

Corso di aggiornamento
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Progetto e verifica di elementi strutturali in c.a.

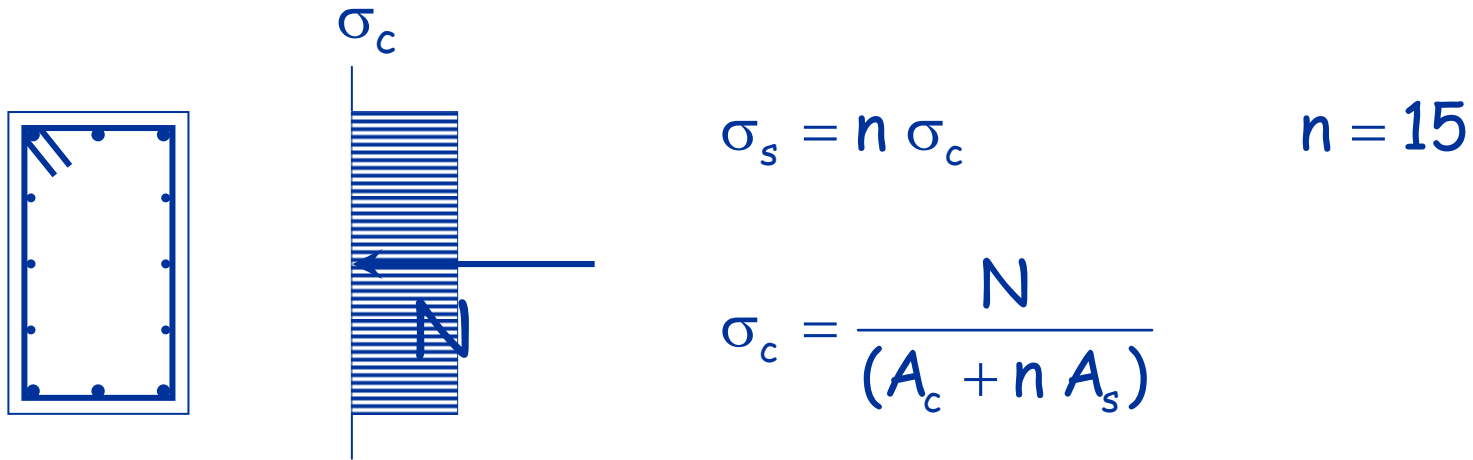
2 - Sforzo normale

Bologna

3-4 maggio 2012

Edoardo M. Marino

Verifica - tensioni ammissibili

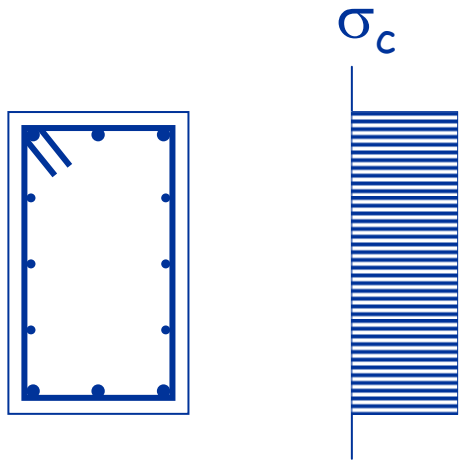


~~$\sigma_c \leq \bar{\sigma}_c$~~

$$\sigma_c \leq 0.7 \bar{\sigma}_c$$

altrimenti la sezione
non può portare alcun
momento flettente

Verifica - tensioni ammissibili



The diagram shows a rectangular cross-section of a reinforced concrete beam. The reinforcement is represented by dots along the perimeter. To the right of the section is a stress distribution diagram. The top part of the diagram is a rectangle labeled σ_c , representing the concrete stress. Below it is a hatched area representing the steel stress. The total height of the stress distribution is labeled σ_c .

$$\sigma_s = n \sigma_c \quad n = 15$$

~~$\sigma_c \leq \bar{\sigma}_c$~~

$$\sigma_c \leq 0.7 \bar{\sigma}_c$$

altrimenti la sezione
non può portare alcun
momento flettente

In alternativa la verifica può essere condotta:

$$N \leq N_{\max} = 0.7 \bar{\sigma}_c (A_c + n A_s)$$

Verifica - stato limite ultimo

Quando il legame tensioni-deformazioni non è lineare non è più possibile applicare le formule della Scienza delle costruzioni ma occorre rifarsi direttamente alle condizioni di equilibrio tra tensioni e deformazioni

$$N = \int \sigma dA$$

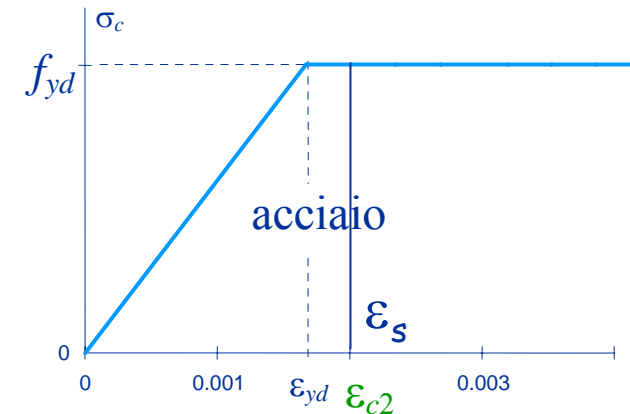
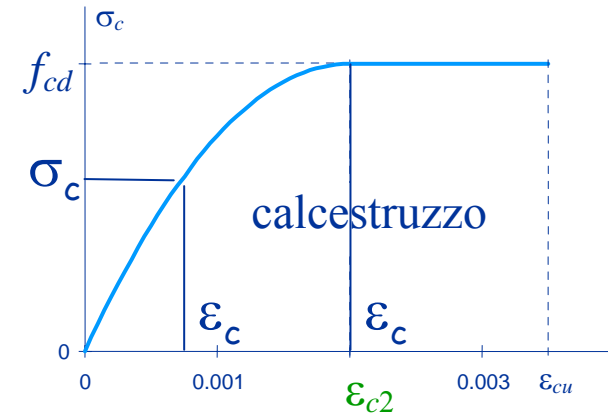
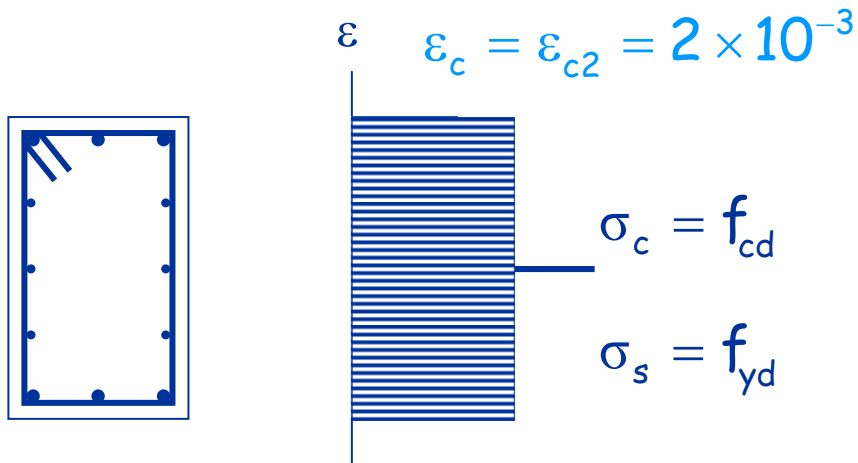
~~$$M_x = \int \sigma y dA$$~~

~~$$M_y = - \int \sigma x dA$$~~

Trazione

Compressione

Verifica - stato limite ultimo



$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} A_c + f_{yd} A_s$$

la sezione non può
portare alcun
momento flettente

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \frac{f_{cd} A_c + f_{yd} A_s}{1.2}$$

(consigliata)

Verifica - stato limite ultimo

Nota:

“Nel caso di pilastri soggetti a compressione assiale si deve comunque assumere una componente flettente dello sforzo $M_{Ed} = e N_{Ed}$ con eccentricità e pari almeno a $0.05h \geq 20\text{mm}$ (con h altezza della sezione)”

Se non si vuole verificare la sezione a pressoflessione, occorre che la resistenza a sforzo normale centrato sia superiore almeno del 15-20% rispetto a N_{Ed}

Il numero 1.2 indicato nella diapositiva precedente tiene conto di questo

Verifica - confronto

TA
$$N_{\max} = \underbrace{0.7 \bar{\sigma}_c}_{6.8} A_c + \underbrace{n 0.7 \bar{\sigma}_c}_{89} A_s$$

Rapporto un po' maggiore di quello dei carichi (≈ 1.4) $\frac{11.8}{6.8} \cong 1.7$

$$\frac{326}{89} \cong 3.66$$

Rapporto molto maggiore

SLU
$$N_{Rd} = \frac{\overset{11.8}{f_{cd}} A_c}{1.2} + \frac{\overset{326}{f_{yd}} A_s}{1.2}$$

Calcestruzzo C25/30

Acciaio B450C

Verifica - confronto

TA

$$N_{\max} = 0.7 \bar{\sigma}_c A_c + n 0.7 \bar{\sigma}_c A_s$$

6.8 89

... e tenendo cosa anche
del rapporto tra i
carichi (≈ 1.4)

$$\frac{11.8}{1.4 \times 6.8} \cong 1.24$$

$$\frac{326}{1.4 \times 89} \cong 2.62$$

SLU

$$N_{Rd} = \frac{f_{cd} A_c}{1.2} + \frac{f_{yd} A_s}{1.2}$$

11.8 326

Calcestruzzo C25/30

Acciaio B450C

Verifica - confronto

TA

$$N_{\max} = \underbrace{0.7 \bar{\sigma}_c}_{6.8} A_c + \underbrace{n 0.7 \bar{\sigma}_c}_{89} A_s$$

Allo stato limite ultimo,
l'acciaio compresso conta molto di più

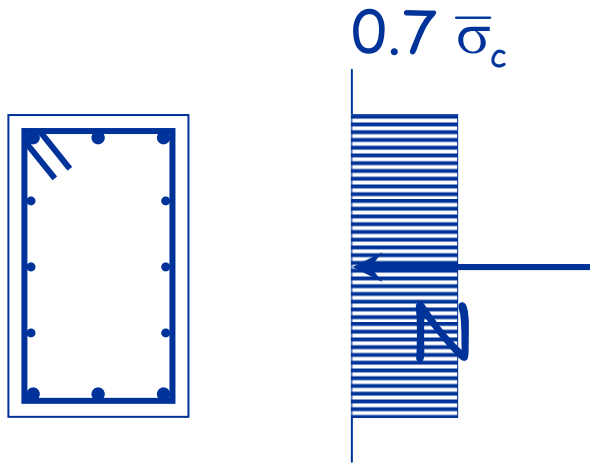
SLU

$$N_{Rd} = \underbrace{\frac{f_{cd} A_c}{1.2}}_{11.8} + \underbrace{\frac{f_{yd} A_s}{1.2}}_{326}$$

Calcestruzzo C25/30

Acciaio B450C

Progetto - tensioni ammissibili



La norma impone $\rho = \frac{A_s}{A_c} \geq 0.008$

$$n = 15$$

$$N_{\max} = 0.7 \bar{\sigma}_c A_c (1 + n \rho)$$

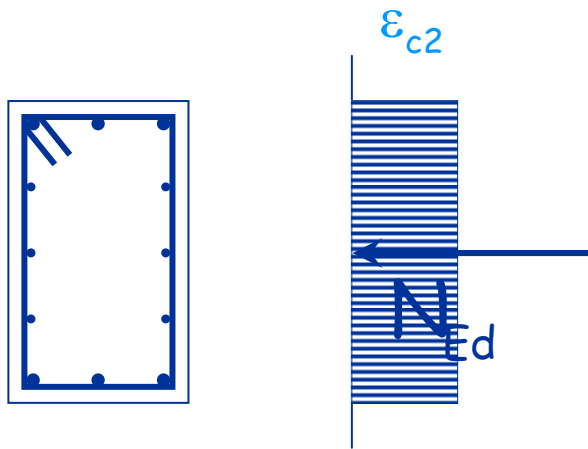
Si determina la sezione
di calcestruzzo

$$A_c \geq \frac{N}{0.784 \bar{\sigma}_c}$$

e poi l'armatura

$$A_s \geq 0.008 A_c$$

Progetto - stato limite ultimo



La norma impone che l'armatura porti almeno il 10% dello sforzo normale

$$N_{Rd} = f_{cd} A_c + 0.2 N_{Ed} \geq 1.2 N_{Ed} \text{ meglio di più}$$

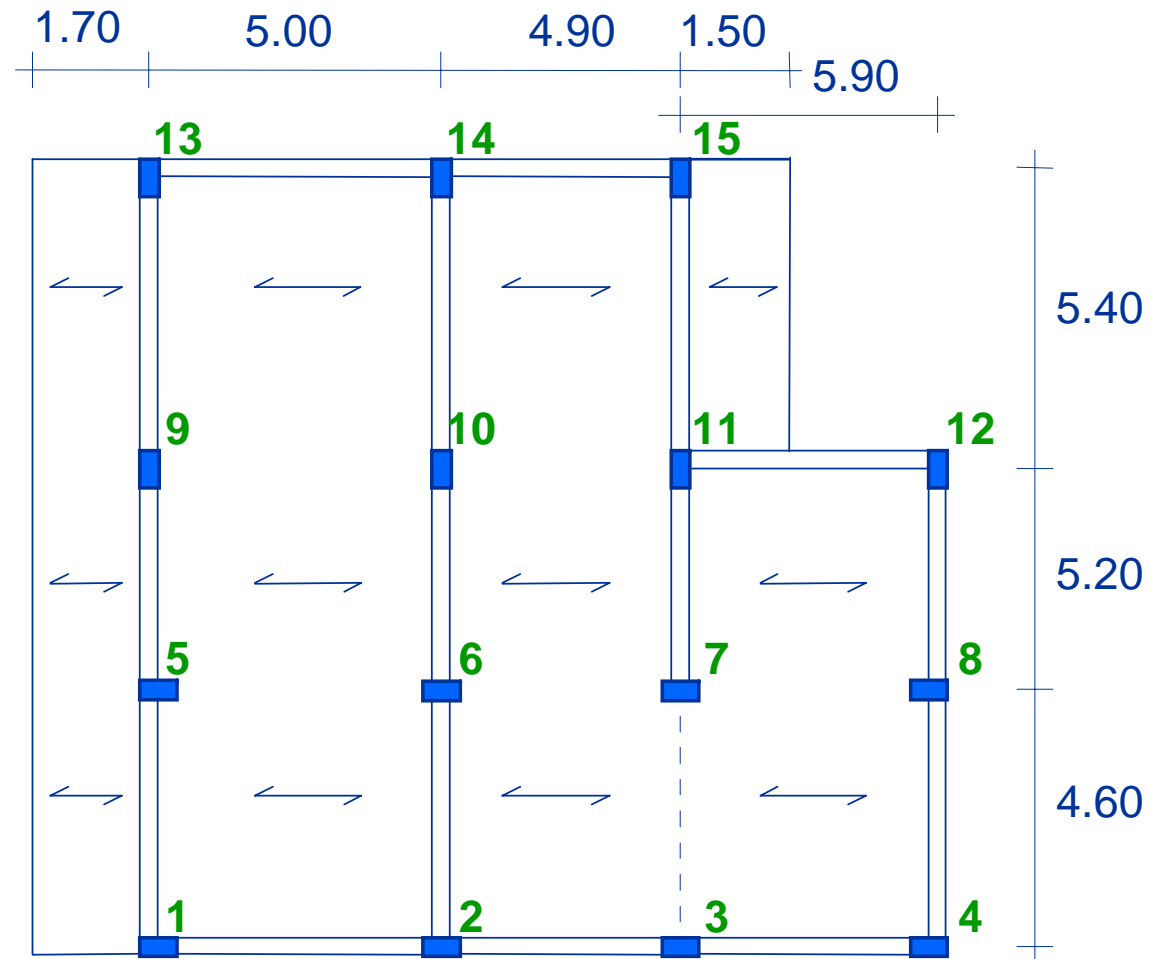
Si determina la sezione di calcestruzzo

$$A_c \geq \frac{N_{Ed}}{f_{cd}}$$

e l'armatura

$$A_s \geq \frac{0.2 N_{Ed}}{f_{yd}}$$

Esempio - edificio a 6 impalcati



Materiali utilizzati

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $f_{cm} = 33 \text{ MPa}$

$$E_c = 22000 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} = 31475 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 0.30 \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 2.56 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 1.80 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 14.17 \text{ MPa}$$

Acciaio

B450C

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 391.3 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{391.3}{210000} = 1.86 \times 10^{-3}$$

Esempio

carichi unitari - solaio per abitazione

Peso proprio (valore caratteristico):

soletta	$0.04 \times 1 \times 1 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3$	=	1.00 kN/m^2	
travetti	$3 \times (0.08 \times 0.20) \times 1 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3$	=	1.20 kN/m^2	
laterizi	$8 \times 0.082 \text{ kN}$	=	$\frac{0.66 \text{ kN/m}^2}{}$	
TOTALE		=	2.86 kN/m^2	G_1

Sovraccarichi permanenti (valore caratteristico):

massetto	$0.03 \times 1 \times 1 \text{ m}^3 \times 18 \text{ kN/m}^3$	=	0.54 kN/m^2	} G_1 G_2 ?
pavimento in granito	$0.02 \times 1 \times 1 \text{ m}^3 \times 27 \text{ kN/m}^3$	=	0.54 kN/m^2	
intonaco	$0.02 \times 1 \times 1 \text{ m}^3 \times 20 \text{ kN/m}^3$	=	0.40 kN/m^2	
incidenza tramezzi		=	$\frac{1.20 \text{ kN/m}^2}{}$	G_2
TOTALE		=	2.68 kN/m^2	

quindi: $G_{1k} = 4.34 \text{ kN/m}^2$ $G_{2k} = 1.20 \text{ kN/m}^2$ ($G_k = 5.54 \text{ kN/m}^2$)

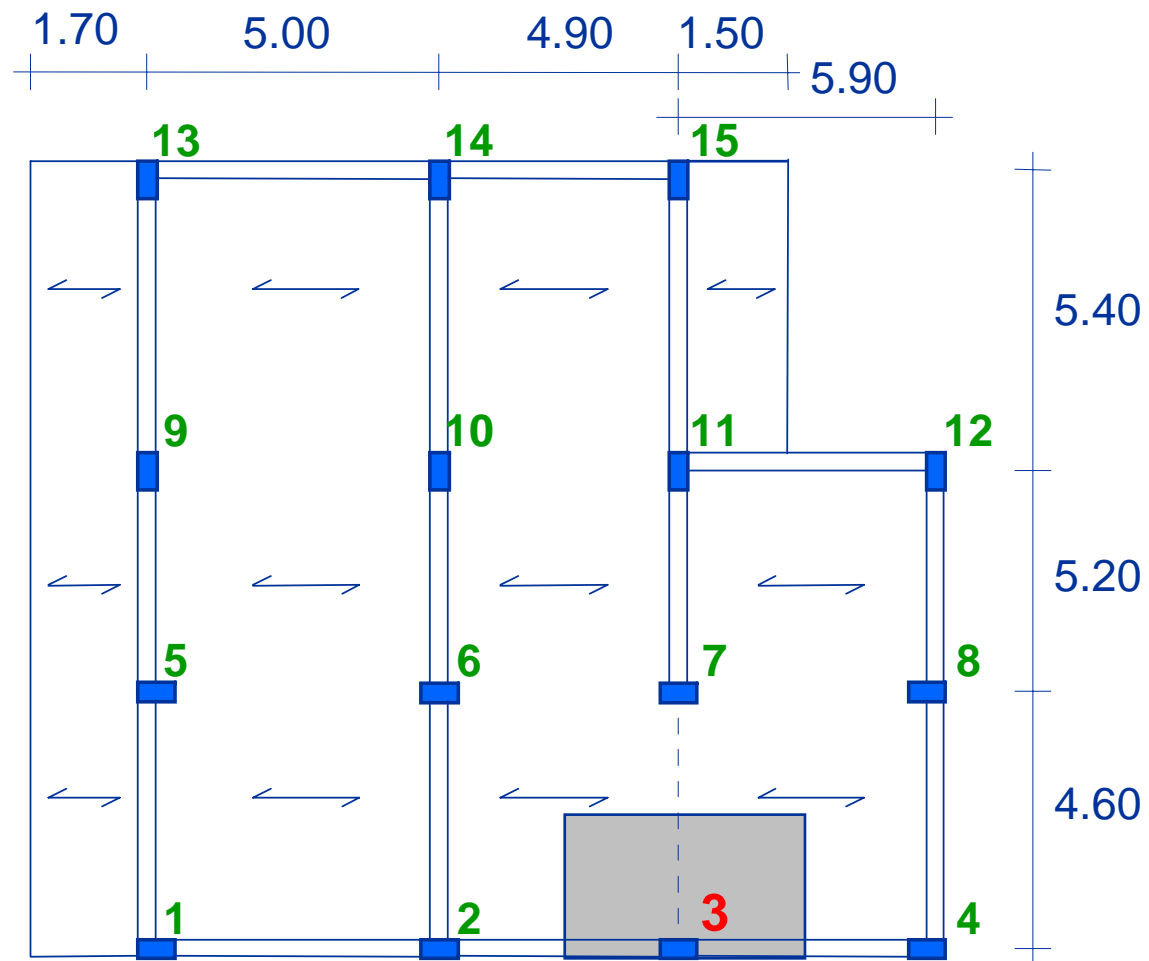
Carichi unitari

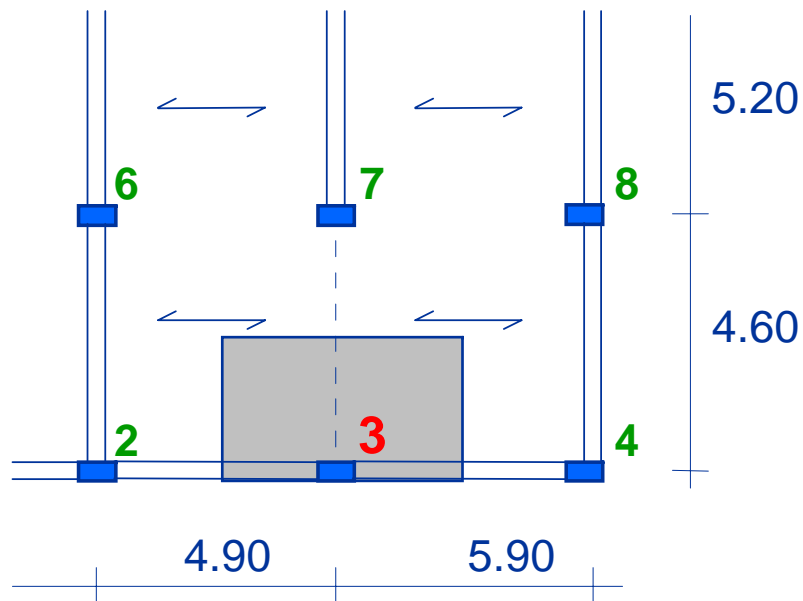
	per TA	per SLU
Solaio	$g_{1k} = 4.3 \text{ kN/m}^2$ $g_{2k} = 1.2 \text{ kN/m}^2$ $q_k = 2.0 \text{ kN/m}^2$	$g_{1d} = 1.3 \times 4.3 = 5.6 \text{ kN/m}^2$ $g_{2d} + q_d = 1.5 \times 3.2 = 4.8 \text{ kN/m}^2$
Balconi	$g_k = 3.9 \text{ kN/m}^2$ $q_k = 4.0 \text{ kN/m}^2$	$g_d = 1.3 \times 3.9 = 5.1 \text{ kN/m}^2$ $q_d = 1.5 \times 4.0 = 6.0 \text{ kN/m}^2$
Tamponature	$g_k = 7.2 \text{ kN/m}$	$g_d = 1.3 \times 7.2 = 9.4 \text{ kN/m}$
Travi 30x60	$g_k = 3.7 \text{ kN/m}$	$g_d = 1.3 \times 3.7 = 4.8 \text{ kN/m}$
70x24	$g_k = 2.4 \text{ kN/m}$	$g_d = 1.3 \times 2.4 = 3.1 \text{ kN/m}$

Riepilogo carichi (per pilastri)

	per TA	per SLU
Solaio ($g + 0.9 q$)	7.1 kN/m ²	9.9 kN/m ²
Balconi ($g + 0.9 q$)	7.5 kN/m ²	10.5 kN/m ²
Tamponature	7.2 kN/m	9.4 kN/m
Travi 30x60	3.7 kN/m	4.8 kN/m
70x24	2.4 kN/m	3.1 kN/m

Scarico al piano tipo pilastro 3





Scarico al piano tipo pilastro 3

$$\frac{228.7}{168.8} = 1.35$$

carico

solaio $\frac{4.90 + 5.90 \times 1.2}{2} \times \frac{4.60}{2} = 13.78 \text{ m}^2 \times 9.9 = 136.4 \text{ kN}$

tompagno $\frac{4.90 + 5.90 \times 1.2}{2} = 6.0 \text{ m} \times 9.4 = 56.4 \text{ kN}$

trave em. $\frac{4.90 + 5.90 \times 1.2}{2} = 6.0 \text{ m} \times 4.8 = 28.8 \text{ kN}$

trave sp. $\frac{4.60}{2} = 2.3 \text{ m} \times 3.1 = 7.1 \text{ kN}$

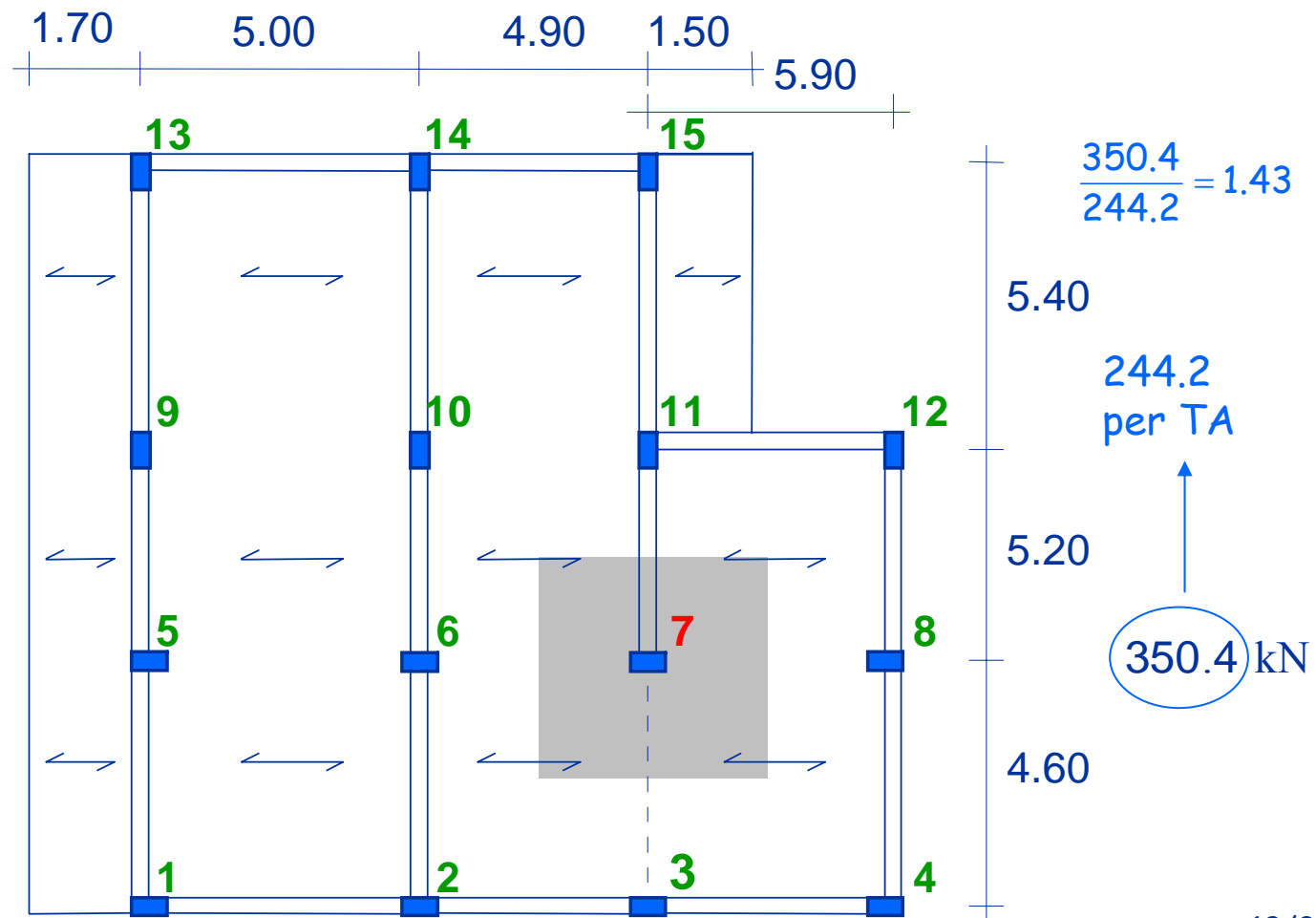
$\frac{228.7}{168.8} = 1.35$

168.8 per TA

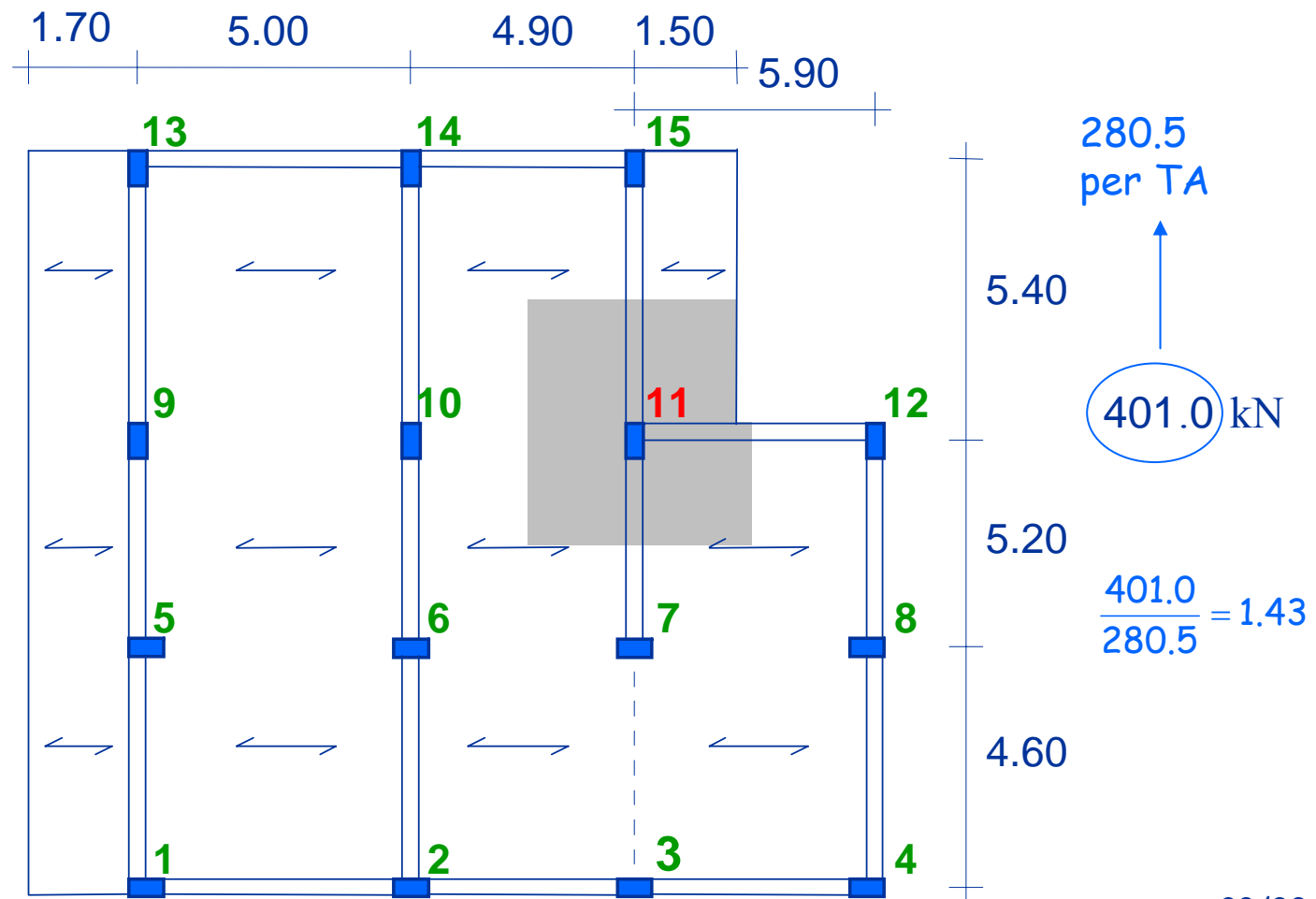
228.7 kN

18/30

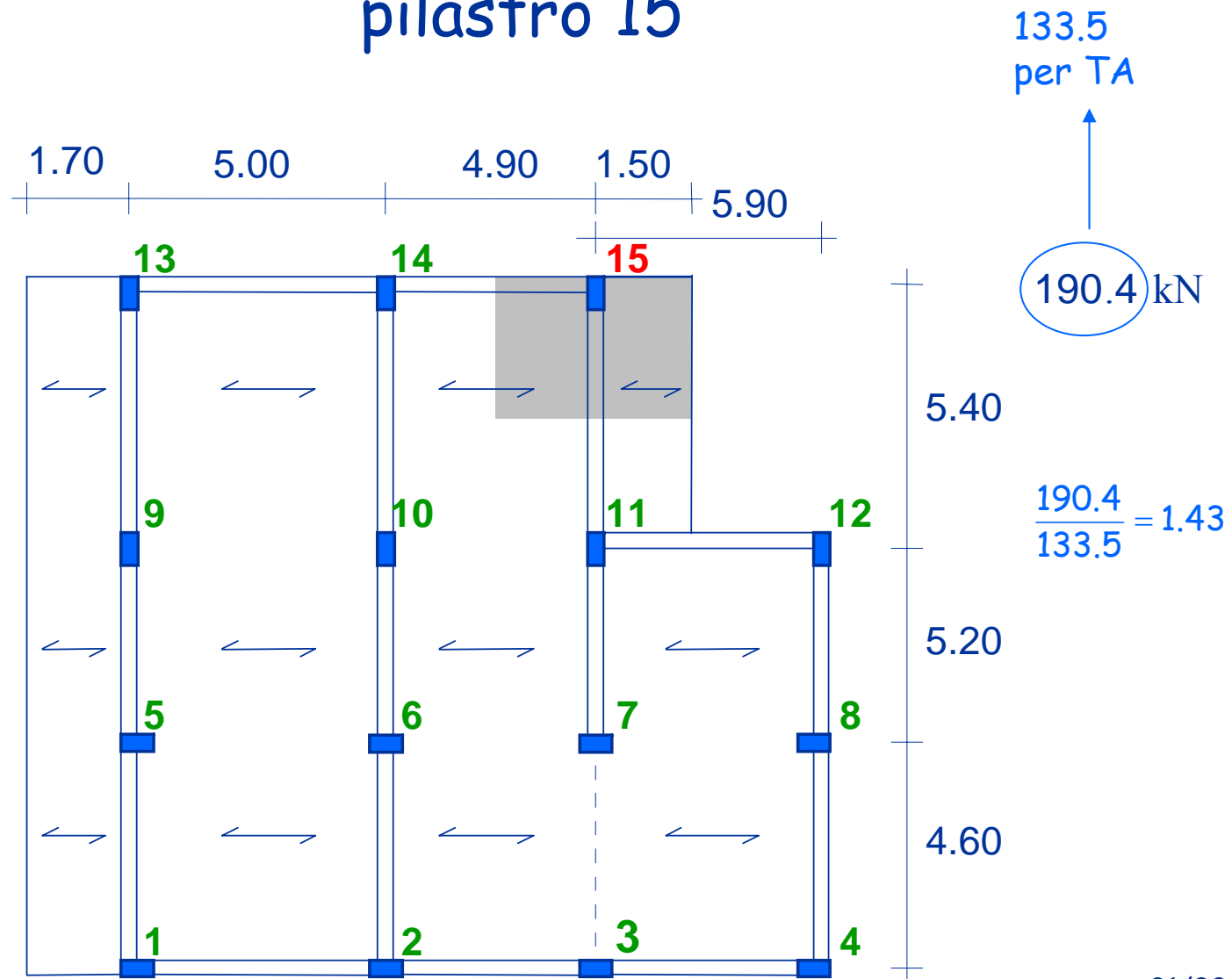
Scarico al piano tipo pilastro 7



Scarico al piano tipo pilastro 11



Scarico al piano tipo pilastro 15



Dimensionamento - pilastro 3

Scarico
al piano 228.7 kN

Peso proprio
medio 13.7 kN

242.4 kN

$$A_c = \frac{N_{Ed}}{f_{cd}}$$

piano	N (kN)	A_c (cm ²)	sezione
6	242.4	171	30×30
5	484.8	342	30×30
4	727.2	513	30×30
3	969.6	684	30×30
2	1212.0	855	30×30
1	1454.4	1026	40×30

Con TA, alla base

1073.4

1404

50×30
22/30

Dimensionamento - pilastro 7

Scarico
al piano 350.4 kN

Peso proprio
medio 21.0 kN

371.4 kN

$$A_c = \frac{N_{Ed}}{f_{cd}}$$

piano	N (kN)	A_c (cm ²)	sezione
6	371.4	262	30×30
5	742.8	524	30×30
4	1114.2	786	30×30
3	1485.6	1048	40×30
2	1857.0	1310	50×30
1	2228.4	1572	60×30

Con TA, alla base

1553.4

2032

70×30
23/30

Dimensionamento - pilastro 11

Scarico al piano	401.0 kN
Peso proprio medio	24.1 kN
	<hr/>
	425.1 kN

$$A_c = \frac{N_{Ed}}{f_{cd}}$$

piano	N (kN)	A_c (cm ²)	sezione
6	425.1	300	30×30
5	850.2	600	30×30
4	1275.3	900	30×30
3	1700.4	1200	30×40
2	2125.2	1500	30×50
1	2550.6	1800	30×60

Con TA, alla base

1783.8

2334

40×60
24/30

Dimensionamento - pilastro 15

Scarico
al piano 190.4 kN

Peso proprio
medio 11.4 kN

201.8 kN

$$A_c = \frac{N_{Ed}}{f_{cd}}$$

piano	N (kN)	A_c (cm ²)	sezione
6	201.8	142	30×30
5	403.6	285	30×30
4	605.4	427	30×30
3	807.2	570	30×30
2	1009.0	712	30×30
1	1210.8	855	30×30

Con TA, alla base

849.0

1111

30×40
25/30

Armature longitudinali dei pilastri (NTC08 punto 4.1.6.1.2)

Le barre d'armatura devono avere diametro non minore di 12 mm ed interasse non maggiore di 300 mm

La quantità minima di armatura longitudinale totale $A_{s,min}$ deve essere determinata con la seguente equazione:

dove:
$$A_{s,min} = \frac{0.10 N_{Ed}}{f_{yd}} \geq 0.003 A_c$$

consiglio
0.20

f_{yd} è la tensione di snervamento di calcolo dell'armatura;

N_{Ed} è la forza di compressione assiale di calcolo;

A_c è l'area della sezione trasversale del calcestruzzo.

NOTA BENE:

in zona sismica le armature sono maggiori (min 1%)

Armatura minima nei pilastri (NTC08 punto 4.1.6.1.2)

$$A_{s,min} = \frac{0.20 N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_{c,nec} = \frac{N_{Ed}}{f_{cd}}$$

$$\frac{A_{s,min}}{A_{c,nec}} = \frac{0.20 N_{Ed} / f_{yd}}{N_{Ed} / f_{cd}} = \frac{0.20 f_{cd}}{f_{yd}}$$

Ad esempio

Acciaio Be50C: $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

Calcestruzzo C25/30: $f_{cd} = 14.17 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{A_{s,min}}{A_{c,nec}} = \frac{0.20 \times 14.17}{391.3} = 0.00724 \cong 0.7\%$$

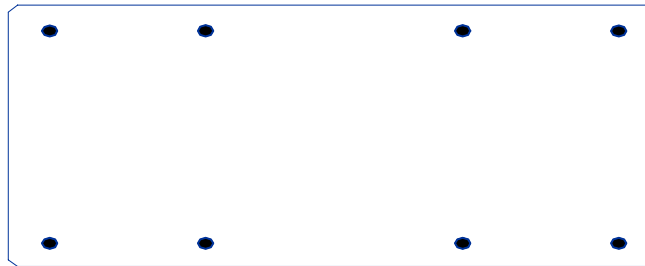
Armature del pilastro 11 al primo ordine

30x60



Armatura minima (su tutta la sezione):

$$A_{s,min} = \frac{0.20 \times 1800}{391.3} \times 10 = 9.2 \text{ cm}^2$$



$$A_{s,tot} = 8\varnothing 14 = 12.3 \text{ cm}^2 > A_{s,min}$$

Armature longitudinali dei pilastri (NTC08 punto 4.1.6.1.2)

Di regola, al di fuori delle sovrapposizioni, l'area dell'armatura non deve essere maggiore di $0,04A_c$.

Ulteriori indicazioni (EC2):

- Le barre longitudinali devono, di regola, essere distribuite lungo il perimetro della sezione;
- Per pilastri aventi sezione trasversale poligonale, almeno una barra sarà disposta in ogni spigolo.
- Per pilastri di sezione circolare, il numero minimo di barre è 6.

Armature trasversali dei pilastri (NTC08 punto 4.1.6.1.2)

Interasse delle staffe non maggiore di 12 volte il diametro delle barre impiegate per l'armatura longitudinale (e non superiori a 250 mm).

Diametro delle staffe non minore di 6 mm e di $\frac{1}{4}$ del diametro massimo delle barre longitudinali.