con il Cap. 11, le resistenze di calcolo  $f_d$  indicano le resistenze dei materiali, calcestruzzo ed acciaio, ottenute mediante l'espressione:

$$f_d = f_k / \gamma_M \quad (4.1.3)$$

dove:

$f_k$  sono le resistenze caratteristiche del materiale;

$\gamma_M$  sono i coefficienti parziali per le resistenze, comprensivi delle incertezze del modello e della geometria, che possono variare in funzione del materiale, della situazione di progetto e della particolare verifica in esame.

##### **4.1.2.1.1.1 Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo**

Per il calcestruzzo la resistenza di calcolo a compressione,  $f_{cd}$ , è:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad (4.1.4)$$

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.

#### **4.1.2.1.1.2 Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo**

La resistenza di calcolo a trazione,  $f_{ctd}$ , vale:

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c \quad (4.1.5)$$

dove:

$\gamma_c$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo già definito al § 4.1.2.1.1.1;

$f_{ctk}$  è la resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo (§ 11.2.10.2).

Il coefficiente  $\gamma_c$  assume il valore 1,5.

#### **4.1.2.1.1.3 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:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s \quad (4.1.6)$$

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 (v. § 11.3.2),

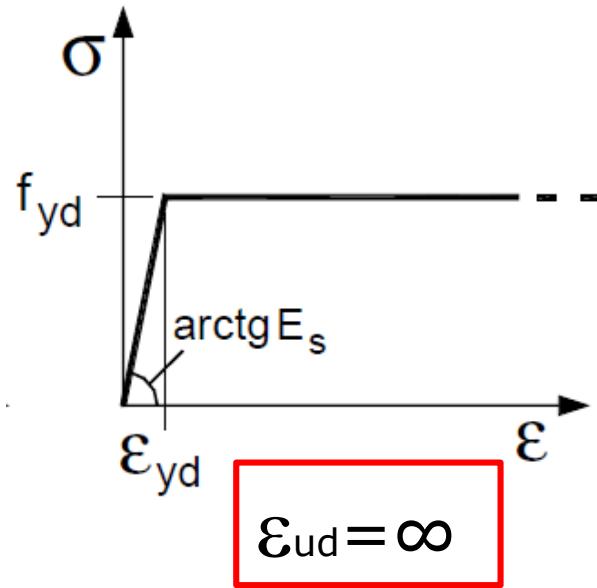
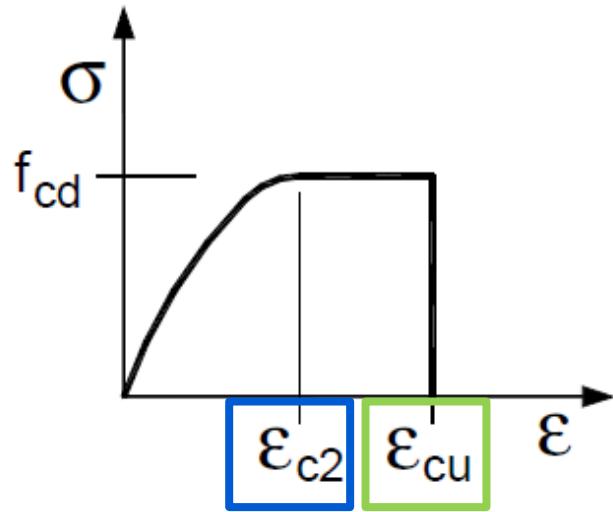
per armature da precompressione è la tensione convenzionale caratteristica di snervamento data, a seconda del tipo di prodotto, da  $f_{pyk}$  (barre),  $f_{p(0,1)k}$  (fili),  $f_{p(1)k}$  (trefoli e trecce); si veda in proposito la Tab. 11.3.VII.

Il coefficiente  $\gamma_s$  assume sempre, per tutti i tipi di acciaio, il valore 1,15.

# Resistenze di calcolo per Calcestruzzo di Classe C25/30 e Acciaio B450C

Rck 30, fck 25

$$\Rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 14.17 \text{ N/mm}^2$$

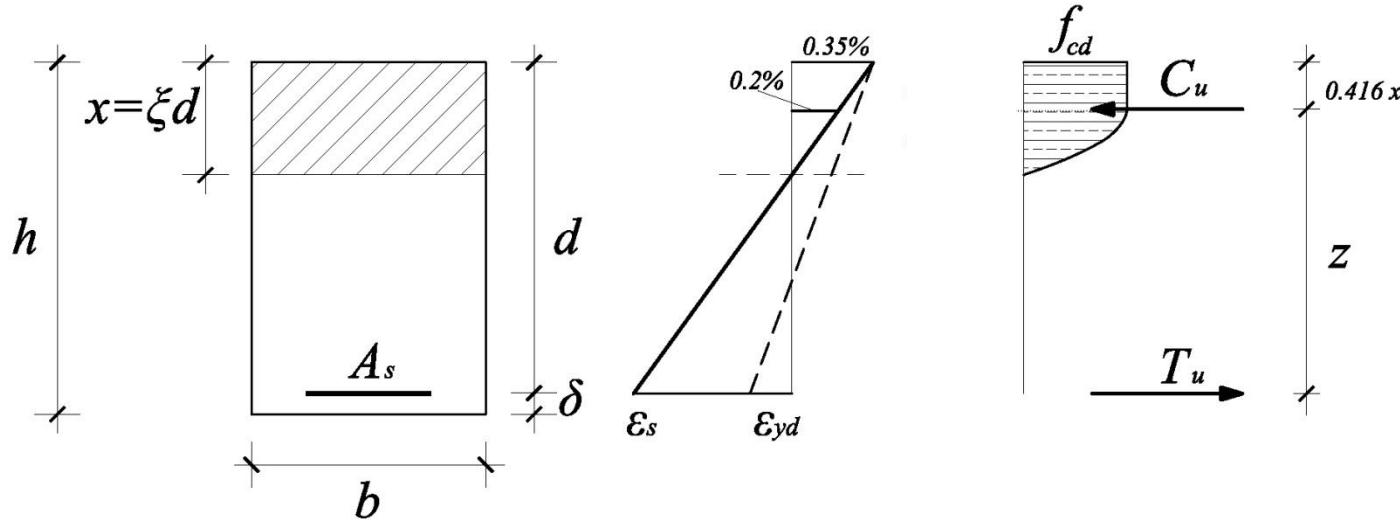


$$f_{yd} = 450 / 1.15 = 391 \text{ N/mm}^2$$

Acciaio B450C

$$\epsilon_{yd} = f_{yd}/E = 0.196\%$$

## FLESSIONE SEMPLICE RETTA: sezione rettangolare a semplice armatura



$$\xi = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_s} \quad (a)$$

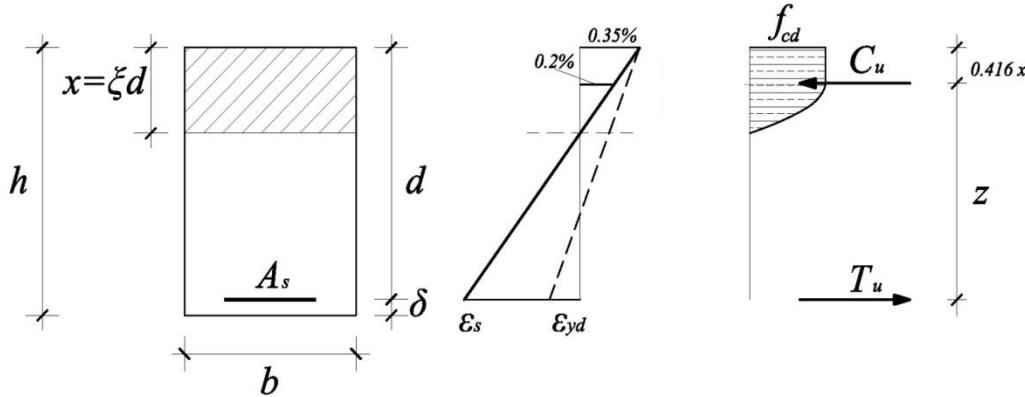
$$M_{Sd} = M_{Rd} = \begin{cases} C_u z = \kappa f_{cd} b d^2 \xi (1 - \eta \xi) & (b) \\ T_u z = f_{yd} \rho d^2 b (1 - \eta \xi) & (c) \end{cases}$$

### EQUAZIONI GENERALI

( $k$  coefficiente di riempimento;  
 $\eta$  coefficiente di posizione della risultante di compressione)

# FLESSIONE SEMPLICE RETTA: sezione rettangolare semplice armatura

## PROGETTO CONDIZIONATO



### DATI

Momento Agente:  $M_{Sd}$

Dimensioni della sezione:  $b, h$

Materiali: cls **C25/30**, acciaio **B450C**

### OBIETTIVO

Determinare  $A_s$

$$\xi = \frac{\varepsilon_{cu_2}}{\varepsilon_{cu_2} + \varepsilon_s} \quad (a)$$

$$M_{Sd} = M_{Rd} = \begin{cases} C_u z = 0.81 f_{cd} b d^2 \xi (1 - 0.416 \xi) & (b) \\ T_u z = f_{yd} \rho d^2 b (1 - 0.416 \xi) & (c) \end{cases}$$

- dalla (b) si ricava  $\xi$
- dalla (c) si ricava  $\rho$  e quindi  $A_s$
- dalla (a) si ricava  $\varepsilon_s$

# Uso delle TABELLE

Grandezze richiamate nel procedimento:

PERCENTUALE DI ARMATURA COMPRESSA:

$$\mu = A'_s / A_s$$

PERCENTUALE MECCANICA DI ARMATURA TESA

$$\omega = (A_s f_y d) / (b d f_c d),$$

MOMENTO ADIMENSIONALIZZATO

$$mrd = Mrd / (b d^2 f_c d)$$

# USO DELLE TABELLE : Il progetto condizionato

x/d	$\mu=0$		$\mu=20\%$		$\mu=40\%$		$\mu=60\%$		$\mu=80\%$		$\mu=100\%$		
	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	
0,0200	0,0162	0,0161	0,0135	0,0136	0,0116	0,0119	0,0101	0,0106	0,0090	0,0096	0,0081	0,0088	
0,0400	0,0324	0,0318	0,0270	0,0270	0,0231	0,0235	0,0202	0,0209	0,0180	0,0189	0,0162	0,0173	IIIa
0,0641	0,0519	0,0505	0,0433	0,0428	0,0371	0,0372	0,0325	0,0330	0,0288	0,0298	0,0260	0,0272	
0,0800	0,0648	0,0626	0,0594	0,0578	0,0549	0,0538	0,0511	0,0503	0,0477	0,0472	0,0447	0,0446	
0,1000	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	
0,1200	0,0971	0,0923	0,1033	0,0978	0,1103	0,1041	0,1183	0,1113	0,1276	0,1197	0,1384	0,1294	
0,1400	0,1133	0,1067	0,1262	0,1183	0,1425	0,1329	0,1635	0,1518	0,1917	0,1773	0,2318	0,2134	
0,1600	0,1295	0,1209	0,1496	0,1390	0,1770	0,1637	0,2168	0,1994	0,2795	0,2559	0,3935	0,3585	
0,1800	0,1457	0,1348	0,1733	0,1596	0,2137	0,1960	0,2786	0,2544	0,4004	0,3640	0,7110	0,6436	
0,2000	0,1619	0,1484	0,1972	0,1802	0,2521	0,2296	0,3494	0,3172	0,5692	0,5150	1,5338	1,3832	
0,2268	0,1836	0,1663	0,2295	0,2076	0,3059	0,2764	0,4589	0,4141	0,9178	0,8271	/	/	
0,2400	0,1943	0,1749	0,2429	0,2186	0,3238	0,2915	0,4857	0,4372	0,9714	0,8743	/	/	
0,2600	0,2105	0,1877	0,2631	0,2351	0,3508	0,3140	0,5262	0,4719	1,0524	0,9454	/	/	
0,2800	0,2267	0,2003	0,2833	0,2513	0,3778	0,3363	0,5667	0,5063	1,1333	1,0163	/	/	
0,3000	0,2429	0,2126	0,3036	0,2672	0,4048	0,3583	0,6071	0,5404	1,2143	1,0868	/	/	
0,3200	0,2590	0,2246	0,3238	0,2829	0,4317	0,3800	0,6476	0,5743	1,2952	1,1571	/	/	
0,3400	0,2752	0,2363	0,3440	0,2982	0,4587	0,4015	0,6881	0,6079	1,3762	1,2272	/	/	
0,3600	0,2914	0,2478	0,3643	0,3134	0,4857	0,4226	0,7286	0,6412	1,4571	1,2969	/	/	
0,3800	0,3076	0,2590	0,3845	0,3282	0,5127	0,4436	0,7690	0,6743	1,5381	1,3664	/	/	
0,4000	0,3238	0,2699	0,4048	0,3428	0,5397	0,4642	0,8095	0,7071	1,6190	1,4356	/	/	IIIC
0,4200	0,3400	0,2806	0,4250	0,3571	0,5867	0,4846	0,8500	0,7396	1,7000	1,5046	/	/	
0,4400	0,3562	0,2910	0,4452	0,3711	0,5937	0,5047	0,8905	0,7719	1,7810	1,5733	/	/	
0,4600	0,3724	0,3011	0,4655	0,3849	0,6206	0,5246	0,9310	0,8038	1,8619	1,6417	/	/	
0,4800	0,3886	0,3110	0,4857	0,3984	0,6476	0,5441	0,9714	0,8356	1,9429	1,7098	/	/	
0,5000	0,4048	0,3206	0,5060	0,4117	0,6746	0,5634	1,0119	0,8670	2,0238	1,7777	/	/	
0,5500	0,4452	0,3434	0,5565	0,4436	0,7421	0,6105	0,9444		$M_{Rd}$	$\mu$			
0,6000	0,3645	0,6077	0,38	0,8095	0,6559	0,202			$m_{Rd}$	62			
0,6200	0,3807	0,6497	0,75	0,8654	0,6923	1,2981	1,0817						$M_{Rd}$
0,6414									2,5963	2,2500	/	/	

Tab. 8.4 - Momento adattato alla resistenza attuale meccanica al variare della posizione dell'asse neutro per sezioni con diverse percentuali di acciaio (per i calcestruzzi a molto bassa, bassa e media resistenza e acciaio a duttilità illimitata)

$$\omega = \frac{A_s}{bd} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

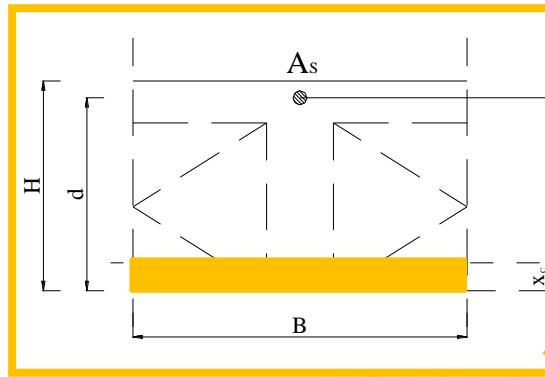
$$A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd}$$

La quantità  $A_s$  viene inserita nelle formule commerciali e quindi si effettua la verifica finale

# **PROGETTO DEL TRAVETTO DEL SOLAIO**

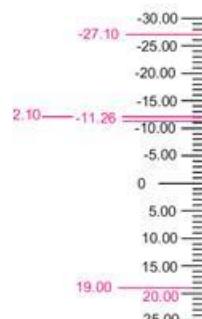
Operazioni già effettuate:

- Predimensionamento del solaio (**H=25+5cm**);
- Analisi dei carichi unitaria solaio e analisi dei carichi per il travetto (**G1, G2, Q...**);
- Soluzione delle diverse condizioni di carico che realizzano i momenti massimi in campata e sugli appoggi (**Schemi di “carico e scarico”**);
- Disegno del diagramma di inviluppo del momento e del taglio (**Massime sollecitazioni di calcolo**).



19.0

20.0



$$\frac{1}{18} qL^2$$

19.00

20.00

-12.10

-1.80

5,7 m

6,2 m

1,7 m

-27.10

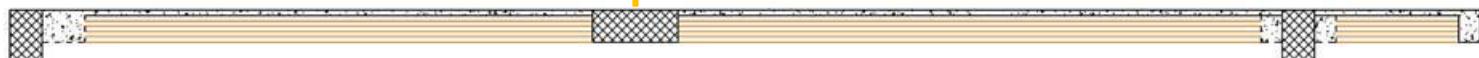
-4.10

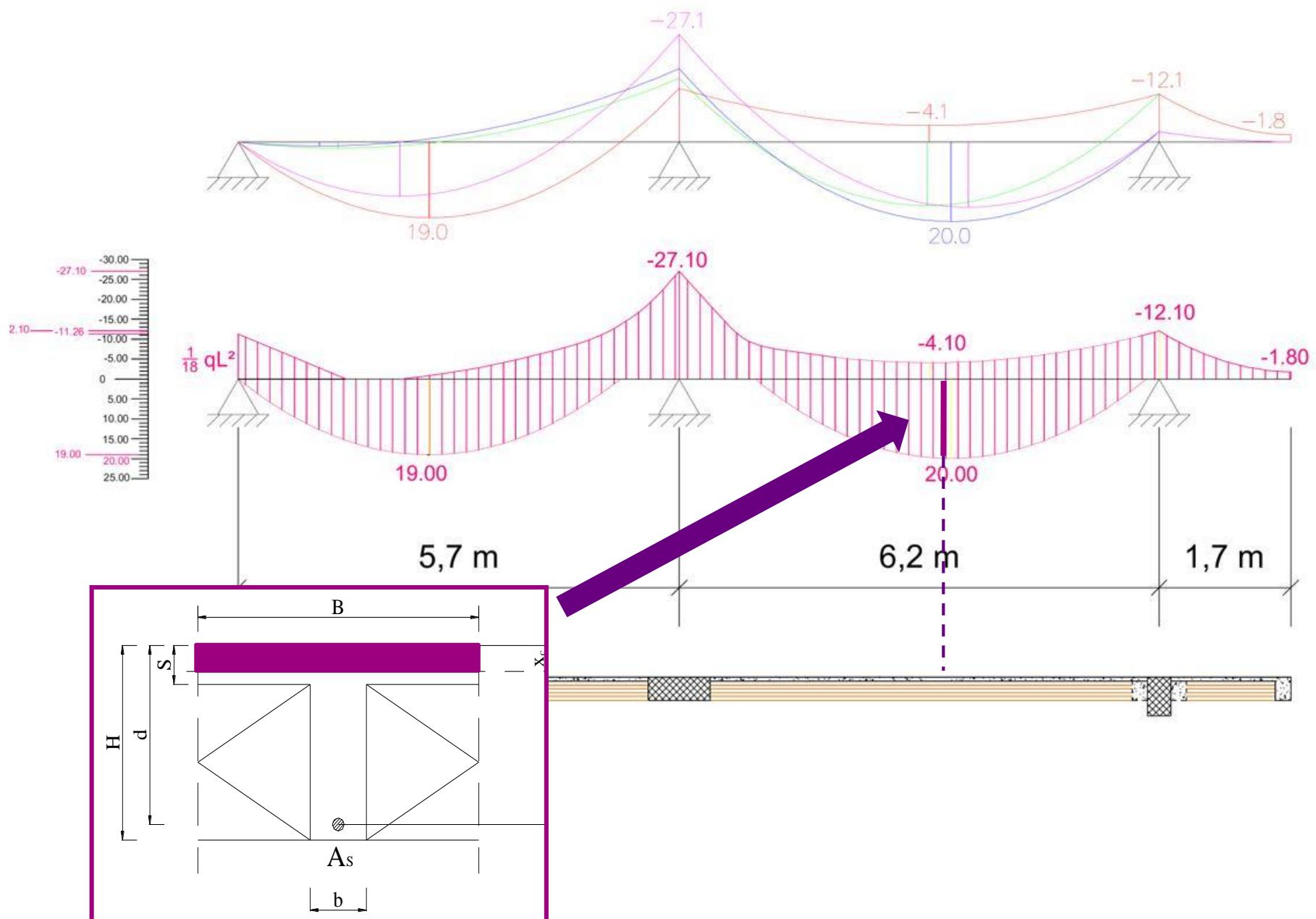
-27.1

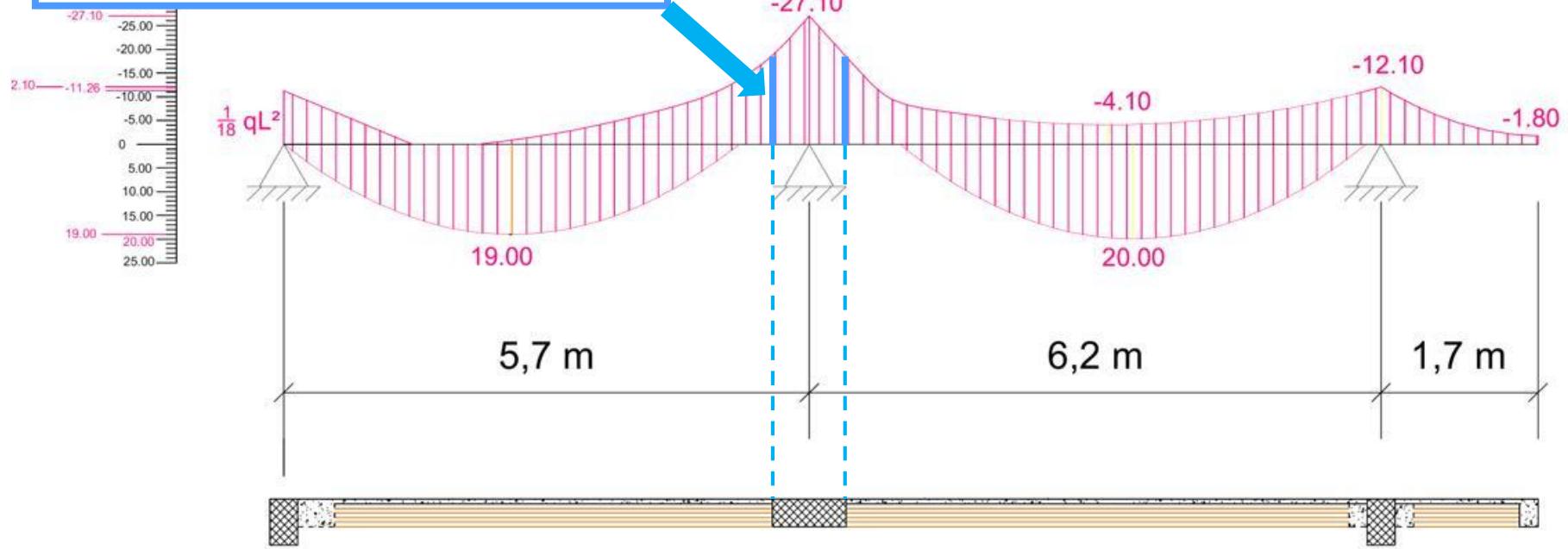
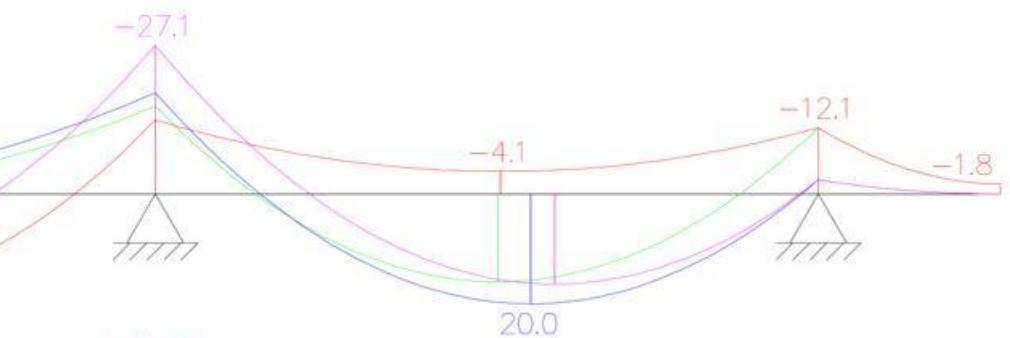
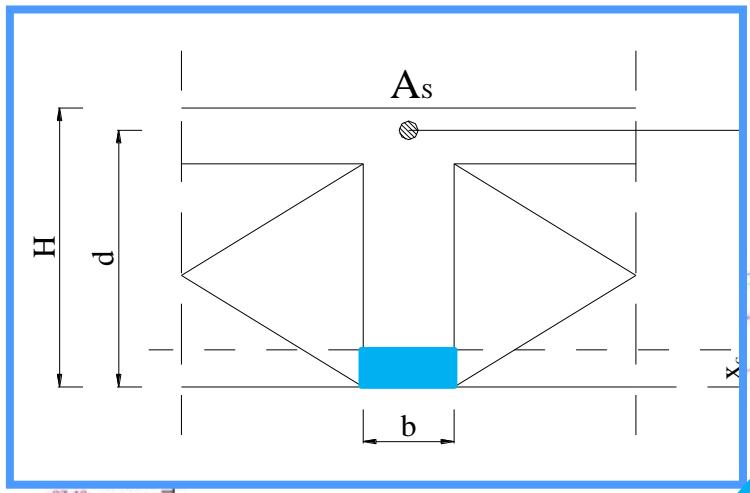
-4.1

-12.1

-1.8







## I PASSO:

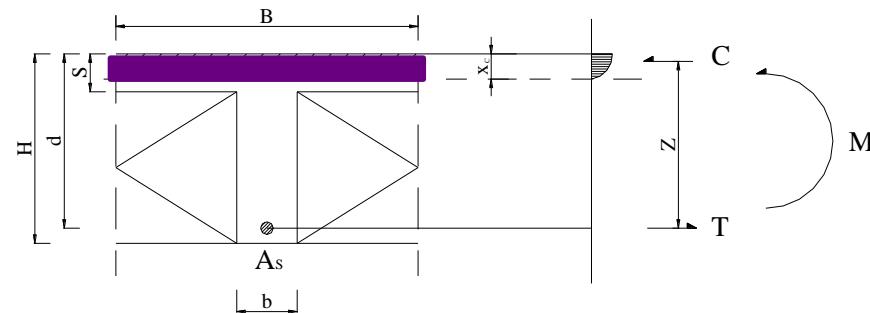
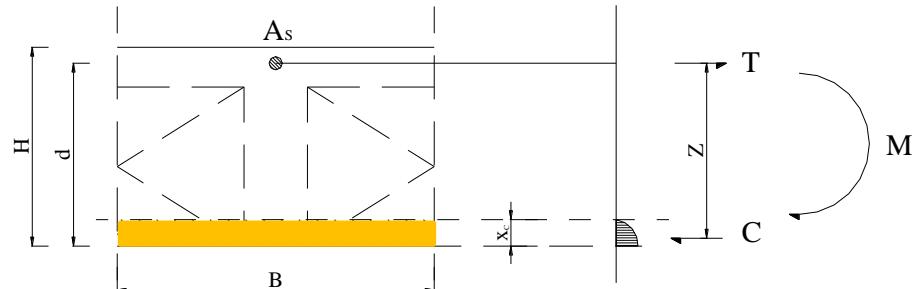
Progetto condizionato della sezione sull'appoggio più sollecitato: B; definizione armature commerciali

Dati:  $M_{B,}^-, B, b, H, d, s,$

## II PASSO:

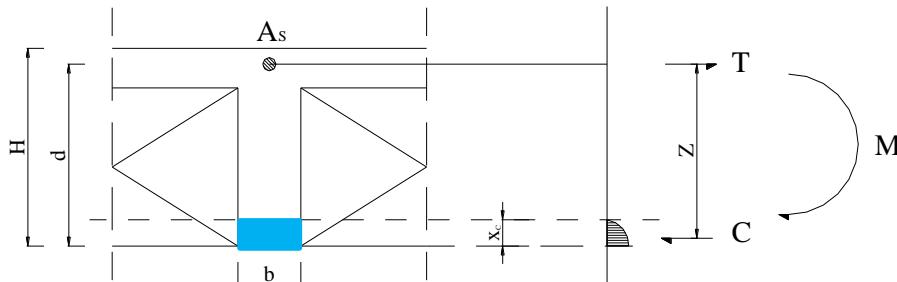
Progetto condizionato della sezione della sezione in campata; definizione armature commerciali

Dati:  $M_{AB,}^+, B, b, H, d, s,$



III PASSO: Verifica delle sezioni.

IV PASSO: Verifica sezioni a filo.



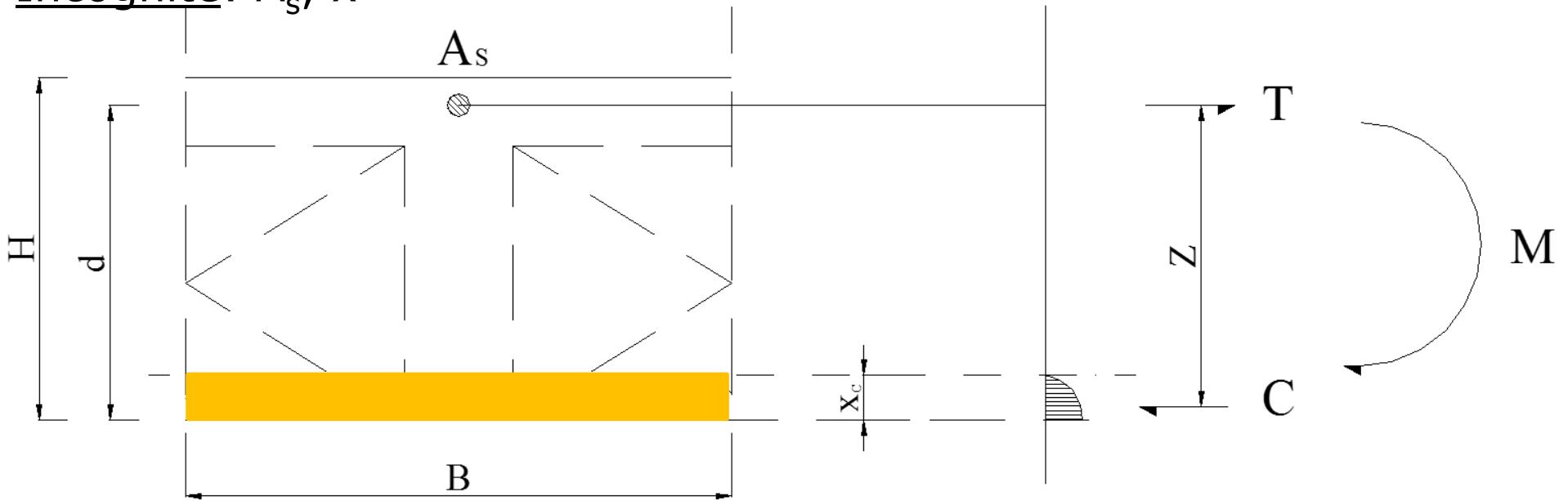
## V PASSO:

Calcolo del diagramma dei momenti resistenti

**I PASSO:** Progetto condizionato della sezione sull'appoggio.

Dati:  $M_B$ ,  $B$ ,  $b$ ,  $H$ ,  $d$ ,  $s$ ,  $f_{yd}$   $f_{cd}$

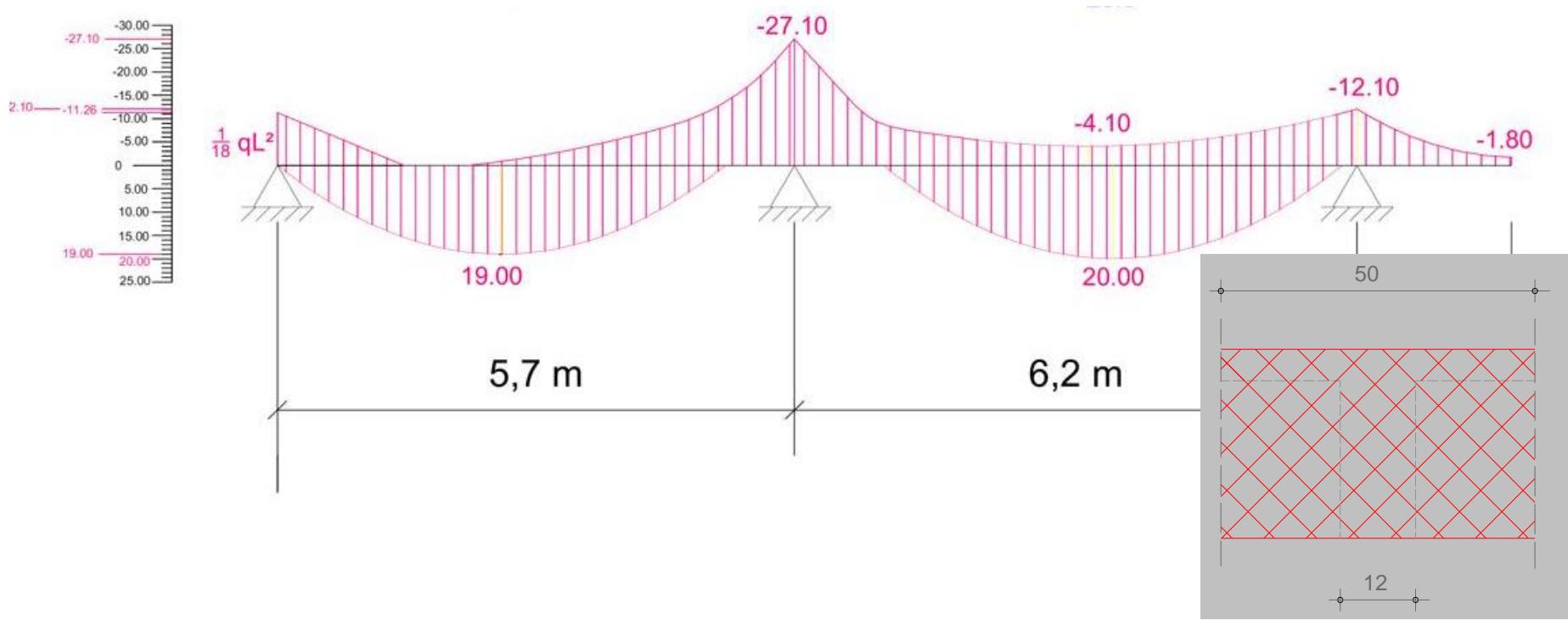
Incognite:  $A_s$ ,  $x$



Noto il valore minimo di  $A_s$ , è quindi possibile fissare l'area di ferro commerciale, ricordando sempre che, onde evitare "confusione" nel posizionamento dei ferri in cantiere, è consigliabile ricorrere a *terne di diametri* con uno scarto di 4 mm tra un ferro e l'altro.

$\Phi 8 - \Phi 12 - \Phi 16$

$\Phi 10 - \Phi 14 - \Phi 18$



## Materiali

C25/30	$R_{ck}$	30 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	14.1 N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$		450 N/mm <sup>2</sup>	$f_{yd}$	391.3 N/mm <sup>2</sup>

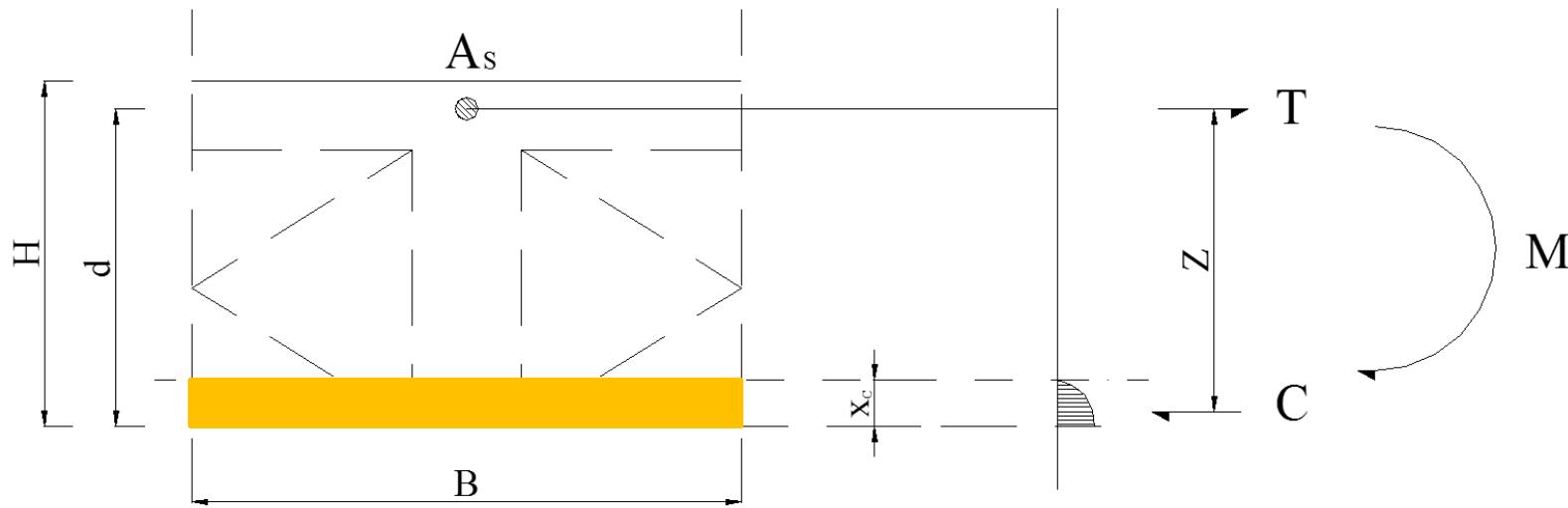
## Geometria sezione

B	500 mm	h	300 mm
$\delta$	30 mm	d	270 mm

Momento sul secondo appoggio (B)

**$M_{Sd}$     27100 N m**

## I PASSO: progetto condizionato della sezione sull'appoggio B



appoggio B

$$M_{Sd} = 27100 \text{ N m} \rightarrow$$

$$m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0.0525$$

B

$m_{Rd}=m_{Rd\min}$  è il minimo momento resistente da realizzare in quella sezione

x/d	$\mu=0$		$\mu=20\%$		$\mu=40\%$		$\mu=60\%$		$\mu=80\%$		$\mu=100\%$		IIIa
	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	
0,0200	0,0112	0,161	0,0135	0,0136	0,0116	0,0119	0,0101	0,0106	0,0090	0,0096	0,0081	0,0088	
0,0400	0,0514	0,118	0,0270	0,0270	0,0231	0,0235	0,0202	0,0209	0,0180	0,0189	0,0162	0,0173	
0,0641	0,0519	0,0505	0,0433	0,0428	0,0371	0,0372	0,0325	0,0330	0,0288	0,0298	0,0260	0,0272	IIIa
0,0800	0,0648	0,0626	0,0594	0,0578	0,0549	0,0538	0,0511	0,0503	0,0477	0,0472	0,0447	0,0446	
0,1000	0,0810	0,076	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	
0,1200	0,0971	0,0923	0,1033	0,0978	0,1103	0,1041	0,1183	0,1113	0,1276	0,1197	0,1384	0,1294	
0,1400	0,1133	0,1067	0,1262	0,1183	0,1425	0,1329	0,1635	0,1518	0,1917	0,1773	0,2318	0,2134	
0,1600	0,1295	0,1209	0,1496	0,1390	0,1770	0,1637	0,2168	0,1994	0,2795	0,2559	0,3935	0,3585	
0,1800	0,1457	0,1348	0,1733	0,1596	0,2137	0,1960	0,2786	0,2544	0,4004	0,3640	0,7110	0,6436	
0,2000	0,1619	0,1484	0,1972	0,1802	0,2521	0,2296	0,3494	0,3172	0,5692	0,5150	1,5338	1,3832	
0,2268	0,1836	0,1663	0,2295	0,2076	0,3059	0,2764	0,4589	0,4141	0,9178	0,8271	/	/	
0,2400	0,1943	0,1749	0,2429	0,2186	0,3238	0,2915	0,4857	0,4372	0,9714	0,8743	/	/	

$$m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0,0525$$

compreso tra

$$m_{Rd\_min} = 0,0505$$

$$m_{Rd\_max} = 0,0626$$

$$\omega_{min} = 0,0519$$

$$\omega_{max} = 0,0648$$

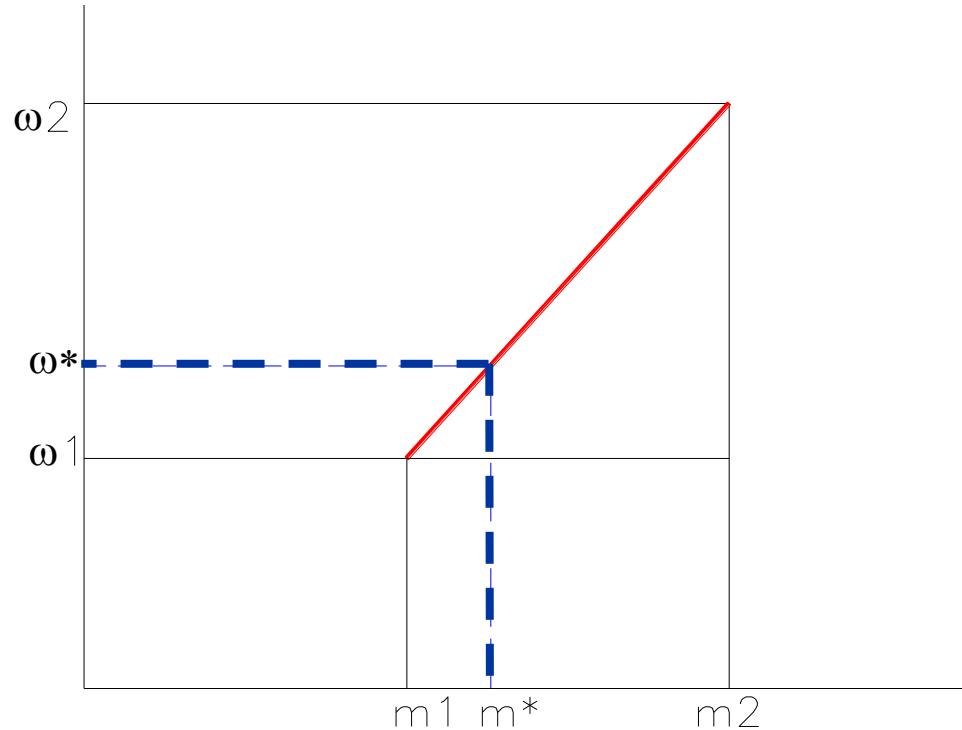
cui corrispondono rispettivamente

È possibile interpolare linearmente, oppure, a vantaggio di sicurezza, considerare il valore più grande,  $\omega = \omega_{max}$ .

Con questa scelta si ottiene:

$$A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd} = 3,17 \text{ cm}^2 \rightarrow 2\Phi16 = 4,02 \text{ cm}^2$$

## Esempio di Interpolazione per il calcolo di $\omega^*$



$$\omega^* = \omega_1 + \frac{m^* - m_1}{m_2 - m_1} (\omega_2 - \omega_1)$$

x/d	$\mu=0$		$\mu=20\%$		$\mu=40\%$		$\mu=60\%$		$\mu=80\%$		$\mu=100\%$		
	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	
0,0200	0,0112	0,161	0,0135	0,0136	0,0116	0,0119	0,0101	0,0106	0,0090	0,0096	0,0081	0,0088	IIIa
0,0400	0,0514	0,118	0,0270	0,0270	0,0231	0,0235	0,0202	0,0209	0,0180	0,0189	0,0162	0,0173	
0,0641	0,0519	0,0505	0,0433	0,0428	0,0371	0,0372	0,0325	0,0330	0,0288	0,0298	0,0260	0,0272	
0,0800	0,0648	0,0626	0,0594	0,0578	0,0549	0,0538	0,0511	0,0503	0,0477	0,0472	0,0447	0,0446	
0,1000	0,0810	0,076	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	
0,1200	0,0971	0,0923	0,1033	0,0978	0,1103	0,1041	0,1183	0,1113	0,1276	0,1197	0,1384	0,1294	
0,1400	0,1133	0,1067	0,1262	0,1183	0,1425	0,1329	0,1635	0,1518	0,1917	0,1773	0,2318	0,2134	
0,1600	0,1295	0,1209	0,1496	0,1390	0,1770	0,1637	0,2168	0,1994	0,2795	0,2559	0,3935	0,3585	
0,1800	0,1457	0,1348	0,1733	0,1596	0,2137	0,1960	0,2786	0,2544	0,4004	0,3640	0,7110	0,6436	
0,2000	0,1619	0,1484	0,1972	0,1802	0,2521	0,2296	0,3494	0,3172	0,5692	0,5150	1,5338	1,3832	
0,2268	0,1836	0,1663	0,2295	0,2076	0,3059	0,2764	0,4589	0,4141	0,9178	0,8271	/	/	
0,2400	0,1943	0,1749	0,2429	0,2186	0,3238	0,2915	0,4857	0,4372	0,9714	0,8743	/	/	

$$m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0,0525$$

compreso tra

$$m_{Rd\_min} = 0,0505$$

$$m_{Rd\_max} = 0,0626$$

cui corrispondono rispettivamente

$$\omega_{min} = 0,0519$$

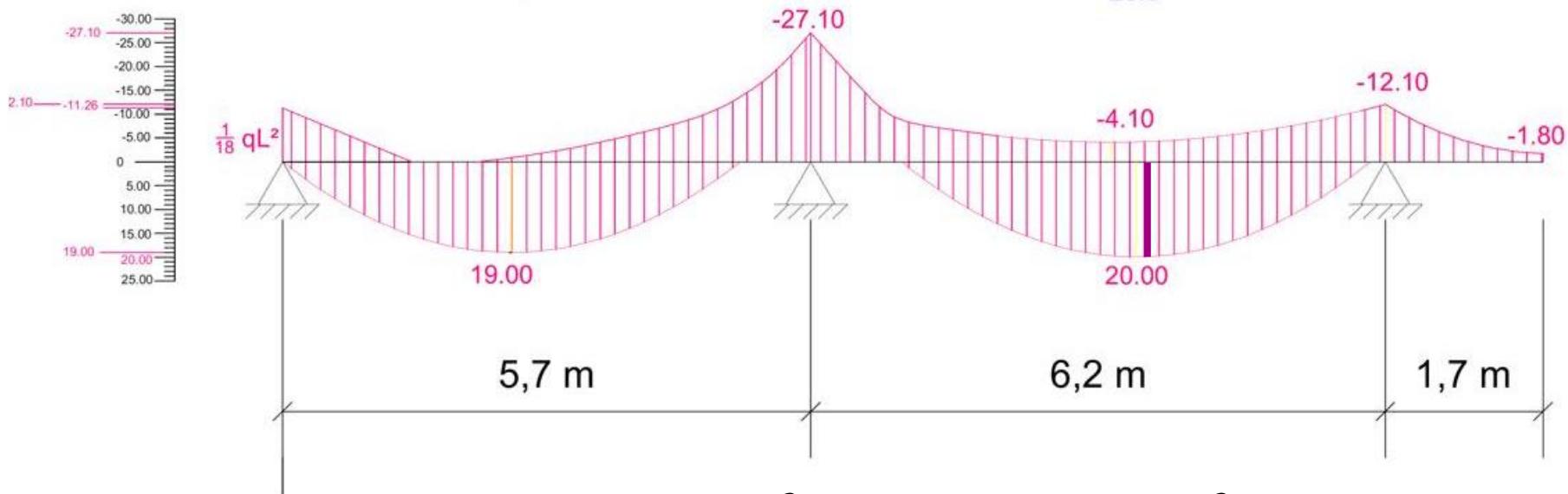
$$\omega_{max} = 0,0648$$

$$\omega^* = 0,0540$$

**II PASSO:** progetto condizionato della sezione in campata

Dati:  $M^+$ ,  $B$ ,  $b$ ,  $H$ ,  $d$ ,  $s$ ,  $f_{yd}$   $f_{cd}$

Incognite:  $A_s$ ,  $x$



Materiali

C25/30  $R_{ck}$  30 N/mm $^2$   $f_{cd}$  14.1 N/mm $^2$   
 $f_{yk}$  450 N/mm $^2$   $f_{yd}$  391.3 N/mm $^2$

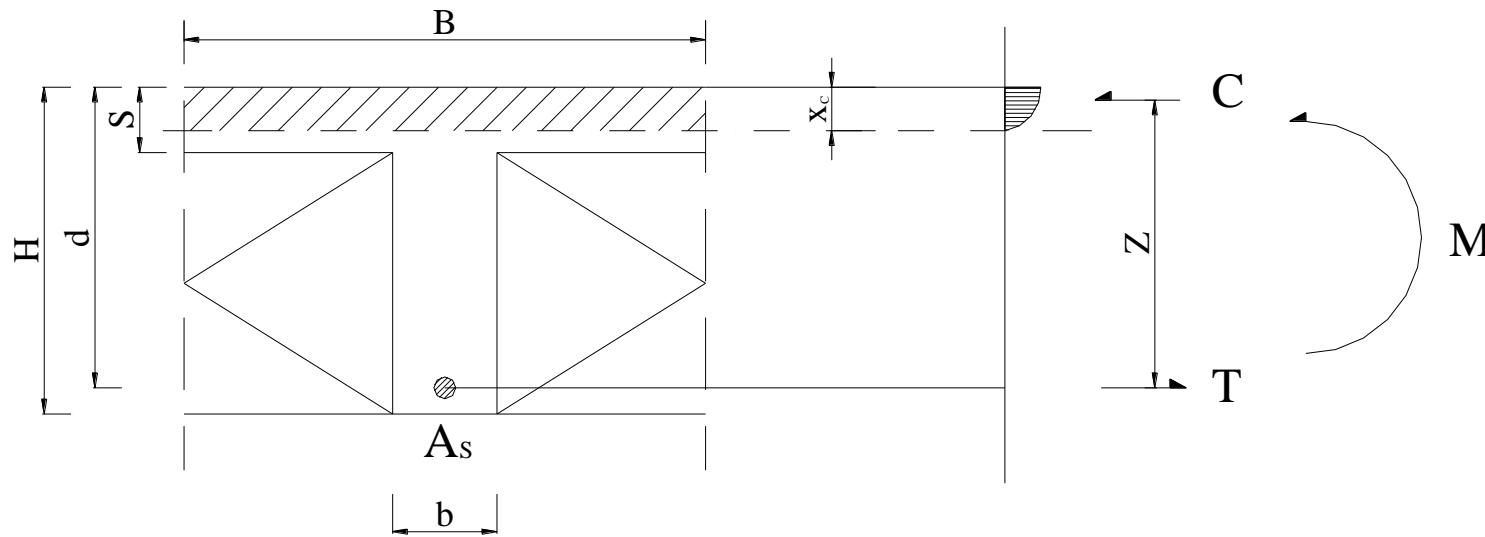
Geometria  
sezione

$B$  500 mm  $h$  300 mm  
 $\delta$  40 mm  $d$  260 mm

Momento nella campata BC

**$M_{Sd}$  20000 N m**

## II PASSO: progetto condizionato della sezione in campata

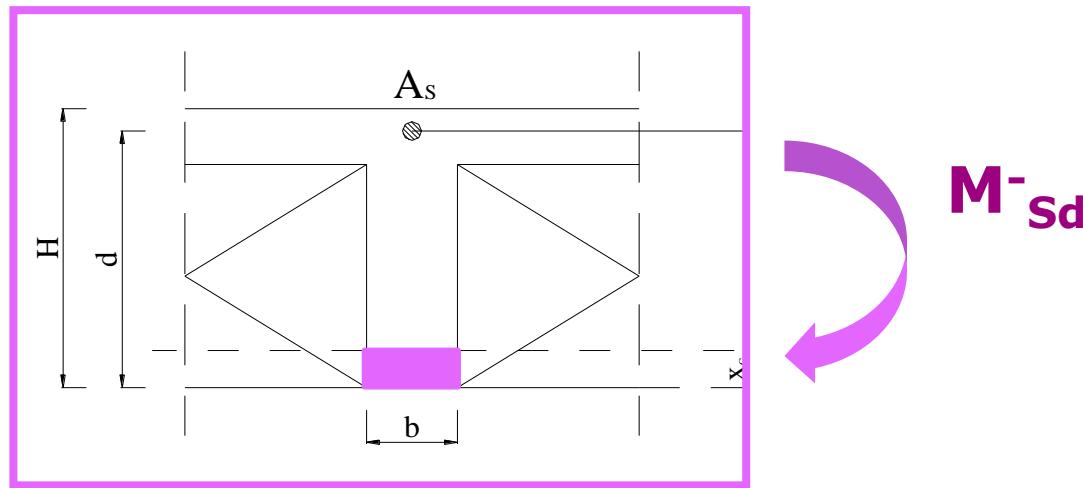


Campata BC       $M_{Sd} = 20000 \text{ N m}$        $m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0.0387$

$$m_{Rd\_max} = 0.0505 \rightarrow \omega_{max} = 0.0519 \rightarrow A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd} = 2.54 \text{ cm}^2$$

x/d	$\mu=0$		$\mu=20\%$		$\mu=40\%$		$\mu=60\%$		$\mu=80\%$		$\mu=100\%$	
	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd
0,0200	0,0162	0,0161	0,0135	0,0136	0,0116	0,0119	0,0101	0,0106	0,0090	0,0096	0,0081	0,0088
0,0400	0,0324	0,0318	0,0270	0,0270	0,0231	0,0235	0,0202	0,0209	0,0180	0,0189	0,0162	0,0173
0,0641	0,0519	0,0505	0,0433	0,0428	0,0371	0,0372	0,0325	0,0330	0,0288	0,0298	0,0260	0,0272
0,0800	0,0648	0,0626	0,0594	0,0578	0,0549	0,0538	0,0511	0,0503	0,0477	0,0472	0,0447	0,0446
0,1000	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776
0,1200	0,0971	0,0923	0,1033	0,0978	0,1103	0,1041	0,1183	0,1113	0,1276	0,1197	0,1384	0,1294
0,1400	0,1133	0,1067	0,1262	0,1183	0,1425	0,1329	0,1635	0,1518	0,1917	0,1773	0,2318	0,2134
0,1600	0,1295	0,1209	0,1496	0,1390	0,1770	0,1637	0,2168	0,1994	0,2795	0,2559	0,3935	0,3585
0,1800	0,1457	0,1348	0,1733	0,1596	0,2137	0,1960	0,2786	0,2544	0,4004	0,3640	0,7110	0,6436

## II PASSO: progetto condizionato della sezione in campata



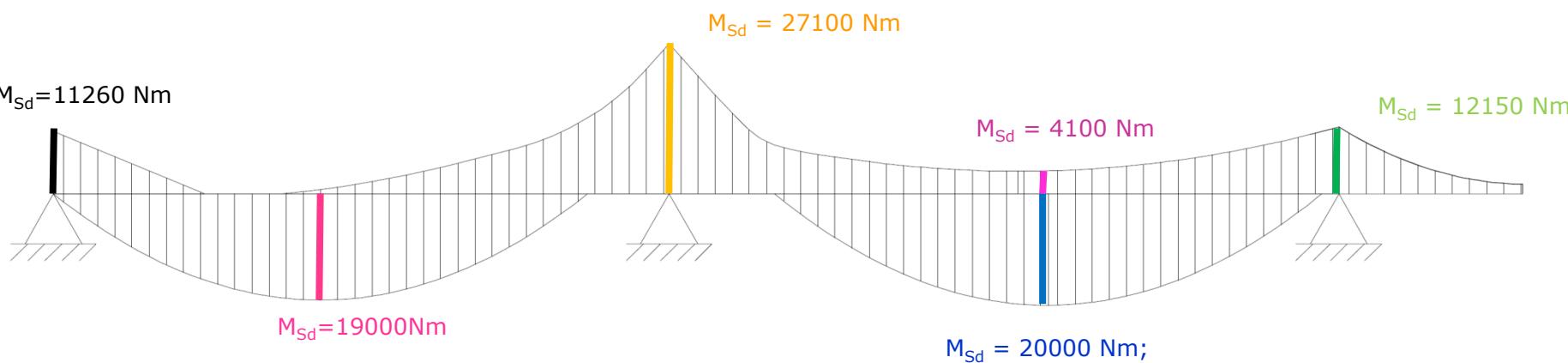
Campata BC       $M^-_{Sd} = 4100 \text{ N m}$        $m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0.0357$

$$m_{Rd\_max} = 0.0505 \rightarrow \omega_{max} = 0.0519 \rightarrow A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd} = 0.61 \text{ cm}^2$$

x/d	$\mu=0$		$\mu=20\%$		$\mu=40\%$		$\mu=60\%$		$\mu=80\%$		$\mu=100\%$	
	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd
0,0200	0,0162	0,0161	0,0135	0,0136	0,0116	0,0119	0,0101	0,0106	0,0090	0,0096	0,0081	0,0088
0,0400	0,0324	0,0318	0,0270	0,0270	0,0231	0,0235	0,0202	0,0209	0,0180	0,0189	0,0162	0,0173
0,0641	0,0519	0,0505	0,0433	0,0428	0,0371	0,0372	0,0325	0,0330	0,0288	0,0298	0,0260	0,0272
0,0800	0,0648	0,0626	0,0594	0,0578	0,0549	0,0538	0,0511	0,0503	0,0477	0,0472	0,0447	0,0446
0,1000	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776
0,1200	0,0971	0,0923	0,1033	0,0978	0,1103	0,1041	0,1183	0,1113	0,1276	0,1197	0,1384	0,1294
0,1400	0,1133	0,1067	0,1262	0,1183	0,1425	0,1329	0,1635	0,1518	0,1917	0,1773	0,2318	0,2134
0,1600	0,1295	0,1209	0,1496	0,1390	0,1770	0,1637	0,2168	0,1994	0,2795	0,2559	0,3935	0,3585
0,1800	0,1457	0,1348	0,1733	0,1596	0,2137	0,1960	0,2786	0,2544	0,4004	0,3640	0,7110	0,6436

IIIa

IIIb



$$\text{appoggio A} \quad M_{Sd} = 11260 \text{ Nm}; \quad m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0.0235; \quad m_{Rd\_max} = 0.0318; \quad \omega_{\max} = 0.0324; \quad A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd} = 1.58 \text{ cm}^2$$

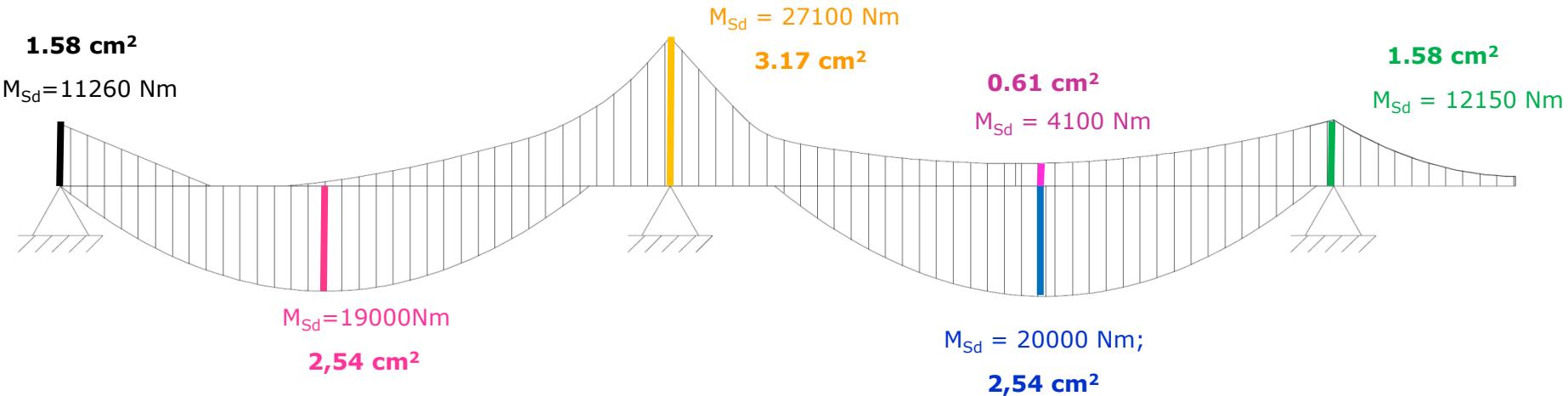
campata A-B  $M_{Sd} = 19000 \text{ Nm}$ ;  $m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0.0397$ ;  $m_{Rd\_max} = 0.0505$ ;  $\omega_{max} = 0.0519$ ;  $A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd} = 2,53 \text{ cm}^2$

$$\text{appoggio B} \quad M_{Sd} = 27100 \text{ Nm}; \quad m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0.0566; \quad m_{Rd\_max} = 0.0626; \quad \omega_{\max} = 0.0648; \quad A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd} = 3.16 \text{ cm}^2$$

campata B-C  $M_{Sd} = 20000 \text{ Nm}$ ;  $m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0.0418$ ;  $m_{Rd\_max} = 0.0505$ ;  $\omega_{max} = 0.0519$ ;  $A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd} = 2,54 \text{ cm}^2$

$$\text{campata B-C} \quad M_{Sd} = 4100 \text{ Nm}; \quad m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0.0357 \quad m_{Rd\_max} = 0.0505; \quad \omega_{\max} = 0.0519; \quad A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd} = 0.61 \text{ cm}^2$$

$$\text{appoggio C} \quad M_{Sd} = 12150 \text{ Nm}; \quad m_{Rd} = \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{cd}} = 0.0253; \quad m_{Rd\_max} = 0.0318; \quad \omega_{\max} = 0.0324; \quad A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd} = 1.58 \text{ cm}^2$$

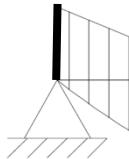


Diametro	$\varphi 8$	$\varphi 10$	$\varphi 12$	$\varphi 14$	$\varphi 16$	$\varphi 18$
<b>As [cmq]</b>	0.50	0.79	1.13	1.54	2.01	2.54



**1.58 cm<sup>2</sup>**

$M_{Sd} = 11260 \text{ Nm}$



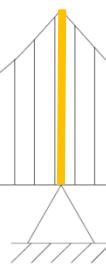
$M_{Sd} = 19000 \text{ Nm}$   
**2,54 cm<sup>2</sup>**

$M_{Sd} = 27100 \text{ Nm}$

**3.17 cm<sup>2</sup>**

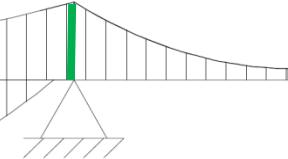
**0.61 cm<sup>2</sup>**

$M_{Sd} = 4100 \text{ Nm}$



**1.58 cm<sup>2</sup>**

$M_{Sd} = 12150 \text{ Nm}$



$M_{Sd} = 20000 \text{ Nm};$   
**2,54 cm<sup>2</sup>**

Diametro	$\varphi 8$	$\varphi 10$	$\varphi 12$	$\varphi 14$	$\varphi 16$	$\varphi 18$
<b>As [cmq]</b>	0.50	0.79	1.13	1.54	2.01	2.54

**2Φ16 = 4.02 cm<sup>2</sup>**

**2Φ12 = 2.26 cm<sup>2</sup>**

**1Φ12 + 1Φ16 = 3.14 cm<sup>2</sup>**

#### 4.1.6.1.1 *Armatura delle travi*

L'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a

$$A_{s,\min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \text{ e comunque non minore di } 0,0013 \cdot b_t \cdot d, \quad (4.1.43)$$

dove:

$b_t$  rappresenta la larghezza media della zona tesa; per una trave a T con piattabanda compressa, nel calcolare il valore di  $b_t$  si considera solo la larghezza dell'anima;

$d$  è l'altezza utile della sezione;

$f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione assiale definita nel § 11.2.10.2;

$f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

Negli appoggi di estremità all'intradosso deve essere disposta un'armatura efficacemente ancorata, calcolata per uno sforzo di trazione pari al taglio.

Al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura tesa o compressa non deve superare individualmente  $A_{s,\max} = 0,04 A_c$ , essendo  $A_c$  l'area della sezione trasversale di calcestruzzo.



# Le prescrizioni delle NTC

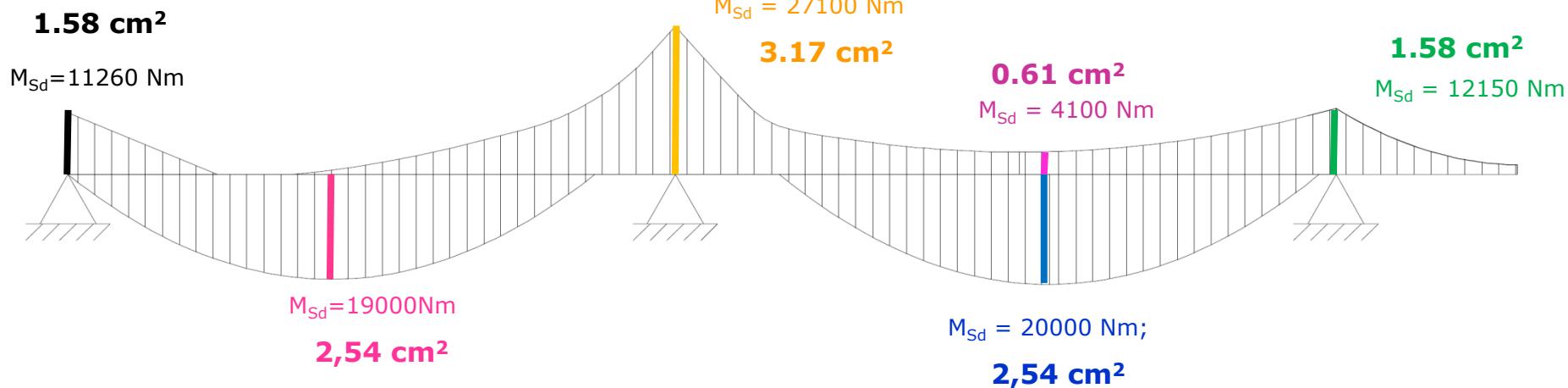
## 4.1.2.1.8 *Verifica dell'aderenza delle barre di acciaio con il calcestruzzo*

L'ancoraggio delle barre, sia tese che compresse, deve essere oggetto di specifica verifica.

La verifica di ancoraggio deve tenere conto, qualora necessario, dell'effetto d'insieme delle barre e della presenza di eventuali armature trasversali e di confinamento.

L'ancoraggio delle barre può essere utilmente migliorato mediante uncini terminali. Se presenti, gli uncini dovranno avere raggio interno adeguato, tale da evitare danni all'armatura e, ai fini dell'aderenza, essi possono essere computati nella effettiva misura del loro sviluppo in asse alla barra. In assenza degli uncini la lunghezza di ancoraggio deve essere in ogni caso non minore di 20 diametri, con un minimo di 150 mm.

Particolari cautele devono essere adottate quando si possono prevedere fenomeni di fatica e di sollecitazioni ripetute.



$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} \cdot b_t \cdot d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t \cdot d$$

$$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3} \text{ per classi} \leq C50/60$$

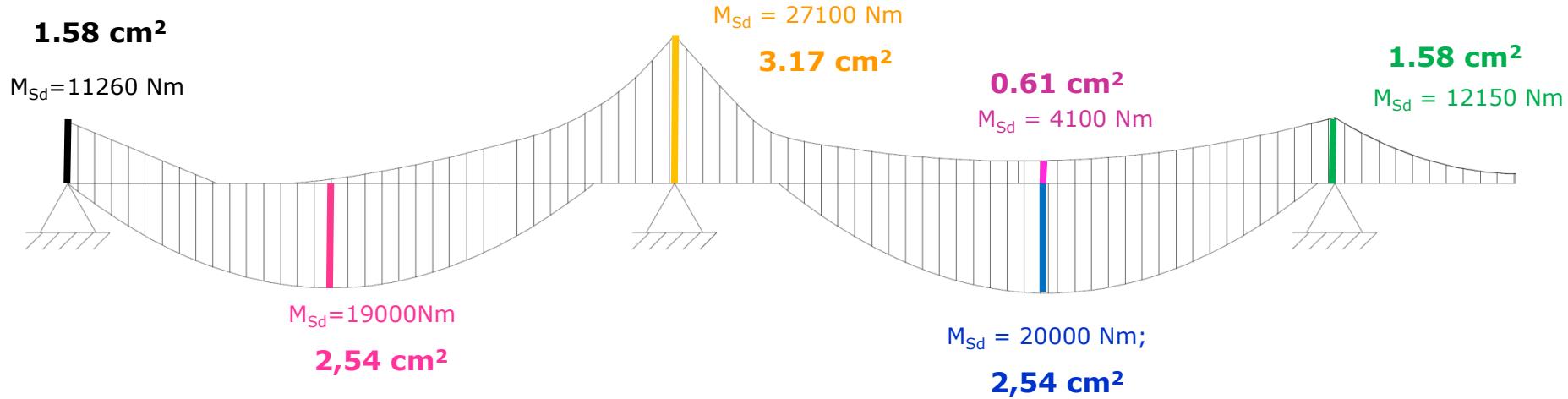
$$\text{Classe 25/30} \rightarrow f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot 25^{2/3} = 2,56 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 2,56 \cdot 120 \cdot 270 / 450 = 47,9 \text{ mm}^2 > 0,0013 b_t \cdot d (=42,12 \text{ mm}^2)$$

$$A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 500 \cdot 300 = 6000 \text{ mm}^2$$

**Valori massimi e minimi quando la parte tesa è larga 120mm (campata a momento positivo)**



$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} \cdot B \cdot d / f_{yk} \geq 0,0013 B \cdot d$$

$$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3} \text{ per classi} \leq C50/60$$

$$\text{Classe 25/30} \rightarrow f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

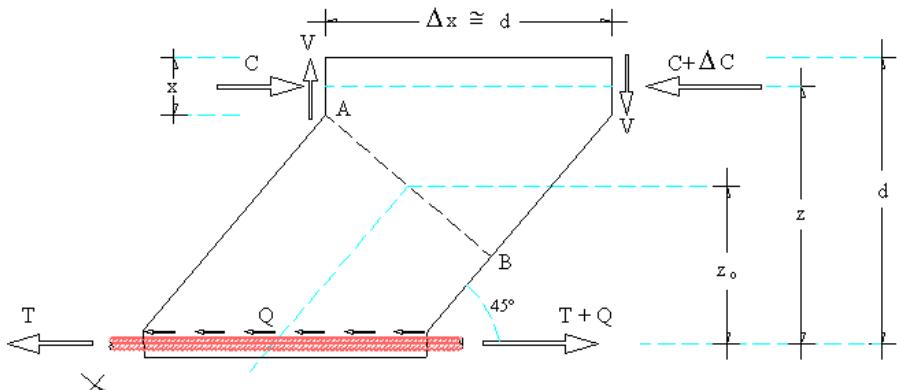
$$f_{ctm} = 0,30 \cdot 25^{2/3} = 2,56 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 2,56 \cdot 500 \cdot 270 / 450 = 199,58 \text{ mm}^2 > 0,0013 B \cdot d (= 175,5 \text{ mm}^2)$$

$$A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 500 \cdot 300 = 6000 \text{ mm}^2$$

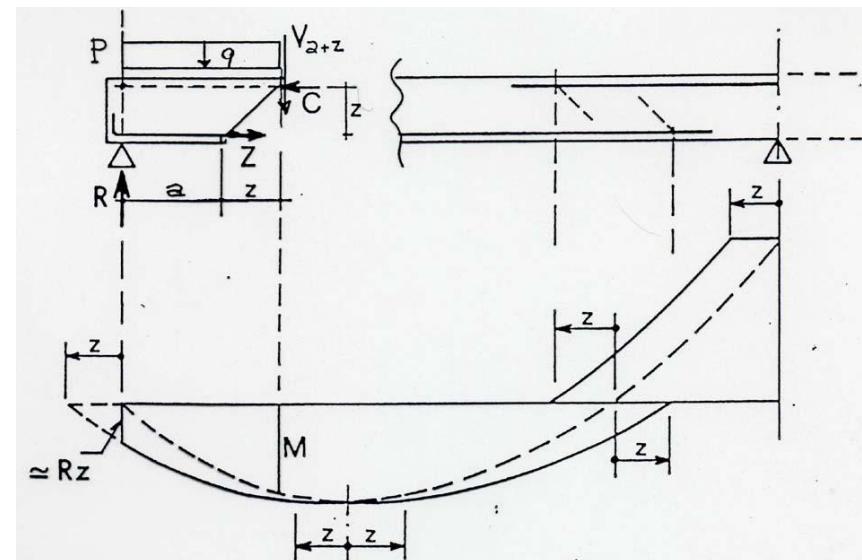
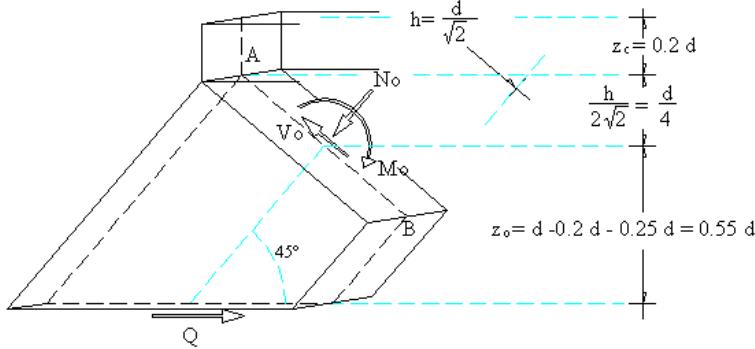
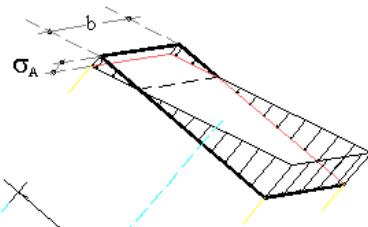
**Valori massimi e minimi quando la parte tesa è larga 500mm (sezione in asse e a filo)**

# MECCANISMI RESISTENTI A TAGLIO – MECCANISMO A PETTINE



$$N_o = Q / \sqrt{2}$$

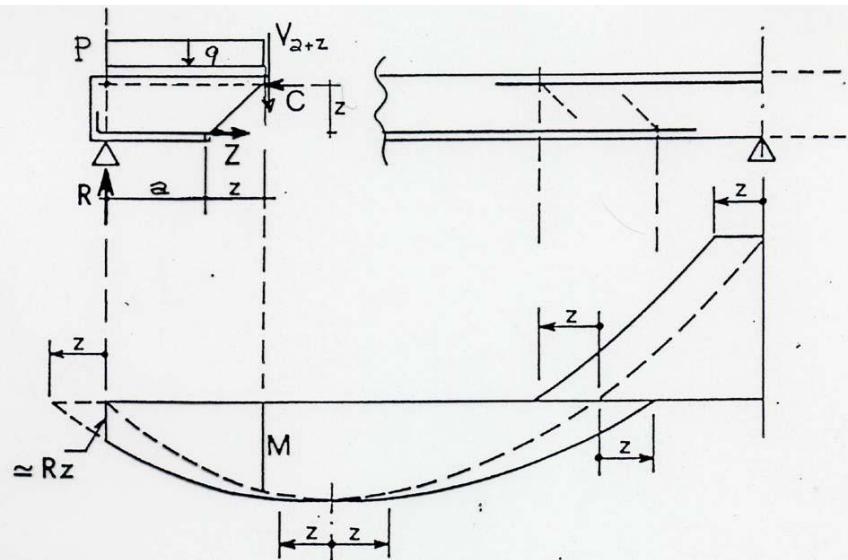
$$M_o = Q * z_o$$



Il funzionamento a pettine ha una conseguenza anche sulla distribuzione delle sollecitazioni dovute al momento flettente. In coerenza con l'ipotesi di inclinazione dei denti a  $45^\circ$ , l'equilibrio alla rotazione intorno al punto P fornisce:

$$Zz = Tz = V_{a+z}(a+z) = V_{sd}(a+z) = M = M_{sd} \quad T = M_{sd}/z$$

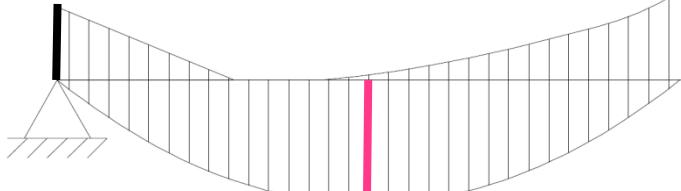
cioè la trazione flessionale  $T$  ( $Z$  nella figura) nell'armatura longitudinale, nella sezione ad  $a$ , è quella relativa al momento nella sezione  $a+z$ : ne discende che i momenti effettivi di calcolo sono i momenti nominali (in tratteggio) traslati di una quantità pari al braccio della coppia interna  $z$ , nel verso che dà luogo ad un aumento del valore assoluto del momento flettente.



**1Φ16**

**1.58 cm<sup>2</sup>**

$M_{Sd} = 11260 \text{ Nm}$



$M_{Sd} = 19000 \text{ Nm}$

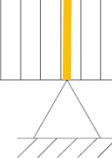
**2,54 cm<sup>2</sup>**

**1Φ12 + 1Φ16**

**2Φ16**

$M_{Sd} = 27100 \text{ Nm}$

**3.17 cm<sup>2</sup>**



**0.61 cm<sup>2</sup>**

$M_{Sd} = 4100 \text{ Nm}$

$M_{Sd} = 20000 \text{ Nm;}$

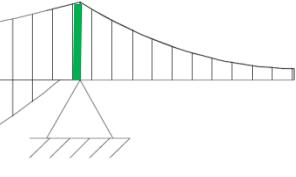
**2,54 cm<sup>2</sup>**

**1Φ12 + 1Φ16**

**1Φ16**

**1.58 cm<sup>2</sup>**

$M_{Sd} = 12150 \text{ Nm}$

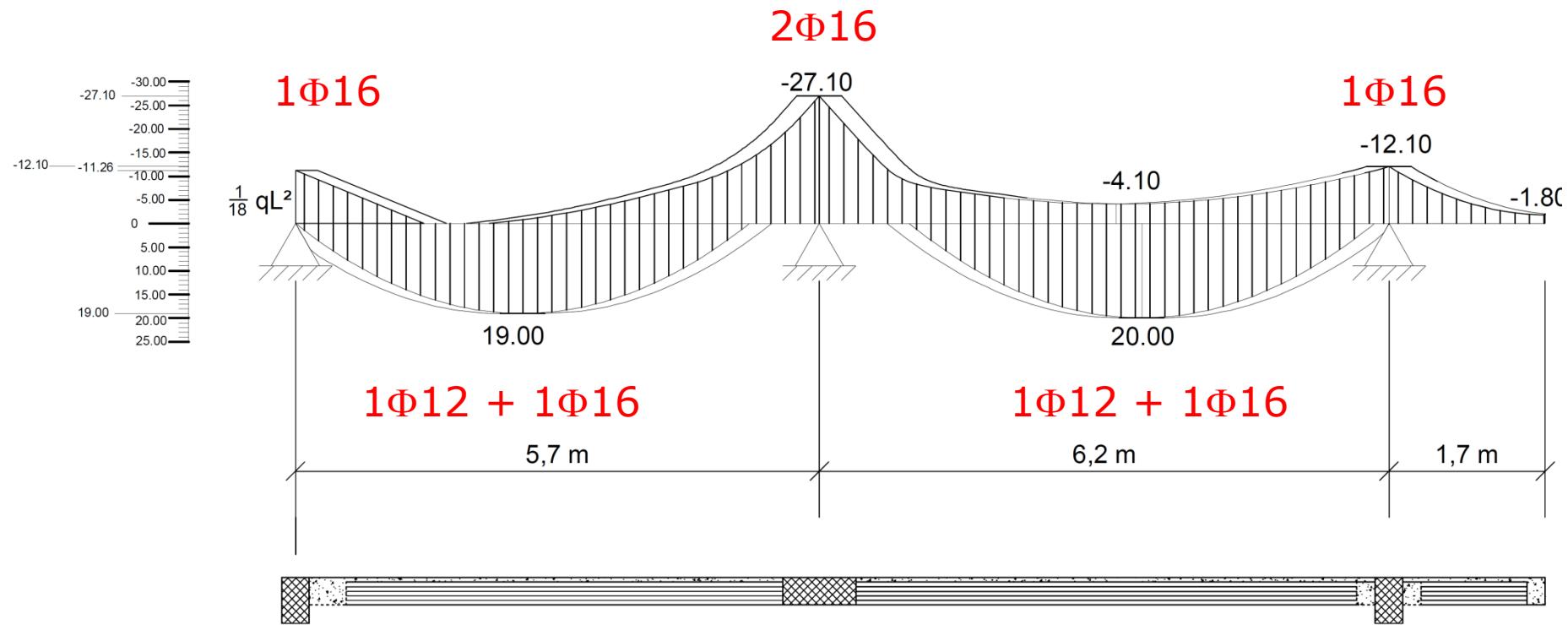


Diametro	$\varphi 8$	$\varphi 10$	$\varphi 12$	$\varphi 14$	$\varphi 16$	$\varphi 18$
<b>As [cmq]</b>	0.50	0.79	1.13	1.54	2.01	2.54

**2Φ16 = 4.02 cm<sup>2</sup>**

**2Φ12 = 2.26 cm<sup>2</sup>**

**1Φ12 + 1Φ16 = 3.14 cm<sup>2</sup>**



# FLESSIONE SEMPLICE RETTA: SEZIONE RETTANGOLARE SEMPLICE ARMATURA

## VERIFICA

dati  $M_{Sd}$   $b$   $h$   $A_s$   $R_{ck}$   $B 450C$

Incognite  $M_{Rd}$ ,  $x$ ,  $\varepsilon_s$

$$\xi = \frac{\varepsilon_{cu_2}}{\varepsilon_{cu_2} + \varepsilon_s} \quad (a)$$

$$= M_{Rd} = \begin{cases} C_u z = 0.81 f_{cd} b d^2 \xi (1 - 0.416 \xi) & (b) \\ T_u z = f_{yd} \rho d^2 b (1 - 0.416 \xi) & (c) \end{cases}$$

- uguagliando la (b) alla (c) si ricava  $\xi = \frac{f_{yd}}{\kappa f_{cd}} \rho$

- dalla (c) si ricava  $M_{Rd} = f_{yd} \rho d^2 b (1 - 0.416 \xi)$

- dalla (a) si ricava  $\varepsilon_s$

**Verifica:**  $M_{Sd} \leq M_{Rd}$

# VERIFICA CON L'USO DELLE TABELLE

dati  $M_{Sd}$   $b$   $h$   $A_s$   $R_{ck}$   $B450C$  determinare  $M_{Rd}$

*percentuale  
meccanica  
di armatura*

$$\omega = \frac{A_s}{bd} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

compresa tra  $\omega_{\min}$  e  $\omega_{\max}$

x/d	$\mu=0$		$\mu=20\%$		$\mu=40\%$		$\mu=60\%$		$\mu=80\%$		$\mu=100\%$		IIIa
	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	$\omega$	mrd	
0,0200	0,0162	0,0161	0,0135	0,0136	0,0116	0,0119	0,0101	0,0106	0,0090	0,0096	0,0081	0,0088	
0,0400	0,0324	0,0318	0,0270	0,0270	0,0231	0,0235	0,0202	0,0209	0,0180	0,0189	0,0162	0,0173	
0,0641	0,0519	0,0505	0,0433	0,0428	0,0371	0,0372	0,0325	0,0330	0,0288	0,0298	0,0260	0,0272	
0,0800	0,0648	0,0626	0,0594	0,0578	0,0549	0,0538	0,0511	0,0503	0,0477	0,0472	0,0447	0,0446	
0,1000	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	0,0810	0,0776	
0,1200	0,0971	0,0923	0,1033	0,0978	0,1103	0,1041	0,1183	0,1113	0,1276	0,1197	0,1384	0,1294	
0,1400	0,1133	0,1067	0,1262	0,1183	0,1425	0,1329	0,1635	0,1518	0,1917	0,1773	0,2318	0,2134	
0,1600	0,1295	0,1209	0,1496	0,1390	0,1770	0,1637	0,2168	0,1994	0,2795	0,2559	0,3935	0,3585	
0,1800	0,1457	0,1348	0,1733	0,1596	0,2137	0,1960	0,2786	0,2544	0,4004	0,3640	0,7110	0,6436	
0,2000	0,1610	0,1484	0,1970	0,1800	0,2504	0,2000	0,3404	0,2470	0,5000	0,5150	1,5000	1,0000	

$m_{Rd\_min}$

cui corrispondono rispettivamente

$m_{Rd\_max}$

È possibile interpolare linearmente, oppure, a vantaggio di sicurezza, considerare il valore più piccolo,  $m_{Rd\_min}$   
 ottenendo:

$$M_{Rd} = m_{Rd\_min} bd^2 f_{cd}$$

**Verifica:**  $M_{Sd} \leq M_{Rd}$

# VERIFICA CON L'USO DEGLI ABACHI

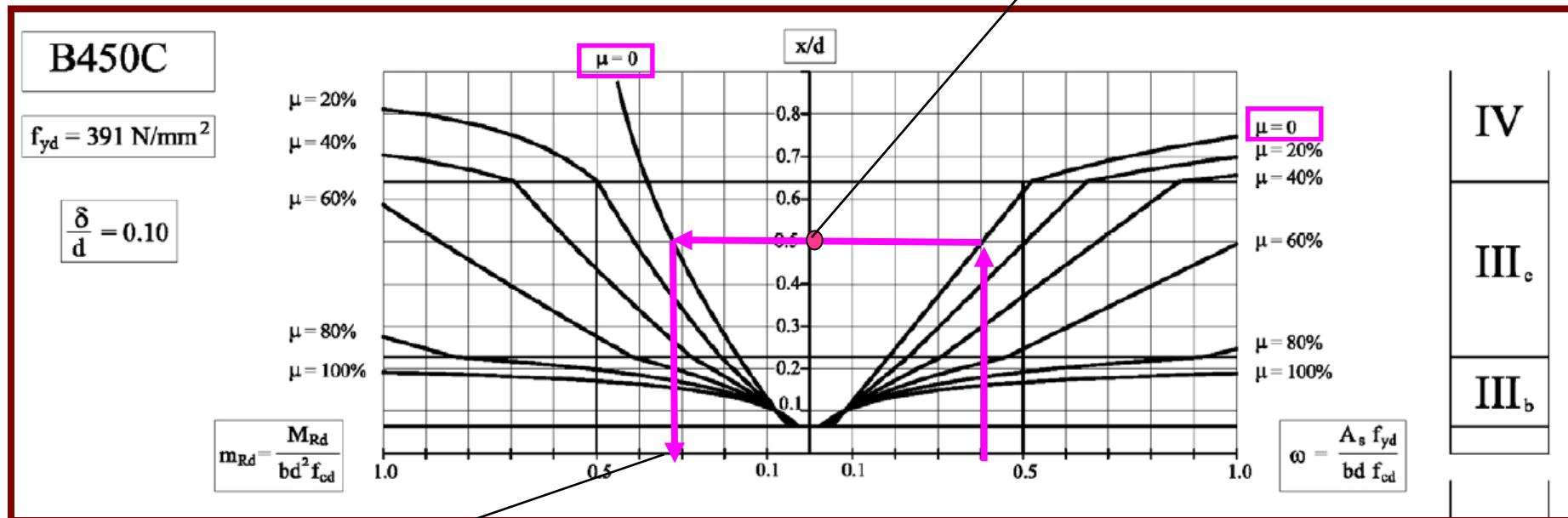
dati  $M_{Sd}$   $b$   $h$   $A_s$   $R_{ck}$  **B450C**

determinare  $M_{Rd}$

*percentuale  
meccanica di  
armatura*

$$\omega = \frac{A_s}{bd} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$\xi$



$M_{rd}$   $\mu$

$\omega$

$\mu$

$m_{rd}$

$\rightarrow$

$M_{rd}$

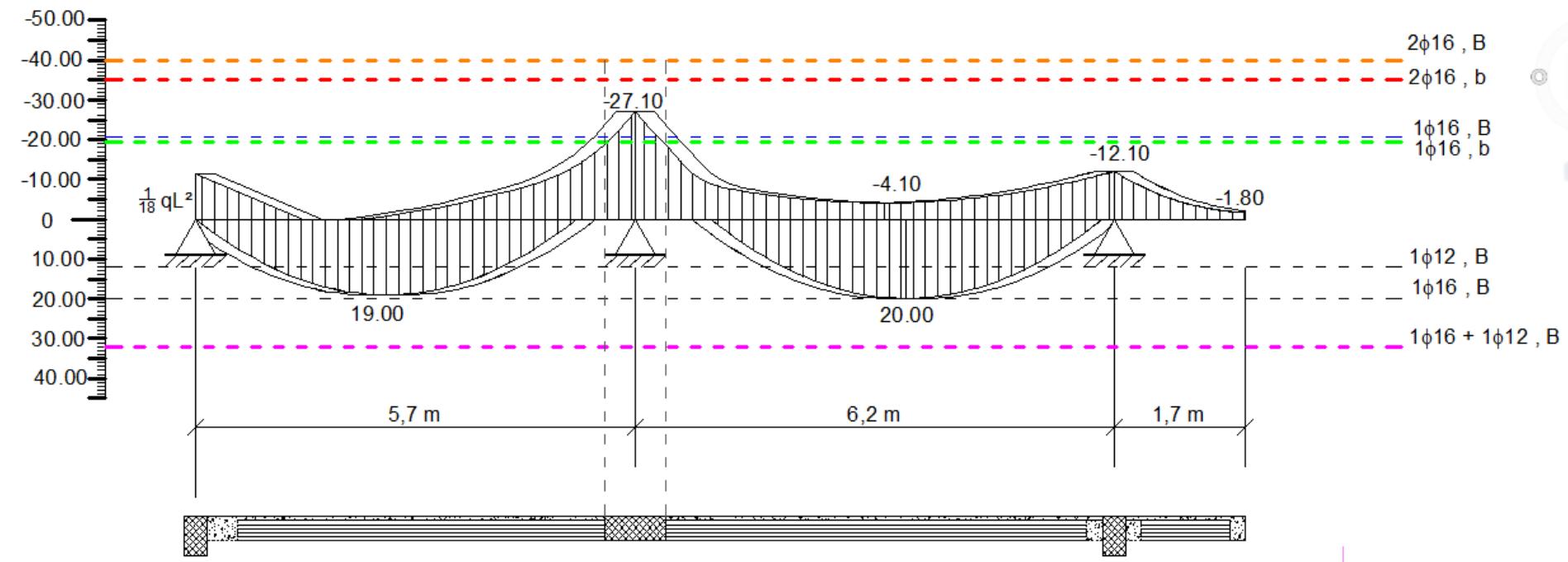
**Verifica:**  $M_{Sd} \leq M_{Rd}$

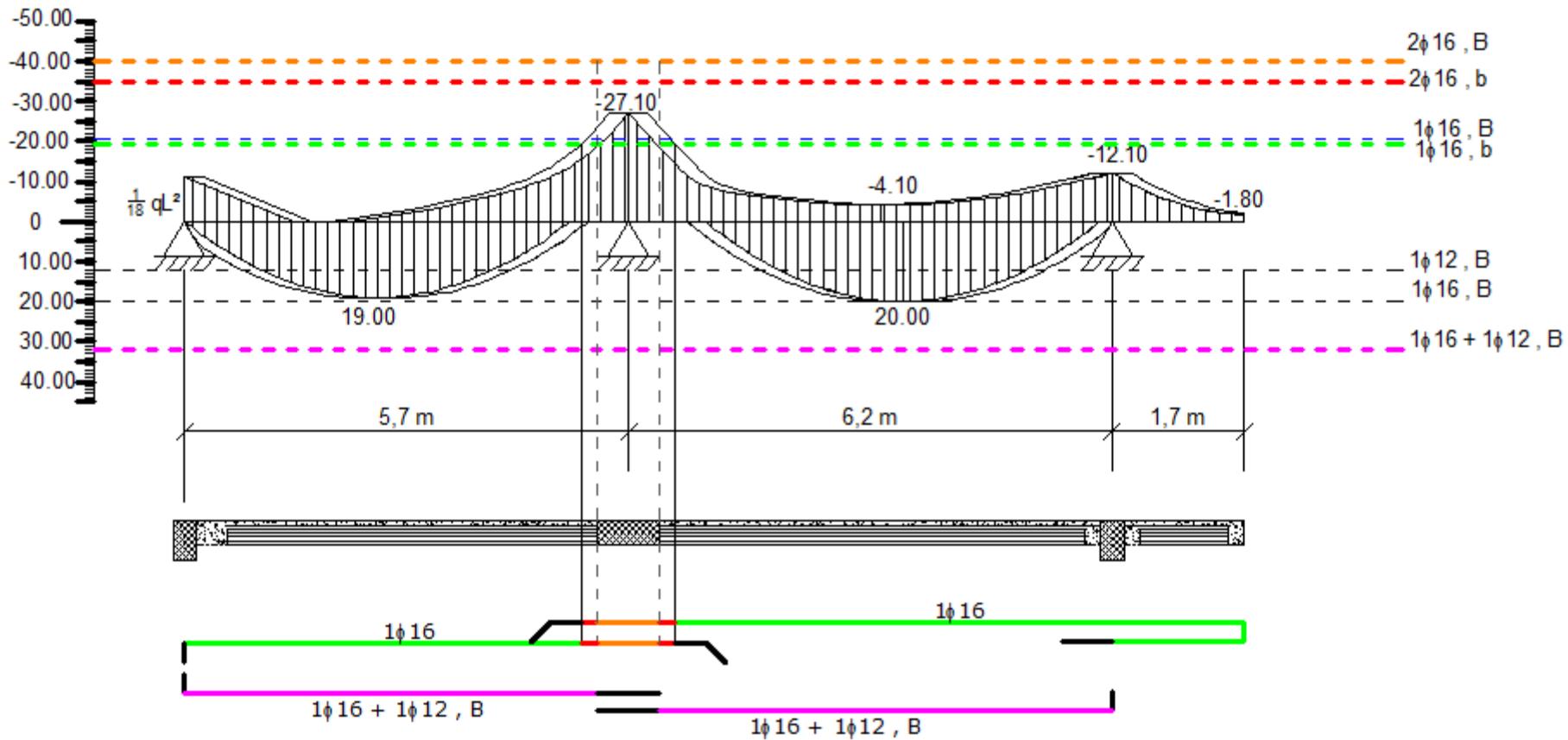
$$m^* = m_1 + \frac{\omega^* - \omega_1}{\omega_2 - \omega_1} (m_2 - m_1)$$

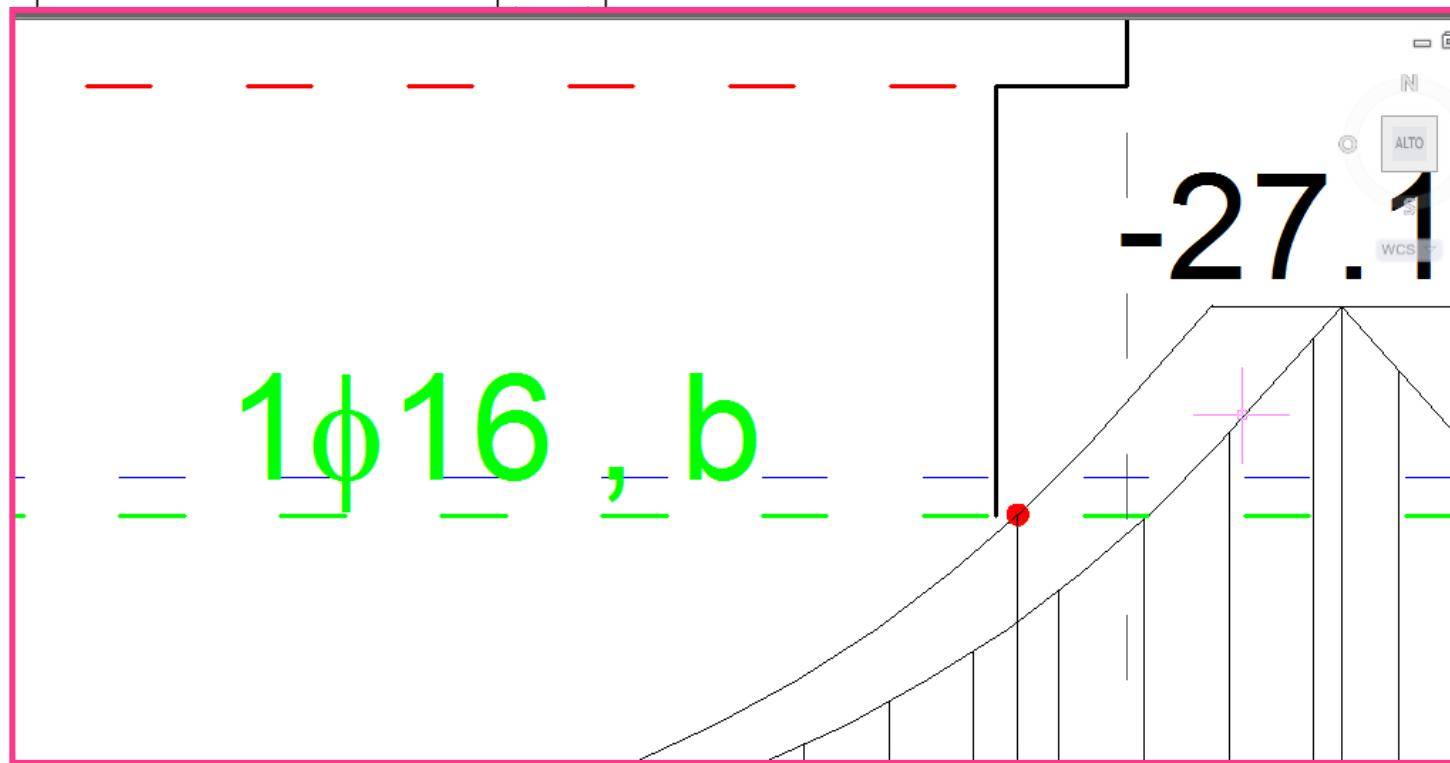
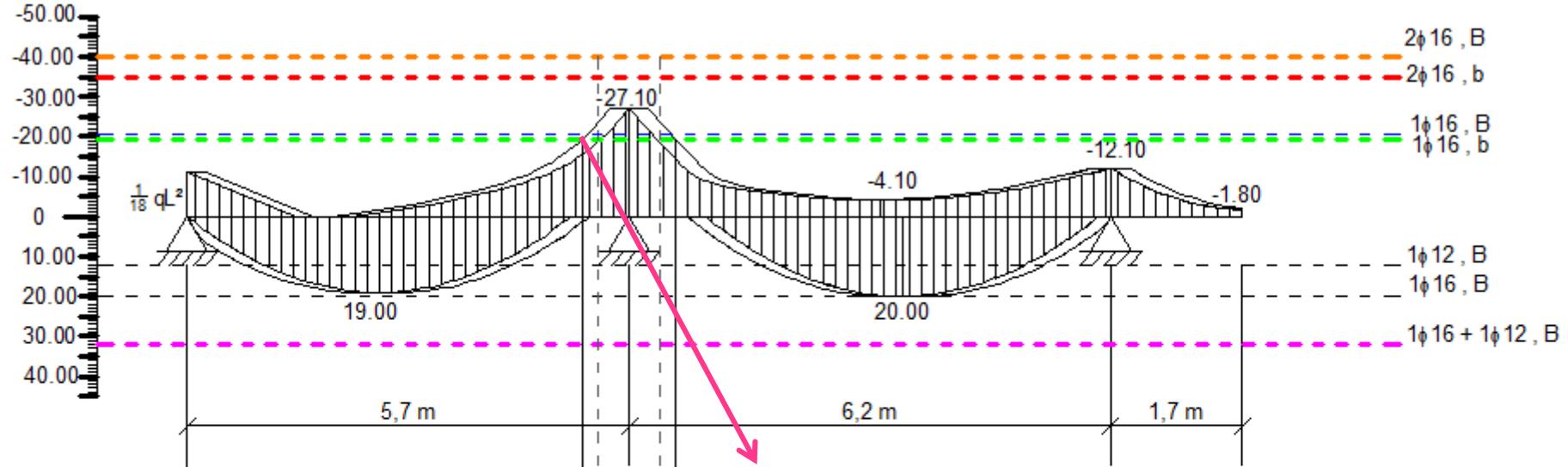
Verifica	diametro	As	b	d	fcd	fyd	w*	wmin	mmin	wmax	mmax	m*	Mrd	Mrd		
		mmq	mm	mm	N/mmq	N/mmq	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	N*mm	kN*m		
φ12 , B		12	113.0	500.0	270.0	14.2	391.3	0.0231	0.0162	0.0161	0.0324	0.0318	0.0	11780783.0	11.8	
φ12 , b		12	113.0	120.0	270.0	14.2	391.3	0.0963	0.0810	0.0776	0.0971	0.0923	0.1	11355928.1	11.4	
φ16 , B		16	201.0	500.0	270.0	14.2	391.3	0.0411	0.0324	0.0318	0.0519	0.0505	0.0	20737229.1	20.7	
φ16 , b		16	201.0	120.0	270.0	14.2	391.3	0.1713	0.1619	0.1484	0.0324	0.0318	0.2	19442361.5	19.4	
φ12+φ16 , B		12	16	314.0	500.0	270.0	14.2	391.3	0.0642	0.0519	0.0505	0.0648	0.0626	0.1	32056388.9	32.1
φ12+φ16 , b		12	16	314.0	120.0	270.0	14.2	391.3	0.2676	0.2590	0.2246	0.2752	0.2363	0.2	28613276.8	28.6
2φ16 , B		16	16	401.9	500.0	270.0	14.2	391.3	0.0822	0.0810	0.0776	0.0971	0.0923	0.1	40652637.2	40.7
2φ16 , b		16	16	401.9	120.0	270.0	14.2	391.3	0.3426	0.3400	0.2806	0.3562	0.2910	0.3	34986533.5	35.0
2φ12 , B		12	12	226.1	500.0	270.0	14.2	391.3	0.0462	0.0324	0.0318	0.0519	0.0505	0.0	23282302.1	23.3
2φ12 , b		12	12	226.1	120.0	270.0	14.2	391.3	0.1927	0.1836	0.1663	0.1943	0.1749	0.2	21519961.2	21.5

Quantità di armatura, base	Momento Resistente
1Φ16 , B	20.7
1Φ16 , b	19.4
2Φ16 , B	40
2Φ16 , b	35
1Φ16+1Φ12 , B	32.1

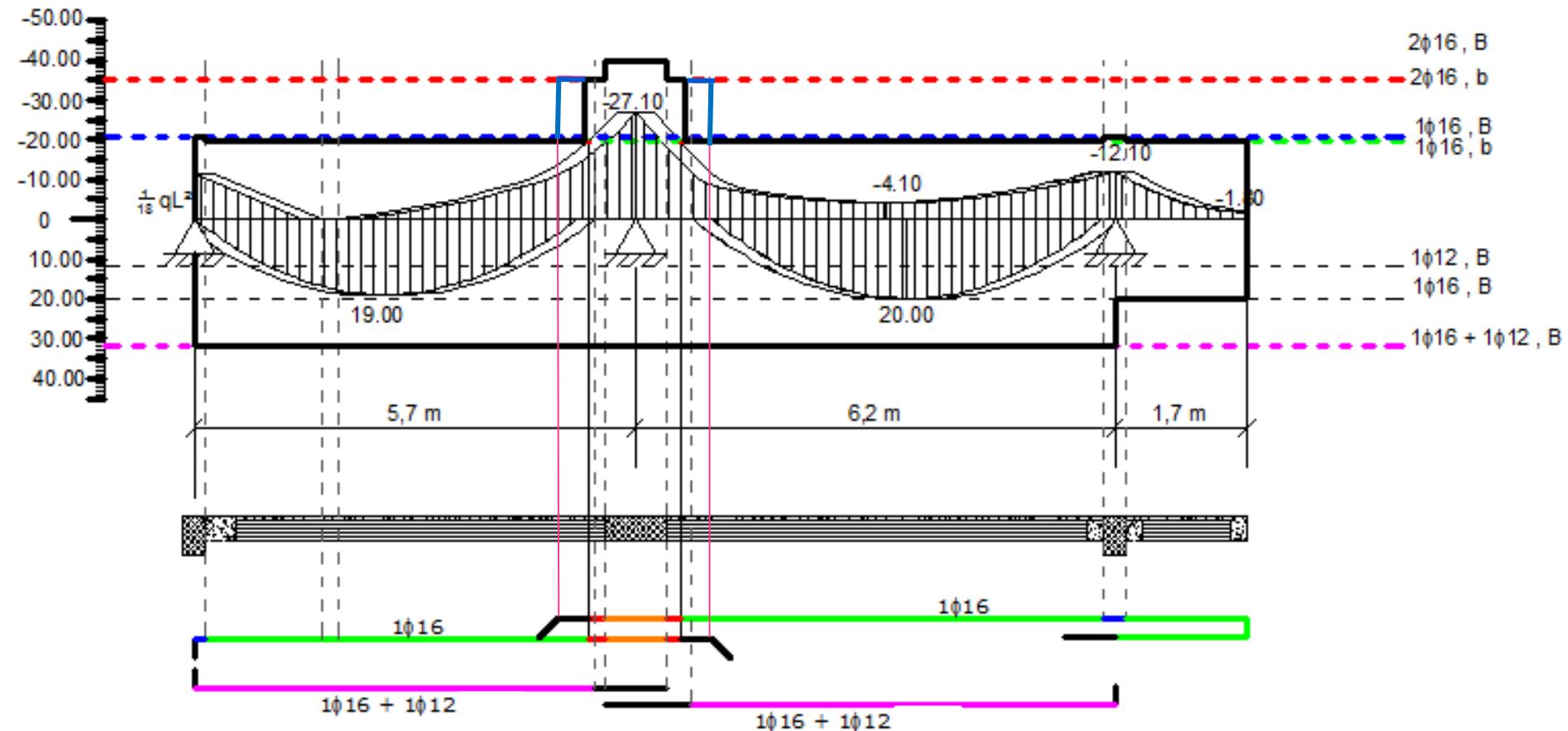
to][Wireframe 2D]

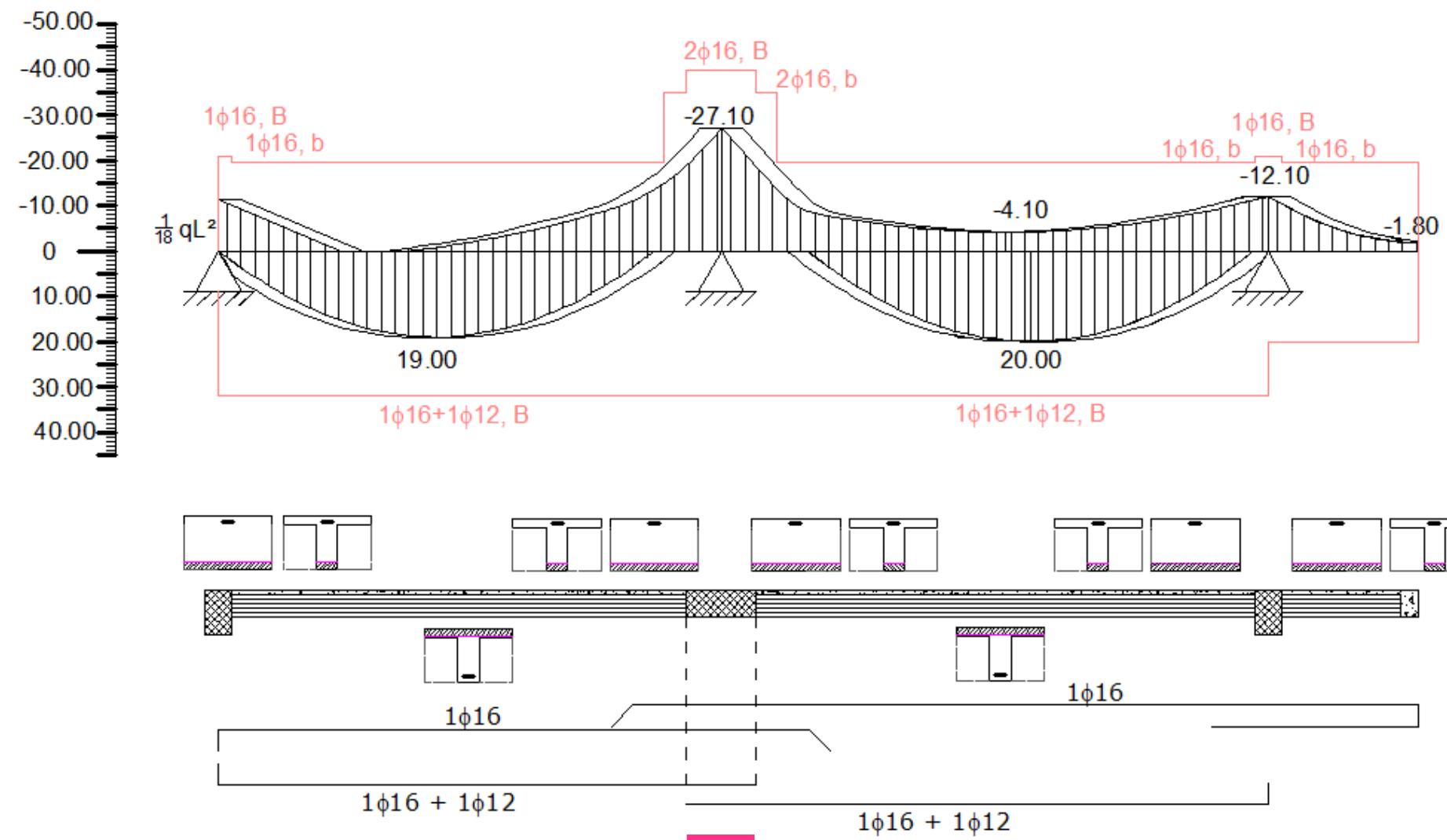




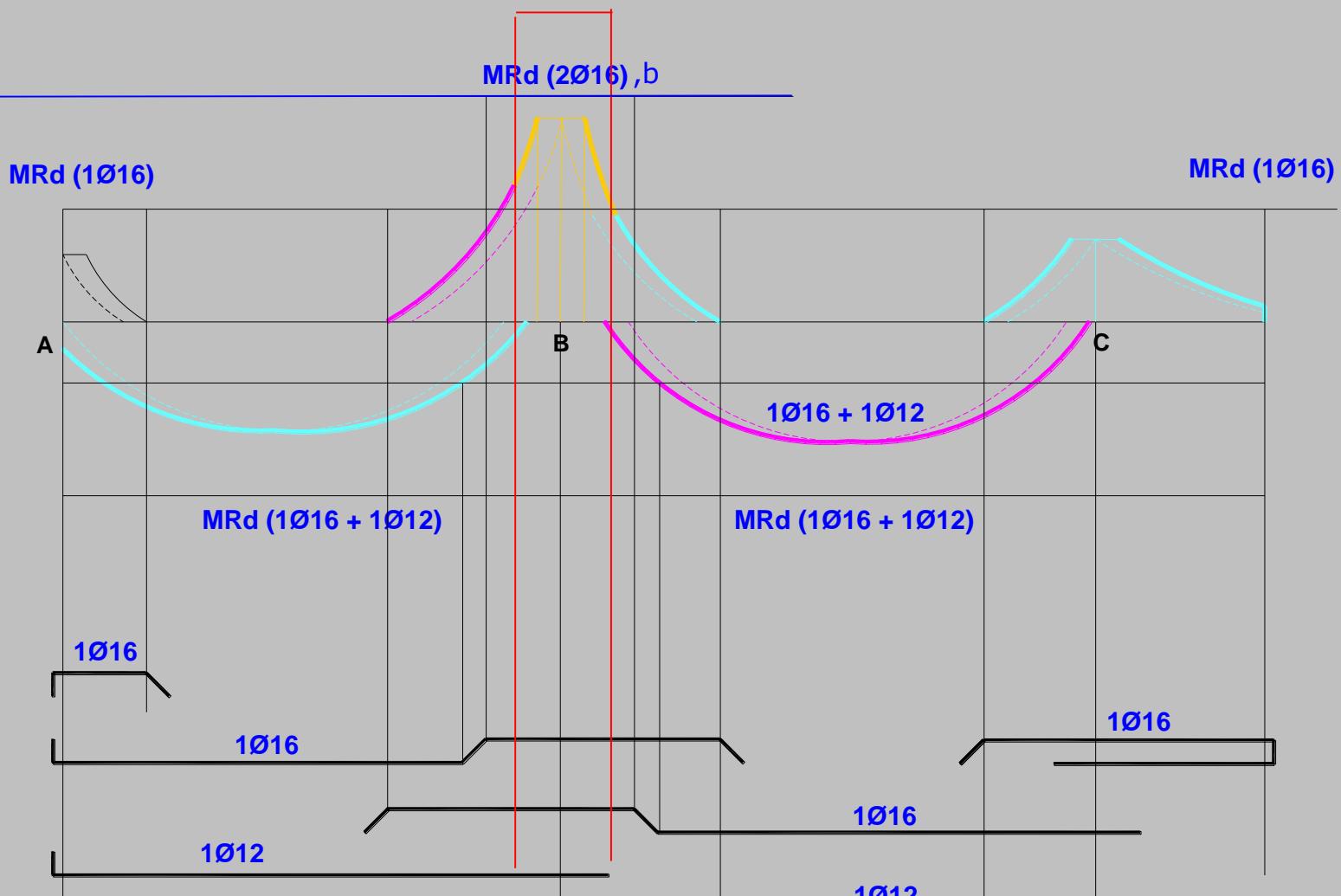




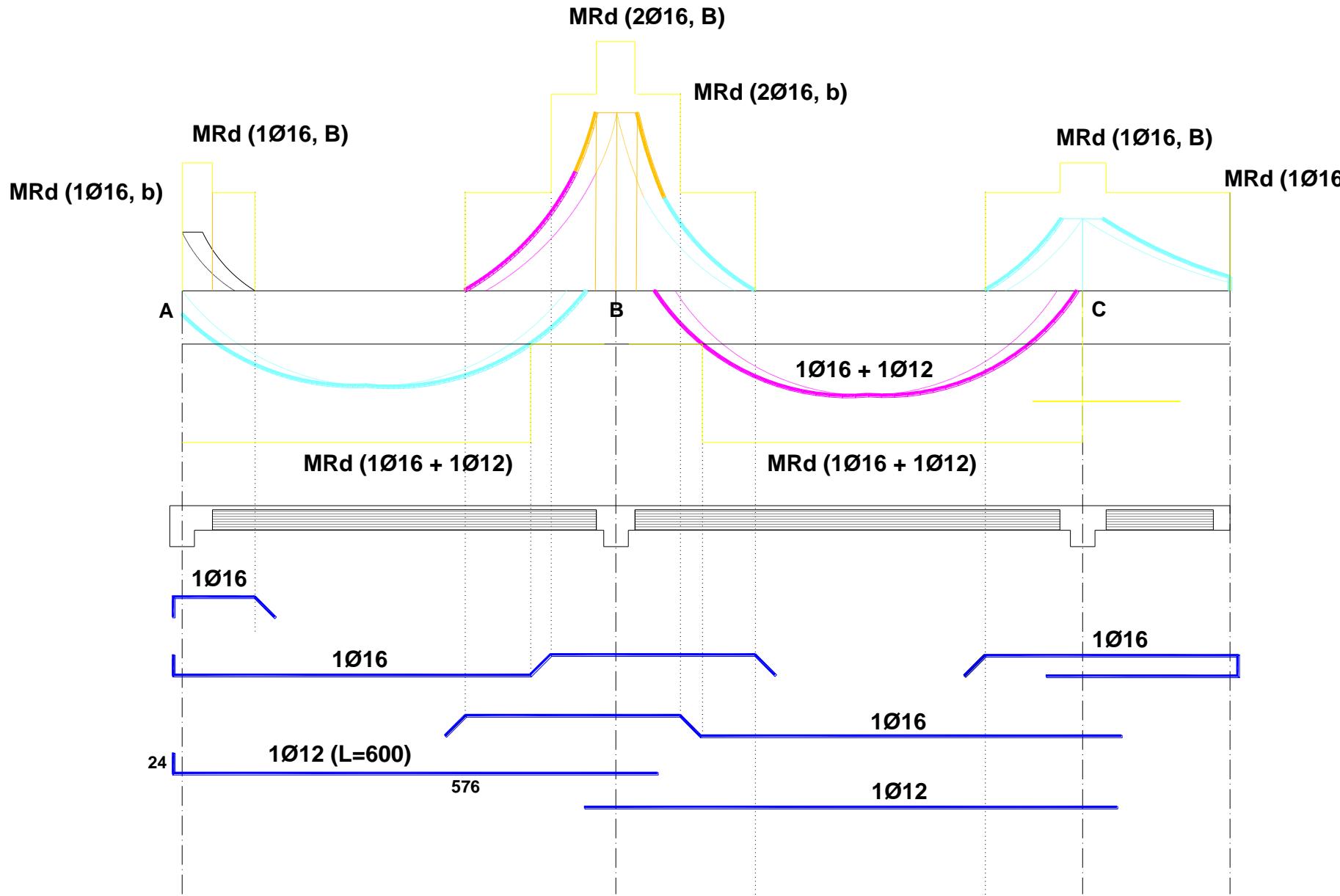




## Armatura del Solaio – Esempio II



# Diagramma dei momenti resistenti



## **OSSERVAZIONI**

Per luci superiori ai 4 m è opportuno prevedere un travetto **rompitratta** (ortogonale all'orditura del solaio) che assolva al compito di ripartire i carichi sui travetti stessi.

La sezione può essere assunta pari (20-25) x H (altezza solaio) con armatura longitudinale pari a 4Ø12 e staffe Ø8/20".

E' necessario prevedere, per normativa, un'armatura di ripartizione (trasversale all'armatura longitudinale dei travetti) pari al massimo tra:

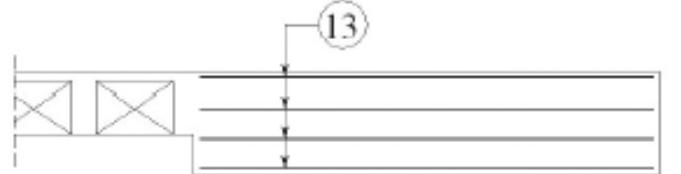
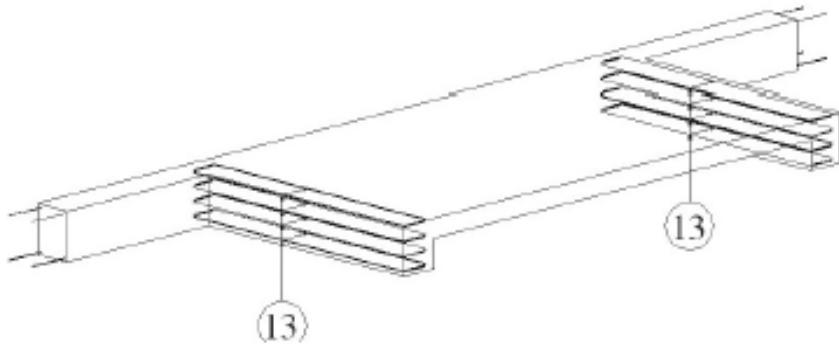
- 3Ø6/ml
- 20% armatura longitudinale all'intradosso

Per motivi tecnologici la lunghezza dei ferri deve essere massimo di 12m. Nel caso in cui sia necessario interrompere i ferri è necessario prevedere una lunghezza di sovrapposizione, tale che ciascuna delle due barre risulti ancorata. In generale, per barre ad aderenza migliorata la lunghezza di sovrapposizione ha un ordine di grandezza di 40 volte il diametro della barra in zona tesa, e 20 volte in zona compressa.

# Le Tavole di Armatura

La definizione delle **gabbie di armatura** viene demandata a quella classe di elaborati definiti « **tavole di armatura** » in cui vengono normalmente rappresentate secondo le modalità di seguito descritte (Fig. 8.35):

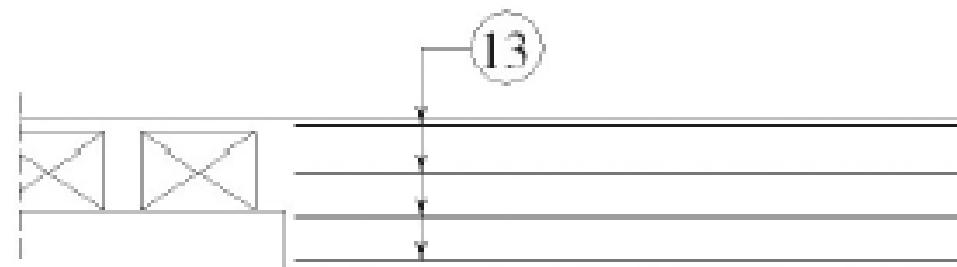
- **all'interno di sezioni** e/o di piante con chiamate atte ad indicarne la **posizione di montaggio**;
- con le **singole barre estratte** e corredate delle etichette, cioè di tutte quelle informazioni relative alla loro definizione univoca.



254 (13) 2x(4+4) Ø12/15" L=300

Tali informazioni, scritte solitamente sulla barra nel senso longitudinale della stessa, contengono:

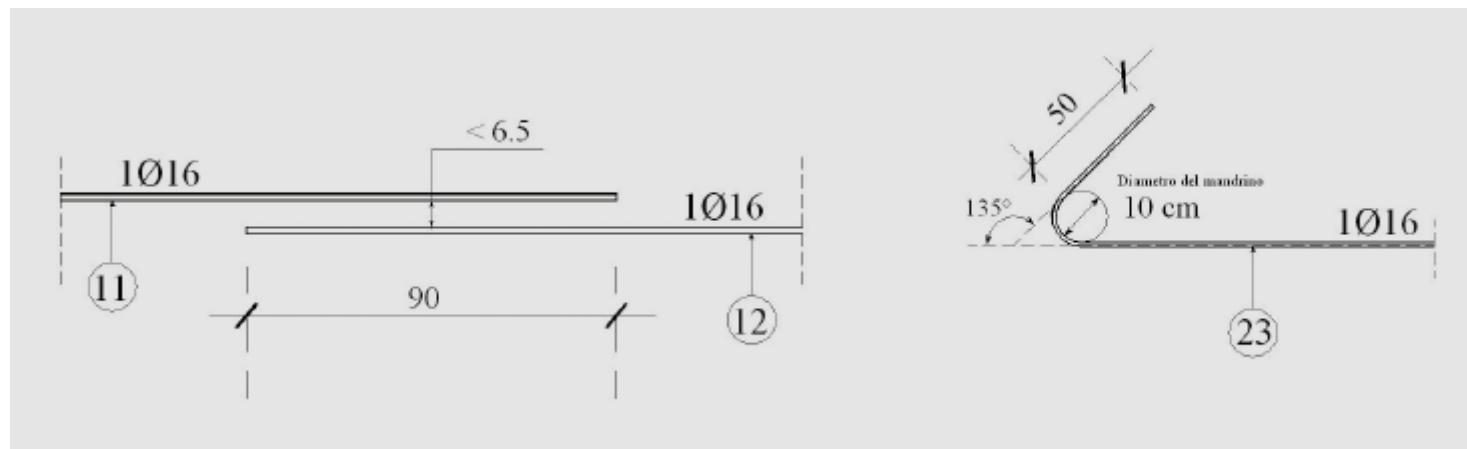
1. La marcatura o numero di posizione o di sagoma (per es. 13 in Fig.)
2. Il numero degli insiemi costituiti da barre uguali alla sagoma in esame
3. Il numero di barre per ogni insieme (4+4),
4. Il diametro della barra in mm ( $\phi 12$ ),
5. La spaziatura fra le barre in cm (/15")
6. Le lunghezze parziali e la lunghezza totale (L) in cm.



13 2x(4+4) Ø12/15" 254 L=300

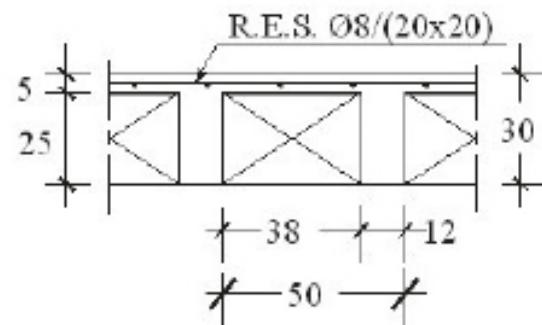
Altre informazioni possono rendersi necessarie in condizioni particolari

- l'indicazione delle **lunghezze di sovrapposizione**;
- l'indicazione della posizione della barra rispetto ad un asse di riferimento;
- l'indicazione del diametro del mandrino nelle piegature, se diverso dal diametro minimo prescritto dalle norme;
- l'indicazione dell'angolo di piegatura quando diverso da 90°.

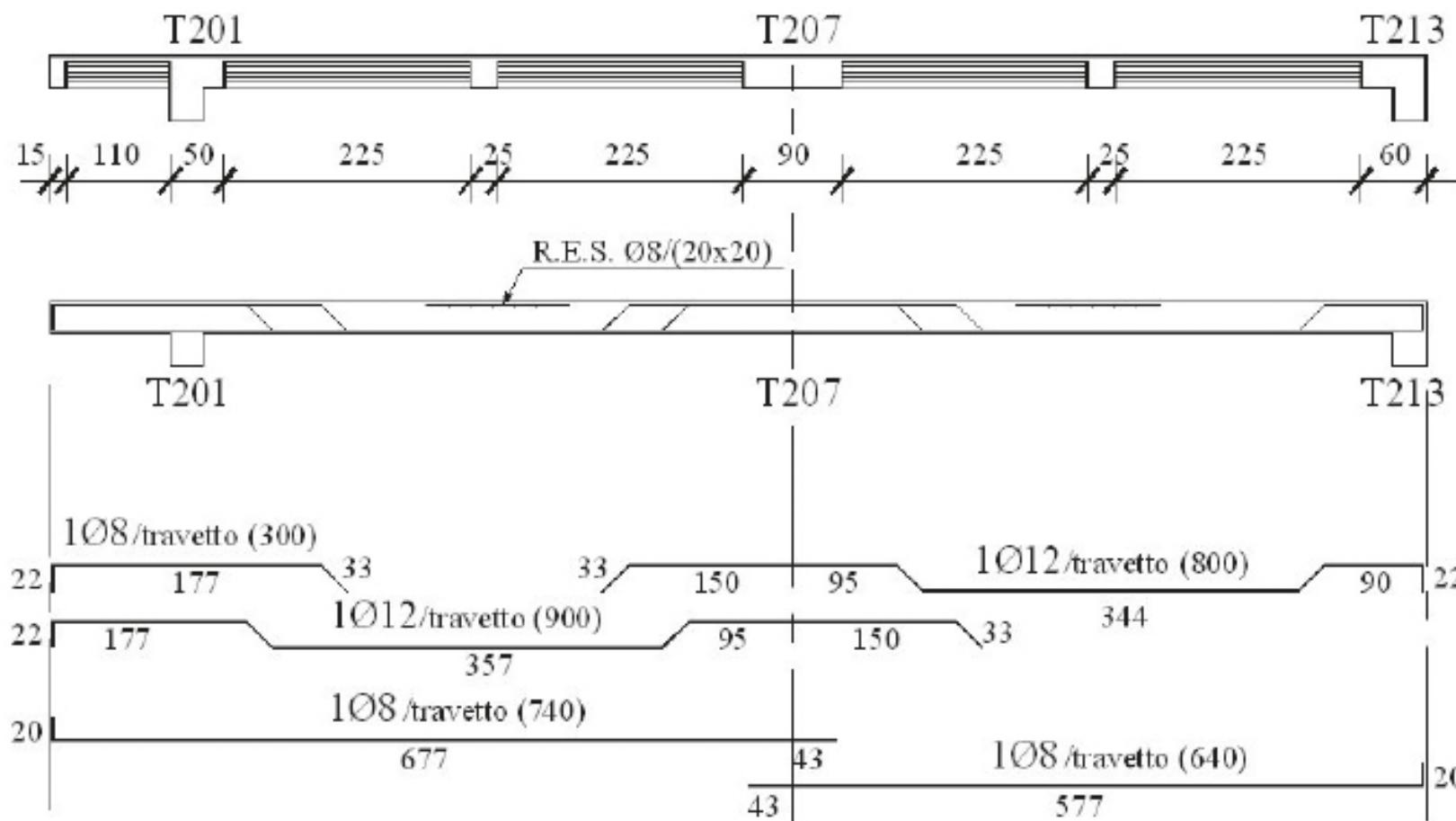
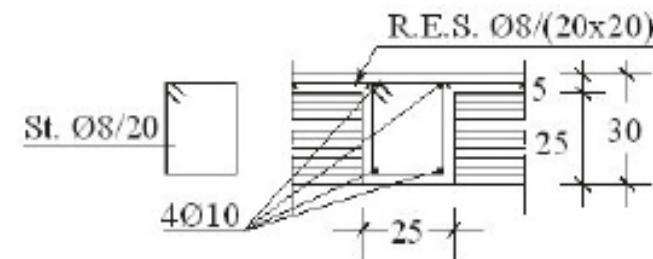


# Esempio Solaio

Sez. Solaio

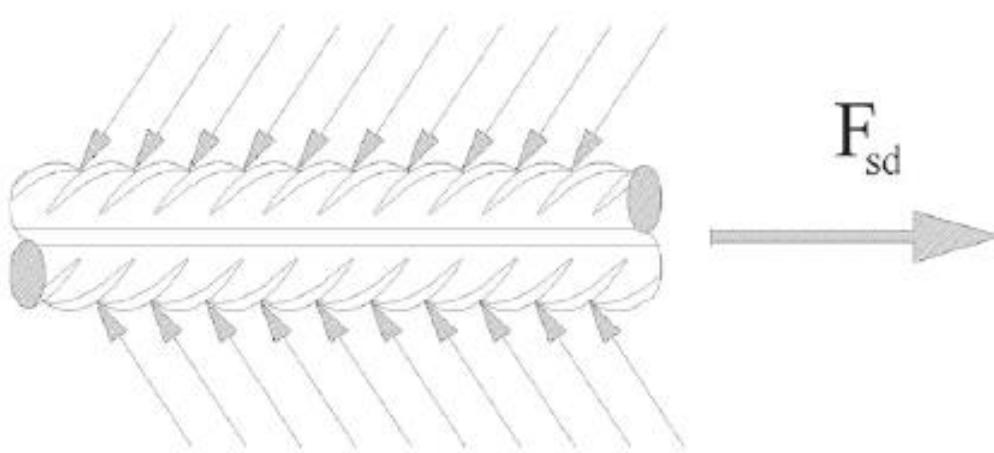


Sez. Rompitratta



Le barre di armatura sono in grado di assorbire le forze di trazione loro affidate dal calcolo solo se opportunamente vincolate alle loro estremità.

Il modo più semplice di ancorare una barra è quello di prolungarla oltre la sua ultima sezione di servizio per un tratto tale (**lunghezza di ancoraggio**) da garantire il trasferimento del suo sforzo al calcestruzzo in virtù delle tensioni di aderenza che si sviluppano lungo la sua superficie laterale. La Figura mostra schematicamente il funzionamento dell'ancoraggio per aderenza relativo ad una barra nervata: sotto l'azione della trazione  $F_a$  si generano nel calcestruzzo bielle compresse che si poggiano sulle nervature della barra e, dopo una certa lunghezza, riescono (con le loro componenti orizzontali) ad equilibrare la forza di trazione trasmessa dalla barra stessa.



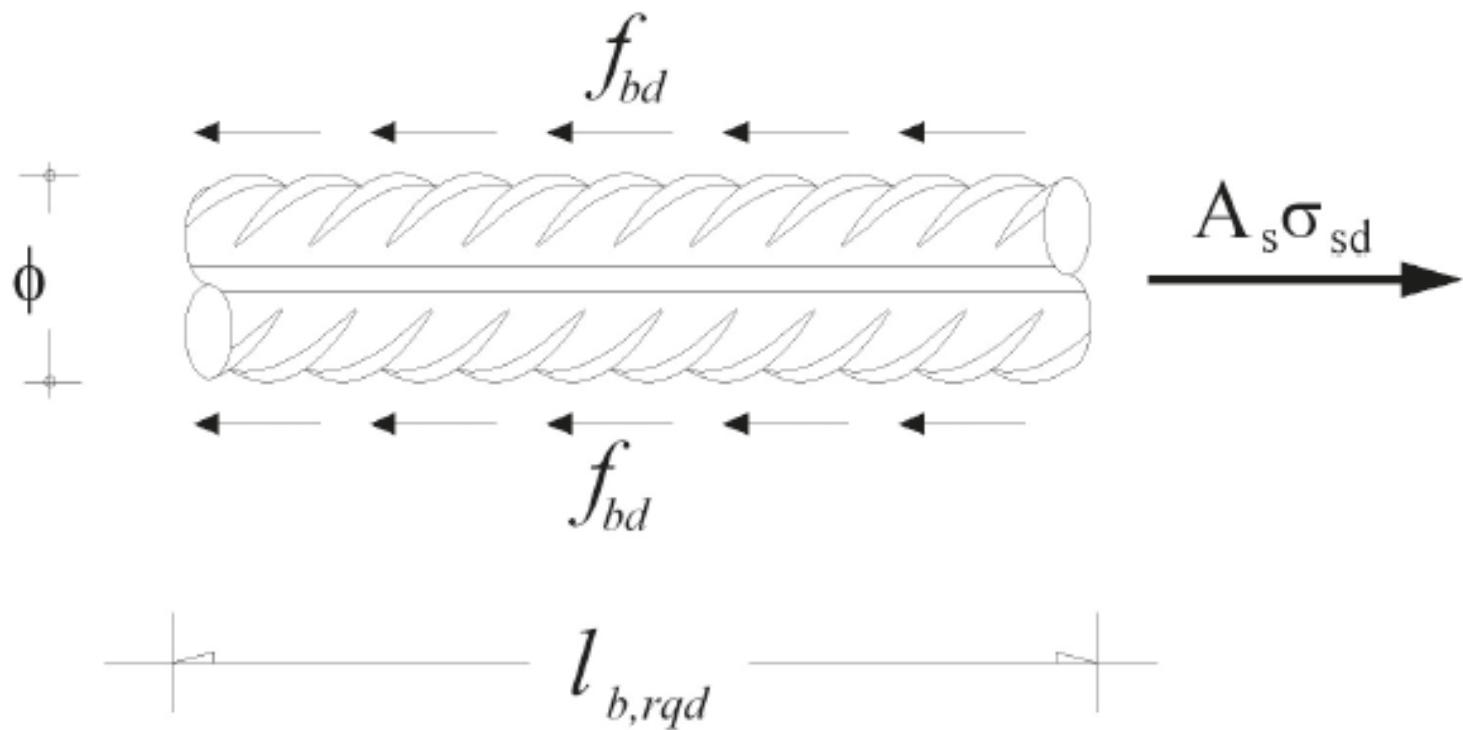
Gli sforzi nelle bielle di calcestruzzo compresso che si generano lungo i tratti di ancoraggio di una barra non sono ovviamente uniformi ma variano con la distanza dal suo estremo terminale. Ciò nonostante i codici normativi consentono di calcolare in maniera convenzionale la lunghezza di ancoraggio delle barre, considerando lungo il tratto di ancoraggio una tensione tangenziale uniforme di aderenza di calcolo ***fbd*** il cui valore può essere ricavato dall'espressione:

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$$

ove ***γc=1.5*** è il coefficiente parziale relativo al calcestruzzo, ed ***f<sub>bk</sub>*** è la resistenza caratteristica di aderenza che per barre di diametro non maggiore di 32 mm può assumersi uguale a **2.25 fctk** (cui occorre applicare un coefficiente di riduzione pari a 0.7 nel caso di armature molto addensate o ancorate in zona tesa ed un ulteriore coefficiente  $\eta=(132-\phi)/100$  nel caso di barre con diametro  $\phi>32$  mm).

In queste ipotesi la lunghezza di base necessaria per ancoraggio diritto a partire dall'ultima sezione di servizio è fornita dalla seguente espressione:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$



La lunghezza di ancoraggio di progetto può assumere valori inferiori nel caso di ancoraggi diversi da quello rettilineo, e comunque mai minori di 20 volte il diametro della barra (con un minimo di *150 mm*).

EC2 fornisce alcuni parametri correttivi per ottenere la lunghezza di ancoraggio di progetto per forme diverse di ancoraggio, indicando anche valori minimi da adottare in ogni caso.

La lunghezza limitata delle barre per c.a. (**comunemente 12 metri**), insieme alle problematiche connesse al loro trasporto e montaggio, impongono la realizzazione in opera di giunzioni che devono garantire la trasmissione degli sforzi da una barra all'altra.

# Verifica a taglio del travetto

## 4.1.2.1.3.1 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

È consentito l'impiego di solai, piastre e membrature a comportamento analogo, sprovviste di armature trasversali resistenti a taglio. La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di tali elementi deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad (4.1.13)$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \quad (4.1.14)$$

con

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

## Verifica a taglio di elementi privi di armatura: solaio

$$b_w = \mathbf{500 \text{ mm}}; h = 300 \text{ mm}$$

$$\delta = 30 \text{ mm}; A_{sl} = 2\phi 16 = 402 \text{ mm}^2$$

$$d = 270 \text{ mm}; k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.86$$

$$\rho_l = A_{sl} / b_w d = 402 / (500 \cdot 270) = 0.0029 < 0.02$$

$$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2; f_{ck} = 0.83 \cdot 30 = 24.9 \text{ N/mm}^2; \gamma_c = 1.5$$

$$v_{min} = 0.035k^{3/2}f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.86^{3/2} \cdot 24.9^{1/2} = 0.278 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd} = \{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c\} \cdot b_w \cdot d =$$

$$= \{0.18 \cdot 1.86 \cdot (100 \cdot 0.0029 \cdot 24.9)^{1/3} / 1.5\} \cdot 500 \cdot 270 = \mathbf{58237 \text{ N}}$$

$$b_w = \mathbf{120 \text{ mm}}; h = 300 \text{ mm}$$

$$\delta = 30 \text{ mm}; A_{sl} = 2\phi 16 = 402 \text{ mm}^2$$

$$d = 270 \text{ mm}; k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.86$$

$$\rho_l = A_{sl} / b_w d = 402 / (120 \cdot 270) = 0.0124 < 0.02$$

$$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2; f_{ck} = 0.83 \cdot 30 = 24.9 \text{ N/mm}^2; \gamma_c = 1.5$$

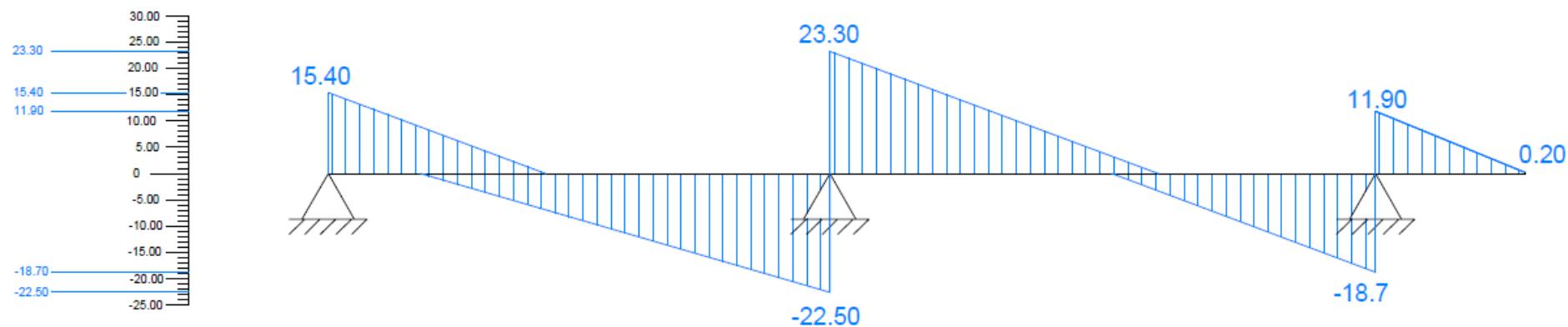
$$v_{min} = 0.035k^{3/2}f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.86^{3/2} \cdot 24.9^{1/2} = 0.278 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd} = \{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c\} \cdot b_w \cdot d =$$

$$= \{0.18 \cdot 1.86 \cdot (100 \cdot 0.0124 \cdot 24.9)^{1/3} / 1.5\} \cdot 120 \cdot 270 = \mathbf{22684 \text{ N}}$$

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d$$

TAGLIO								
Crd	$\gamma$	k	As mmq	bw mm	d mm	fck N/mmq	Vrd N	Vrd kN
0.18	1.5	1.86	200.96	120	270	25	18039.7	18.0
0.18	1.5	1.86	200.96	500	270	25	46711.2	46.7
0.18	1.5	1.86	314	120	270	25	20933.2	20.9
0.18	1.5	1.86	314	500	270	25	54203.6	54.2
0.18	1.5	1.86	401.92	120	270	25	22728.6	22.7
0.18	1.5	1.86	401.92	500	270	25	58852.5	58.9



## ANALISI CARICHI UNITARIA

Solai interno abitazione piano tipo:  
 Totale carichi permanenti:  $G_k = 561,34 \text{ daN/mq}$   
 Sovraccarichi variabili:  $Q_k = 200 \text{ daN/mq}$

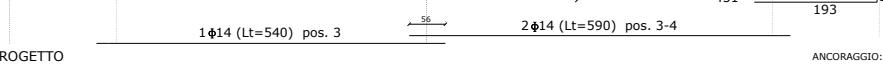
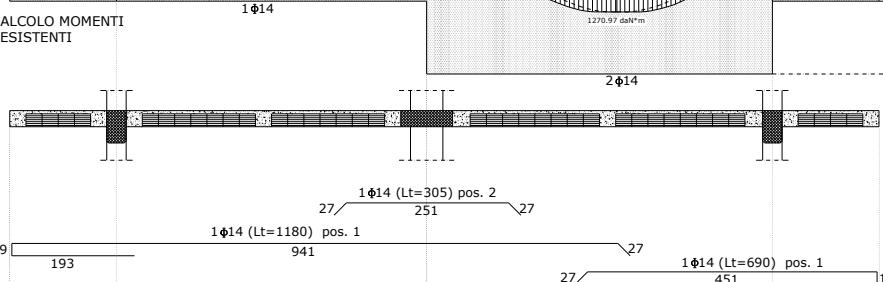
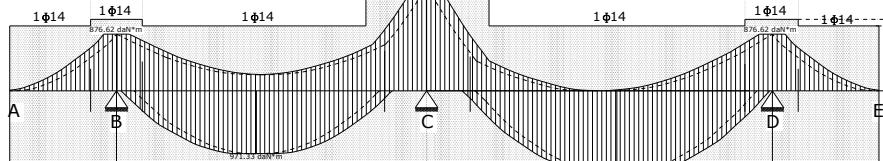
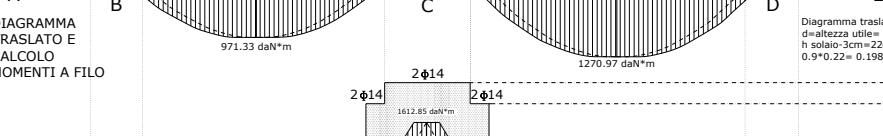
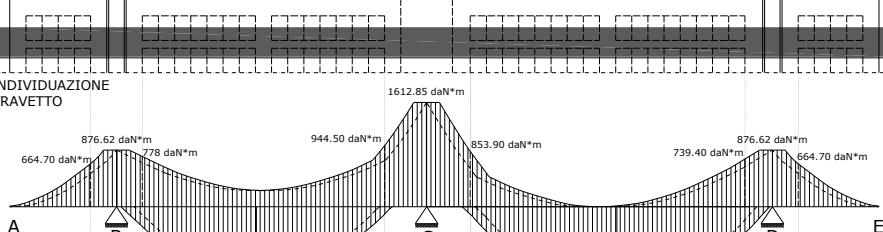
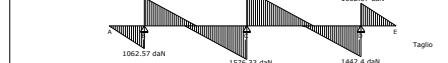
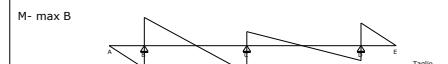
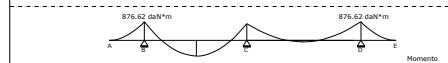
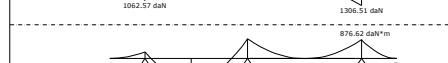
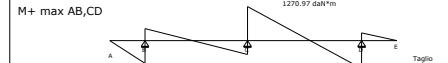
Solai balconi abitazione piano tipo:  
 Totale carichi permanenti:  $G_k = 491,4 \text{ daN/mq}$   
 Sovraccarichi variabili:  $Q_k = 400 \text{ daN/mq}$

Solai copertura praticabile:  
 Totale carichi permanenti:  $G_k = 573,4 \text{ daN/mq}$   
 Sovraccarichi variabili:  $Q_k = 200 \text{ daN/mq}$

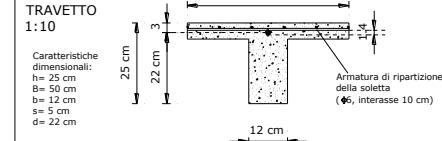
## CONDIZIONI DI CARICO AGLI SLU

Con interasse di 50cm, in un metro ci sono due travetti, pertanto il carico a metro quadro va diviso per due ed inserito nella formula semplificata:

dove  $\gamma_g = 1,4$  e  $\gamma_q = 1,5$  sono utilizzati per il carico massimo, mentre  $\gamma_g = 0,9$  e  $\gamma_q = 0$  sono utilizzati in presenza di soli carichi  $G_k$ , ottenendo un diagramma complessivo avente massimi momenti negativi agli appoggi e massimi momenti positivi in campata



## SCHEMA DEL TRAVETTO 1:10



## PROGETTO CONDIZIONATO DELLA SEZIONE

## MATERIALI:

CLS:  $R_{ck} = 300 \text{ daN/cm}^2$ ;  $c = 1,9$ ;  $f_{cd} = R_{ck}/1,9 = 157,9 \text{ daN/cm}^2$

ACCIAIO:  $f_yk = 4500 \text{ daN/cm}^2$ ;  $s = 1,15$ ;  $f_{yd} = f_yk/1,15 = 3913,04 \text{ daN/cm}^2$

PROGETTO in campo 3 (con  $K = 0,8095$ ):

- 1)  $Msd = k \cdot f_{cd} \cdot B \cdot d^2 \times ? (1-0,416?)$
- 2)  $Msd = f_{yd} \cdot ? \cdot d^2 \times B (1-0,416?)$
- 3)  $? = ecu / (ecu + es)$

dalla 1) si ricava ?  
 dalla 2) si ricava ?  
 dalla 3) si ricava es

Sezione d'esempio: APPoggIO B

Base da utilizzare:  $B = 50 \text{ cm}$

$Msd = 876,62 \text{ daN} \cdot m = 87662 \text{ daN} \cdot cm$

dalla 1) si ricava  $? = 0,03 \text{ cm}$   
 dalla 2) si ricava  $? = 0,00094 \text{ cm}$  da cui  $As = ? \times B \times h$ ;  $As = 1,17 \text{ As}^* = 1,54 \text{ cm}^2$ , corrispondente ad  $1\Phi14$

dalla 3) si ricava  $es = 0,1132$  che risulta  $> eyd/fy/Es = 0,186\%$   
 Essendo  $es > eyd$ , si passa in campo 2

VERIFICA A MOMENTO FLETTENTE IN campo 2 (con  $K = 0,45$ )

- 1)  $As = ? \times B \times h$
- 2)  $? = (fyd / k \cdot f_{cd}) \cdot ?$
- 3)  $Mrd = f_{yd} \cdot ? \times d^2 \times B (1-0,416?)$

dalla 1) si ricava ?  
 dalla 2) si ricava ?  
 dalla 3) si ricava Mrd

Sezione d'esempio: APPoggIO B

dalla 1) utilizzando  $As^* = 1,54 \text{ cm}^2$  si ricava  $? = 0,0012 \text{ cm}$

dalla 2) si ricava  $? = 0,066 \text{ cm}$

dalla 3) si ricava  $Mrd = 110515 \text{ daN} \cdot cm = 1105,15 \text{ daN} \cdot m$

$Mrd = 1105,15 > Msd = 876,62$  Il progetto è verificato in quanto  $Mrd > Msd$

## VERIFICA A TAGLIO DELL'ELEMENTO STRUTTURALE

Materiali:  
 $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$        $f_{ctm} = 0,27 \times (R_{ck})^{2/3} = 2,61 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{ctd} = 0,7 \times f_{ctm} = 1,83 \text{ N/mm}^2$        $y_c = 1,6$   
 $f_{cd} = f_{ctd}/c = 1,14 \text{ N/mm}^2$        $r = \text{ingranamento degli inerti}$        $y_c - d = \text{azione assiale} = 1$   
 $B = \text{effetto spinotto} = 1+50/1$

$h = h - c - f/2 = 250 - 30 - 213 \text{ mm} = 1,37 \text{ mm}$   
 $? = As/(b \cdot d)$  con  $As = \text{area del ferro in mm}^2$

$Vrd = 0,25 \times f_{cd} \times r \times x \times B \times b \times d \times x \cdot d$  con  $B = 50 \text{ cm}$  o  $b = 12 \text{ cm}$

## SEZIONI CON ARMATURA 1:10

