

Esempi svolti relativi al capitolo 9

Punzonamento

| | | |
|------------------|--|-------|
| 9.1 | Esempio 9.1. Calcolo del coefficiente β per un pilastro interno a sezione rettangolare | A9.3 |
| 9.2 | Esempio 9.2. Calcolo del massimo valore del taglio-punzonamento..... | A9.4 |
| 9.3 | Esempio 9.3. Calcolo dell'altezza utile minima di una piastra | A9.4 |
| 9.4 | Esempio 9.4. Pilastro a sezione circolare munito di capitello con $l_H > 2 h_H$ | A9.5 |
| 9.5 | Esempio 9.5. Pilastro a sezione rettangolare munito di capitello..... | A9.5 |
| 9.6 | Esempio 9.6. Resistenza a punzonamento di una piastra priva di armature trasversali su un pilastro a sezione quadrata | A9.6 |
| 9.7 | Esempio 9.7. Resistenza a punzonamento di una piastra priva di armature trasversali su un pilastro a sezione rettangolare..... | A9.7 |
| 9.8 | Esempio 9.8. Calcolo del valore massimo dell'altezza utile d per cui $V_{Rd,c} \leq V_{Rd,max}$ | A9.8 |
| 9.9 | Esempio 9.9. Calcolo dell'armatura a taglio-punzonamento (barre piegate) | A9.8 |
| 9.10 | Esempio 9.10. Calcolo dell'armatura a taglio-punzonamento (cuciture verticali "studs") | A9.12 |
| 9.11 | Esempio 9.11. Verifica a taglio-punzonamento di un plinto di fondazione privo di armature a punzonamento | A9.15 |
| 9.12 | Esempio 9.12. Determinazione del perimetro critico di un plinto di fondazione | A9.19 |
| 9.13 | Esempio 9.13. Verifica in presenza di carico eccentrico | A9.19 |
| 9.14 | Esempio 9.14. Progetto dell'armatura trasversale in presenza di carico eccentrico | A9.21 |
| Appendice A..... | | A9.26 |
| Appendice B..... | | A9.38 |

9.1 Esempio 9.1. Calcolo del coefficiente β per un pilastro interno a sezione rettangolare

Si calcoli il coefficiente β per un pilastro a sezione rettangolare di dimensioni $c_1 \times c_2 = 500 \times 300$ mm che sostiene una piastra di altezza utile pari a 250 mm. Le sollecitazioni di progetto valgono: $V_{Ed} = 1000$ kN, $M_{Ed} = 500$ kNm e l'eccentricità è parallela al lato $c_1 = 500$ mm.

Il coefficiente β è dato dalla seguente espressione

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{u_1}{W_1}$$

dove

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{c_1^2}{2} + 16d^2 + 2\pi dc_1 + 4c_2d + c_1c_2 = \\ &= \frac{500^2}{2} + 16 \cdot 250^2 + 2\pi \cdot 250 \cdot 500 + 4 \cdot 300 \cdot 250 + 500 \cdot 300 = \\ &= 2360398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$u_1 = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 4\pi d = 2 \cdot (500 + 300) + 4 \cdot \pi \cdot 250 = 4742 \text{ mm}$$

$$k = 0,6 + 0,1 \cdot (c_1/c_2 - 1) = 0,6 + 0,1 \cdot (500/300 - 1) = 0,666 \text{ (dalla (9.2) essendo } c_1/c_2 = 1,66 > 1)$$

sostituendo questi valori nell'espressione sopra si ottiene:

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{u_1}{W_1} = 1 + 0,666 \frac{500000}{1000} \cdot \frac{4742}{2360398} = 1,67$$

Si ricalcola ora β con l'ausilio del prospetto 9.5

$$\beta = 1 + e/\alpha$$

dove $e = M_{Ed} / N_{Ed} = 500000 / 1000 = 500$ mm

per $c_1 = 500$ mm e $c_2 = 300$ mm il prospetto 9.5 fornisce

$$\alpha = 650 \text{ mm} \quad \text{per } d = 200 \text{ mm}$$

$$\alpha = 843 \text{ mm} \quad \text{per } d = 300 \text{ mm}$$

utilizzando l'interpolazione lineare per $d = 250$ mm si ottiene

$$\alpha = 650 + (843 - 650) \cdot (250 - 200) / (300 - 200) = 747 \text{ mm}$$

infine il coefficiente β vale

$$\beta = 1 + e/\alpha = \beta = 1 + 500 / 747 = 1,67.$$

9.2 Esempio 9.2. Calcolo del massimo valore del taglio-punzonamento

Determinare il taglio resistente massimo $V_{Rd,max}$ per una piastra di calcestruzzo C30/37, di altezza utile 250 mm, su un pilastro a sezione circolare di diametro 250 mm e per una piastra con la stessa altezza utile, ma di calcestruzzo C25/30 e su un pilastro a sezione quadrata di lato 300 mm.

Pilastro a sezione circolare

Per $c = 250$ mm, $d = 250$ mm e $f_{ck} = 25$ N/mm², il prospetto 9.8 fornisce $V_{Rd,max} = 556$ kN; per un calcestruzzo di classe C30/37 è sufficiente moltiplicare questo valore per il rapporto $f_{ck} / 25 = 30 / 25 = 1,2$

$$V_{Rd,max} = 556 \cdot 1,2 = 667 \text{ kN}$$

Pilastro a sezione quadrata

Per $c_1+c_2 = 600$ mm, $d = 250$ mm e $f_{ck} = 25$ N/mm², il prospetto 9.9 fornisce direttamente il valore cercato

$$V_{Rd,max} = 850 \text{ kN}$$

9.3 Esempio 9.3. Calcolo dell'altezza utile minima di una piastra

Determinare l'altezza utile minima di una piastra di calcestruzzo C25/30, che poggia su un pilastro rettangolare interno di dimensioni 300×400 mm soggetto ad uno sforzo normale centrato di 850 kN. Si consideri poi il caso in cui sia presente anche un momento flettente, assumendo per β il valore approssimato 1,15 indicato nella figura 9.32 del volume.

Sforzo normale centrato

Per $c_1+c_2 = 300 + 400 = 700$ mm e $f_{ck} = 25$ N/mm², il prospetto 9.11 fornisce per d_{min}/V_{Ed} il valore 0,252.

Il valore cercato è pertanto

$$d_{min} = 0,252 \times 850 = 214 \text{ mm.}$$

Sforzo normale eccentrico

Assumendo $\beta = 1,15$ si ha: $d_{min} = 214 \times 1,15 \cong 246$ mm.

9.4 Esempio 9.4. Pilastro a sezione circolare munito di capitello con $l_H > 2 h_H$

Calcolare i valori di $r_{\text{cont,int}}$ e $r_{\text{cont,ext}}$ per un pilastro a sezione circolare di 300 mm di diametro munito di capitello con $l_H = 750$ mm e $h_H = 150$ mm. L'altezza utile della piastra è di 200 mm.

Essendo $l_H > 2 h_H$, le distanze $r_{\text{cont,ext}}$ e $r_{\text{cont,int}}$ valgono

$$r_{\text{cont,ext}} = l_H + 2 d + 0,5 c = 750 + 2 \cdot 200 + 0,5 \cdot 300 = 1300 \text{ mm}$$

$$r_{\text{cont,int}} = 2 (d + h_H) + 0,5 c = 2 (200 + 150) + 0,5 \cdot 300 = 850 \text{ mm}.$$

9.5 Esempio 9.5. Pilastro a sezione rettangolare munito di capitello

Determinare il perimetro critico di un pilastro a sezione rettangolare di dimensioni $c_1 \times c_2 = 300 \times 400$ mm munito di un capitello di altezza $h_H = 250$ mm; si consideri sia il caso $l_H = 400$ mm sia $l_H = 600$ mm. L'altezza utile della piastra è di 250 mm.

Caso $l_H = 400$ mm

Essendo $l_H \leq 2 h_H$, la distanza r_{cont} vale $r_{\text{cont}} = \min \begin{cases} 2d + 0,56 \sqrt{l_1 l_2} \\ 2d + 0,69 l_1 \end{cases}$

dove

$$l_1 = c_1 + 2 l_H = 300 + 2 \cdot 400 = 1100 \text{ mm}$$

$$l_2 = c_2 + 2 l_H = 400 + 2 \cdot 400 = 1200 \text{ mm}$$

risulta

$$r_{\text{cont}} = \min \begin{cases} 1143 \text{ mm} \\ 1259 \text{ mm} \end{cases} = 1143 \text{ mm}$$

e il perimetro di verifica di base

$$u_1 = 2 \pi r_{\text{cont}} = 2 \pi \cdot 1143 = 7182 \text{ mm}$$

Caso $l_H = 600$ mm

Essendo $l_H > 2 h_H$, la distanza $r_{\text{cont,ext}}$ è pari a

$$r_{\text{cont,ext}} = \min \left[2d + 0,56 \sqrt{l_1 l_2}; 2d + 0,69 l_1 \right] = 1367 \text{ mm}$$

dove

$$l_1 = c_1 + 2 l_H = 300 + 2 \cdot 600 = 1500 \text{ mm}$$

$$l_2 = c_2 + 2 l_H = 400 + 2 \cdot 600 = 1600 \text{ mm}$$

ed i perimetri di verifica di base valgono

$$u_{\text{ext}} = 2 \pi r_{\text{cont,ext}} = 2 \pi \cdot 1367 = 8589 \text{ mm}$$

$$u_{\text{int}} = 2 (c_1 + c_2) + 4 \pi (d + h_H) = 2 (300 + 400) + 4 \pi 500 = 7683 \text{ mm}$$

9.6 Esempio 9.6. Resistenza a punzonamento di una piastra priva di armature trasversali su un pilastro a sezione quadrata

Calcolare la resistenza a taglio-punzonamento di una piastra di spessore $s = 300$ mm su un pilastro a sezione quadrata di 400 mm di lato. L'armatura flessionale della piastra è costituita da 1ϕ16/150 in entrambe le direzioni, il calcestruzzo è di classe C28/35 ed il copriferro è pari a 30 mm.

Altezza utile direzione x

$$d_y = s - c - \phi/2 = 300 - 30 - 8 = 262 \text{ mm}$$

Altezza utile direzione y

$$d_z = s - c - \phi - \phi/2 = 300 - 30 - 16 - 8 = 246 \text{ mm}$$

Altezza utile piastra

$$d = (d_y + d_z) / 2 = 254 \text{ mm}$$

Rapporto geometrico di armatura

$$1 \phi 16 / 150 \text{ mm} \Rightarrow A_{l,ly} = A_{l,lz} = 201 \text{ mm}^2 \quad i_y = i_z = 150 \text{ mm}$$

$$\rho_l = \rho_{ly} = \rho_{lz} = A_{l,ly} / (i_y d) = 201 / (150 \cdot 254) = 5,27 \text{ ‰} < 2 \text{ ‰}$$

Calcolo analitico

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,887$$

resistenza a taglio-punzonamento

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 1,887 \cdot (100 \cdot 0,00527 \cdot 28)^{1/3} = 0,555 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo tabellare

Si ripete il calcolo di $v_{Rd,c}$ facendo uso del prospetto 9.14.

Per $f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$, $d = 250$ mm (di poco inferiore al valore effettivo di 254 mm) e $\rho_l = 0,5 \text{ ‰}$, si ha

$$v_{Rd,c} = 0,548 \text{ N/mm}^2$$

Volendo considerare l'esatta percentuale di armatura ($\rho_l = 0,527 \text{ ‰}$), è sufficiente moltiplicare il valore corrispondente a $\rho_l = 0,5 \text{ ‰}$ per il rapporto $(0,527/0,5)^{1/3} = 1,018$

$$v_{Rd,c} = 0,548 \cdot 1,018 = 0,558 \text{ N/mm}^2$$

Il valore ottenuto per via tabellare è di poco superiore a quello determinato per via analitica; la differenza è dovuta al fatto che i valori tabellati fanno riferimento ad un'altezza utile un po' inferiore a quella effettiva ($250 \text{ mm} < 254 \text{ mm}$).

9.7 Esempio 9.7. Resistenza a punzonamento di una piastra priva di armature trasversali su un pilastro a sezione rettangolare

Calcolare la resistenza a taglio-punzonamento di una piastra di spessore $s=250$ mm su un pilastro a sezione rettangolare di 300×500 mm. L'armatura flessionale della piastra è costituita da $1\phi 16/200$ in entrambe le direzioni, il calcestruzzo è di classe C25/30 ed il copriferro è pari a 25 mm.

Altezza utile direzione x

$$d_y = s - c - \phi/2 = 250 - 25 - 8 = 217 \text{ mm}$$

Altezza utile direzione y

$$d_z = s - c - \phi - \phi/2 = 250 - 25 - 16 - 8 = 201 \text{ mm}$$

Altezza utile piastra

$$d = (d_y + d_z) / 2 = 209 \text{ mm}$$

Rapporto geometrico di armatura

$$1 \phi 16 / 200 \text{ mm} \Rightarrow A_{l,ly} = A_{l,lz} = 201 \text{ mm}^2 \quad i_y = i_z = 200 \text{ mm}$$

$$\rho_l = \rho_{ly} = \rho_{lz} = A_{l,ly} / (i_y d) = 201 / (200 \cdot 209) = 0,481 \% < 2 \%$$

Calcolo analitico

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,978$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 1,978 \cdot (100 \cdot 0,00481 \cdot 25)^{1/3} = 0,54 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo tabellare

Dal prospetto 9.14 per $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ e $\rho_l = 0,5 \%$, si ha

$$v_{Rd,c} = 0,557 \text{ N/mm}^2 \text{ per } d = 200 \text{ mm}$$

$$v_{Rd,c} = 0,528 \text{ N/mm}^2 \text{ per } d = 250 \text{ mm}$$

interpolando linearmente questi valori, per $d=209$ mm si ottiene

$$v_{Rd,c} = 0,552 \text{ N/mm}^2$$

Come nell'esempio 9.6, volendo considerare l'esatta percentuale di armature flessionali ($\rho_l = 0,481 \%$), si moltiplica il risultato ottenuto per il rapporto $(0,481/0,5)^{1/3}$ e si ricava

$$v_{Rd,c} = 0,552 \cdot (0,481/0,5)^{1/3} = 0,545 \text{ N/mm}^2$$

9.8 Esempio 9.8. Calcolo del valore massimo dell'altezza utile d per cui $V_{Rd,c} \leq V_{Rd,max}$

Si valuti quale sia la condizione di verifica più gravosa per una piastra priva di armature trasversali di altezza utile $d = 250$ mm in corrispondenza di un pilastro a sezione rettangolare di 300×400 mm e di un pilastro a sezione circolare di diametro 350 mm. Il calcestruzzo è di classe C25/30 e la percentuale di armatura flessionale è pari a 0,02.

Pilastro a sezione rettangolare 300×400 mm

$$u_0 = 2 (300 + 400) = 1400 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,max} = 0,2 f_{cd} = 0,2 \cdot 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 2,833 \text{ N/mm}^2$$

$$u_1 = u_0 + 2 \pi (2d) = 1400 + 2 \pi (2 \cdot 250) = 4542 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,max}^* = V_{Rd,max} u_0 = 2,833 \cdot 1400 = 3966 \text{ N / mm}$$

$$k = 1 + (200/250)^{0,5} = 1,894$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 1,894 \cdot (100 \cdot 0,02 \cdot 25)^{1/3} = 0,837 \text{ N/mm}^2$$

9.9 Esempio 9.9. Calcolo dell'armatura a taglio-punzonamento (barre piegate)

È data una piastra di calcestruzzo C28/35 con altezza utile $d = 250$ mm posta su un pilastro a sezione rettangolare di dimensioni $c_1 \times c_2 = 300 \times 500$ mm. L'armatura flessionale della piastra è costituita da $1\phi 16/200$ in entrambe le direzioni e i baricentri delle armature distano $d' = 40$ mm dai lembi. Si progettino le barre piegate necessarie come armatura a punzonamento considerando i seguenti due casi: a) $V_{Ed} = 800$ kN, b) $V_{Ed} = 920$ kN.

Caso a) $V_{Ed} = 800$ kN

Verifica sul contorno del pilastro

Massima resistenza a taglio-punzonamento

$$v_{Rd,max} = 0,2 f_{cd} = 0,2 \cdot 0,85 \cdot 28 / 1,5 = 3,17 \text{ N/mm}^2$$

Tensione di punzonamento lungo il contorno del pilastro

$$v_{Ed,0} = V_{Ed} / u_0 d = 800\,000 / [2 \cdot (300 + 500) \cdot 250] = 2 \text{ N/mm}^2 < v_{Rd,max}$$

essendo $v_{Ed,0} < v_{Rd,max}$ la verifica è soddisfatta.

Verifica sul perimetro critico u_1

Perimetro critico

$$u_1 = 2 (c_1 + c_2) + 2 \pi (2 d) = 2 (300 + 500) + 2 \pi 500 = 4742 \text{ mm}$$

¹ Il simbolo V^* indica la resistenza a taglio-punzonamento per unità di lunghezza del perimetro di verifica, mentre il corrispondente simbolo senza asterisco indica la resistenza totale, che ha le dimensioni di una forza; valgono le seguenti relazioni: $V_{Rd,max} = V_{Rd,max}^* \cdot d$; $V_{Rd,c} = V_{Rd,c}^* \cdot d$.

Tensione di punzonamento lungo il perimetro critico

$$v_{Ed,1} = V_{Ed} / u_1 d = 800\,000 / (4742 \cdot 250) = 0,67 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a taglio-punzonamento in assenza di armature trasversali

Per $d = 250 \text{ mm}$ e $1\phi 16/200$ in entrambe le direzioni, dal prospetto A9.3 dell'Appendice A si ricava

$$v_{Rd,c} = 0,510 \text{ N/mm}^2$$

risulta $v_{Ed,1} > v_{Rd,c}$ per cui la verifica non è soddisfatta e si adottano barre piegate.

Perimetro u_{out} e sua distanza $k'd$ dal contorno del pilastro²

$$u_{out} = \beta V_{Ed} / (v_{Rd,c} d) = 1,0 \cdot 800\,000 / (0,510 \cdot 250) = 6275 \text{ mm}$$

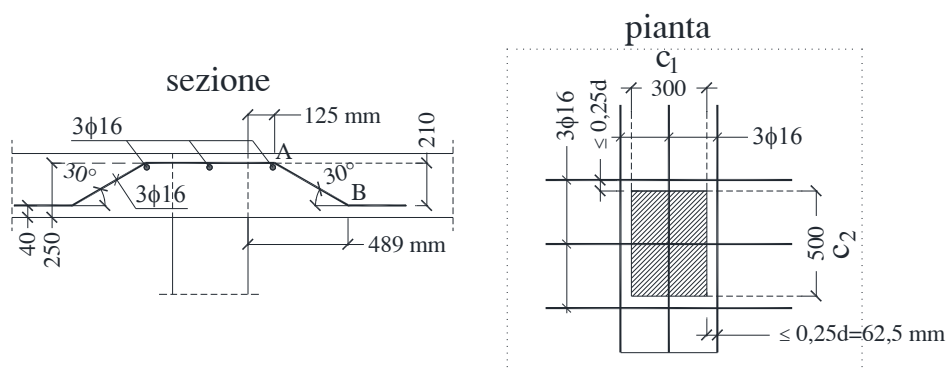


Figura A9.1 Armature a punzonamento dell'esempio 9.9 formate da una sola fila di barre piegate a 30° (calcolo secondo EC2 per $V_{Ed} = 800 \text{ kN}$).

$$k'd = [u_{out} - 2(c_1 + c_2)] / (2 \pi) = [6275 - 2(300 + 500)] / (2 \pi) = 744 \text{ mm}$$

$$k' = 744 / 250 = 2,98$$

Numero di file di barre piegate

La fila più esterna di barre piegate non deve distare da u_{out} più di $1,5d$, cosicché le barre piegate devono coprire un tratto BC (fig. 9.45) lungo $(k' - 1,5)d = 1,48d = 370 \text{ mm}$.

Una sola fila di barre piegate poste a $0,5d$ dal contorno del pilastro copre un tratto BC lungo $0,5d + (d - d') = 335 \text{ mm} < 1,48d$ se le barre sono inclinate di 45° e lungo $0,5d + (d - d') / \tan 30^\circ \cong 489 \text{ mm} > 1,48d$ se sono inclinate di 30° (angolo minimo consentito da EC2 per una sola fila di barre piegate). Una sola fila di barre piegate a 30° è pertanto sufficiente come armatura a punzonamento.

² Le barre piegate sono disposte in pianta in due direzioni ortogonali pertanto il perimetro da considerare è $u_{out,ef}$ (fig. 9.43b); tuttavia per semplicità di calcolo è stato usato u_{out} , visto che adottando nell'esempio una fila o due file di barre piegate risulta $u_{out,ef} \cong u_{out}$, sebbene con minore approssimazione nel caso di due file.

Progetto barre piegate a 30° su una sola fila secondo EC2

L'armatura a taglio-punzonamento deve assorbire la differenza $v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c}$

$$\Delta v_{Ed} = v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c} = 0,67 - 0,75 \cdot 0,510 = 0,29 \text{ N/mm}^2$$

ossia il taglio resistente offerto dalle armature deve essere almeno pari a

$$V''_{Rd,cs} = \Delta v_{Ed} \cdot u_1 \cdot d = 0,29 \cdot 4742 \cdot 250 = 343\,795 \text{ N} \cong 344 \text{ kN}$$

si adottano barre piegate di 16 mm di diametro; dal prospetto 9.17 per $d=250$ mm si ricava che una sola barra di 16 mm di diametro con due bracci inclinati a 45° fornisce

$$V''_{Rd,cs(1)} = [1,5 (d/s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} \sin \alpha] = 89,3 \text{ kN}$$

mentre per piegatura a 30° si ha

$$V''_{Rd,cs(1)} = 89,3 \cdot (\sin 30^\circ / \sin 45^\circ) = 63,1 \text{ kN}$$

pertanto il numero di barre richiesto è pari a

$$n = V''_{Rd,cs} / V''_{Rd,cs(1)} = 344 / 63,1 = 5,5 \cong 6$$

si dispongono 3 barre nella direzione parallela a c_1 e 3 barre nella direzione parallela a c_2 , come mostrato nella figura A9.1.

Caso b) $V_{Ed} = 920 \text{ kN}$ **Verifica sul contorno del pilastro**

$$v_{Ed,0} = V_{Ed} / u_0 d = 920\,000 / [2 \cdot (300 + 500) \cdot 250] = 2,3 \text{ N/mm}^2 < v_{Rd,max}$$

essendo $v_{Ed,0} < v_{Rd,max}$ la verifica è soddisfatta

Verifica sul perimetro critico u_1

Perimetro critico

$$u_1 = 4742 \text{ mm}$$

Tensione di punzonamento lungo il perimetro critico

$$v_{Ed,1} = V_{Ed} / u_1 d = 920\,000 / (4742 \cdot 250) = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

risulta $v_{Ed,1} > v_{Rd,c}$ e pertanto occorre progettare le armature a punzonamento

Perimetro u_{out} e sua distanza $k'd$ dal contorno del pilastro

$$u_{out} = \beta V_{Ed} / (v_{Rd,c} d) = 1,0 \cdot 920\,000 / (0,510 \cdot 250) = 7216 \text{ mm}$$

$$k'd = [u_{out} - 2(c_1 + c_2)] / (2 \pi) = [7216 - 2(300 + 500)] / (2 \pi) = 894 \text{ mm}$$

$$k' = 894 / 250 = 3,58$$

Numero di file di barre piegate

Le barre piegate devono coprire un tratto BC lungo $(k' - 1,5)d = 2,08d \cong 520$ mm, pertanto una sola fila di barre piegate a 30° non è ora sufficiente. Si adottano due file di barre piegate a 45° : la prima a $0,5d$ dal pilastro e la seconda a $1,25d$ dal pilastro, in modo da coprire un tratto BC pari a $(0,5d + 0,75d + d - d') = 2,25d - d' = 522,5$ mm > 520 mm.

Progetto barre piegate a 45° su due file secondo EC2

L'armatura a taglio-punzonamento deve assorbire la differenza $v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c}$

$$\Delta v_{Ed} = v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c} = 0,78 - 0,75 \cdot 0,510 = 0,40 \text{ N/mm}^2$$

ossia il taglio resistente offerto dalle armature deve essere almeno pari a

$$V''_{Rd,cs} = \Delta v_{Ed} \cdot u_1 \cdot d = 0,40 \cdot 4742 \cdot 250 = 474\,200 \text{ N} \cong 474 \text{ kN}$$

si adottano barre di 14 mm di diametro piegate a 45° ; dal prospetto 9.17 per $d=250$ mm si ricava che una sola barra di 14 mm di diametro con due bracci inclinati a 45° fornisce

$$V''_{Rd,cs(1)} = [1,5 (d/s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} \sin \alpha] = 68,4 \text{ kN}$$

pertanto il numero di barre richiesto è pari a

$$n = V''_{Rd,cs} / V''_{Rd,cs(1)} = 474 / 68,4 = 6,9 \cong 7$$

su ognuna delle due file si dispongono 4 barre nella direzione parallela a c_1 e 3 barre nella direzione parallela a c_2 , come mostrato nella figura A9.2.

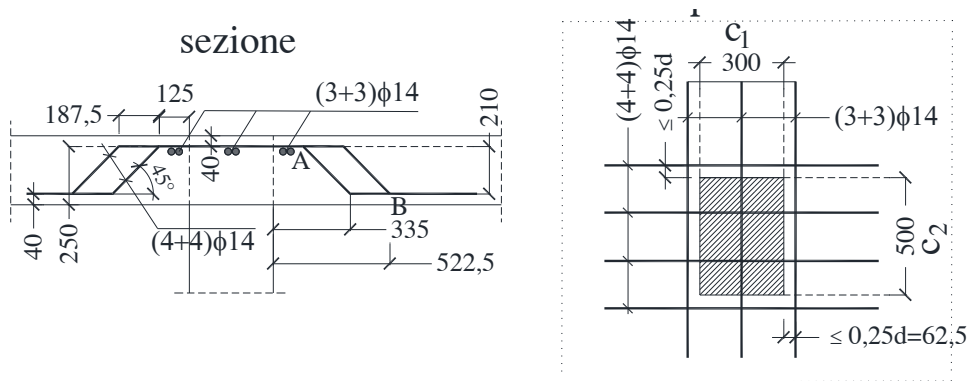


Figura A9.2 Armature a punzonamento dell'esempio 9.9 formate da barre piegate a 45° su due file (calcolo secondo EC2 per $V_{Ed} = 920$ kN).

9.10 Esempio 9.10. Calcolo dell'armatura a taglio-punzonamento (cuciture verticali “studs”)

Per la piastra dell'esempio 9.9 si progettino le cuciture verticali (“studs”) necessarie per sopportare una forza di punzonamento di 1200 kN.

Si elencano i passi che portano a determinare il numero totale di file di cuciture, il loro diametro ed il numero di cuciture all'interno di ogni fila.

Perimetro di verifica u_{out} lungo il quale l'armatura a taglio non è più necessaria

$$u_{out} = \frac{\beta V_{Ed}}{v_{Rd,c} d} = \frac{1,0 \cdot 1200000}{0,510 \cdot 250} = 9412 \text{ mm}$$

(dove $v_{Rd,c} = 0,510 \text{ N/mm}^2$ si ricava dal prospetto A9.3 dell'Appendice A per $d=250 \text{ mm}$ ed armature flessionali costituite da $1\phi 16/200$ in entrambe le direzioni)

Distanza $k'd$ del perimetro u_{out} dal contorno del pilastro

$$k'd = [u_{out} - 2(c_1 + c_2)] / (2 \pi) = [9412 - 2(300 + 500)] / (2 \pi) = 1243 \text{ mm}$$

$$k' = 1243 / 250 = 4,972$$

Passo massimo $s_{r,max}$ in direzione radiale

$$s_{r,max} = 0,75 d = 0,75 \cdot 250 = 187,5 \text{ mm}$$

Distanza a_1 della prima fila di armature dal pilastro

$$0,30 d = 75 \text{ mm} \leq a_1 \leq 0,50 d = 125 \text{ mm}$$

Distanza b_u dell'ultima fila di armature dal perimetro u_{out}

$$b_u \leq 1,5 d = 1,5 \cdot 250 = 375 \text{ mm}$$

Distanza a_u dell'ultima fila di armature dal contorno del pilastro

$$a_u = k'd - b_u = 1243 - 375 = 868 \text{ mm} (\cong 3,47 d)$$

Distanza minima tra la prima e l'ultima fila di armature

$$a_u - a_1 = 868 - 125 = 743 \text{ mm} (\cong 2,97 d)$$

Numero ed interasse delle file di armature

Il numero totale di spazi tra le varie file di armature vale

$$n = (a_u - a_1) / s_{r,max} = 743 / 187,5 = 3,96 \cong 4$$

e il numero di file di armature

$$n + 1 = 5$$

pertanto, tra la prima e l'ultima fila di armature occorre predisporre altre 3 file circolari.

L'interasse tra due serie consecutive è infine pari a

$$s_r = (a_u - a_l) / n = 743 / 4 \cong 186 \text{ mm}$$

il prospetto A9.1 elenca le distanze dal contorno del pilastro di tutte le file circolari di armature.

Prospetto A9.1 Distanza delle file di armature dal contorno del pilastro.

| fila | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| distanza (mm) | 125 (0,5 d) | 311 (1,24 d) | 497 (1,99 d) | 683 (2,73 d) | 868 (3,47 d) |

Passo s_t delle cuciture in direzione tangenziale all'interno di ogni fila

Le prime tre file di armature sono poste all'interno del primo perimetro di verifica (distante $2d$ dal contorno del pilastro), mentre per la quarta e la quinta fila la distanza è maggiore di $2d$; in accordo al p.to [9.4.3(1)] s_t deve pertanto soddisfare le seguenti limitazioni

$$s_t \leq 1,5 d = 375 \text{ mm per le prime tre file}$$

$$s_t \leq 2,0 d = 500 \text{ mm per le rimanenti due file.}$$

Scelta del diametro delle cuciture verticali

L'area di ogni cucitura verticale deve soddisfare la seguente relazione [(9.11)]

$$A_{sw, \min} \cdot \frac{(1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)}{s_r \cdot s_t} \geq \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (f_{ck} \text{ e } f_{yk} \text{ in N/mm}^2)$$

dove

$$\sin \alpha = 1, \cos \alpha = 0$$

$$s_r = 186 \text{ mm}$$

$$s_t = 375 \text{ mm per la prima, la seconda e la terza fila}$$

$$s_t = 500 \text{ mm per la quarta e la quinta fila}$$

per cui l'area di una cucitura verticale deve soddisfare la seguente relazione

File n° 1, 2 e 3

$$A_{sw, \min} \geq \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot \frac{s_r \cdot s_t}{1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{28}}{450} \cdot \frac{186 \cdot 375}{1,5 \cdot 1 + 0} = 43,7 \text{ mm}^2$$

File n° 4 e 5

$$A_{sw,min} \geq \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot \frac{s_r \cdot s_t}{1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{28}}{450} \cdot \frac{186 \cdot 500}{1,5 \cdot 1 + 0} = 58,3 \text{ mm}^2$$

Occorre pertanto adottare un diametro non inferiore a 8 mm ($A_s = 50 \text{ mm}^2 > 43,7 \text{ mm}^2$) per le prime tre file e un diametro non inferiore a 10 mm ($A_s = 78,5 \text{ mm}^2 > 58,3 \text{ mm}^2$) per le altre due.

Si sceglie di utilizzare cuciture di 12 mm di diametro per tutte le file.

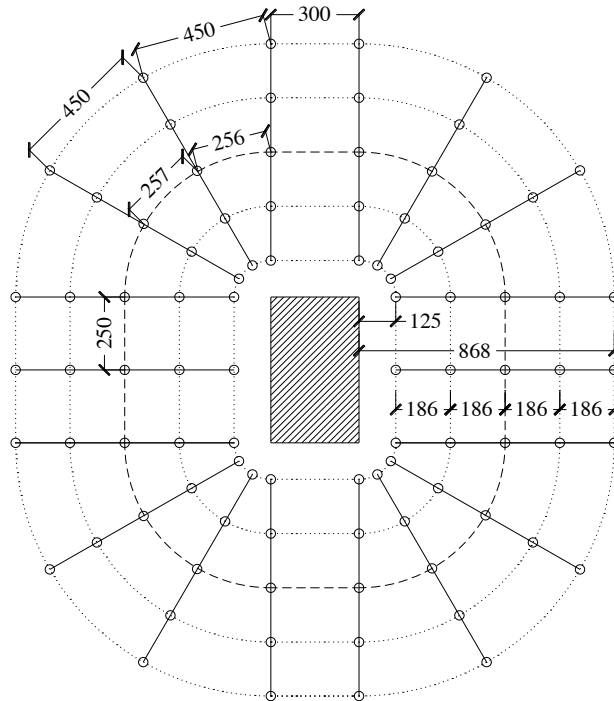
Quantitativo di armatura all'interno di ogni fila

Figura A9.3 Armature a punzonamento dell'esempio 9.10 formate da cuciture verticali (*studs*) (il perimetro critico u_1 è evidenziato con la linea tratteggiata; per le file di armature all'interno di u_1 deve risultare $s_r \leq 1,5d = 375 \text{ mm}$, mentre per quelle all'esterno di u_1 , $s_r \leq 2d = 500 \text{ mm}$).

Dall'esempio 9.9 $u_1 = 4742 \text{ mm}$, pertanto si ha:

$$v_{Ed,1} = V_{Ed} / u_1 \cdot d = 1\,200\,000 / (4742 \cdot 250) = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

l'armatura a taglio-punzonamento deve assorbire la differenza $v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c}$

$$\Delta v_{Ed} = v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c} = 1,01 - 0,75 \cdot 0,510 = 0,63 \text{ N/mm}^2$$

ossia il taglio resistente offerto dalle armature deve essere almeno pari a

$$V''_{Rd,cs} = \Delta v_{Ed} \cdot u_1 \cdot d = 0,63 \cdot 4742 \cdot 250 = 746\,865 \text{ N} \cong 747 \text{ kN};$$

dal prospetto 9.18 per $d=250$ mm si ricava che una sola cucitura di 12 mm fornisce

$$V''_{Rd,cs(1)} = 1,5 (d/s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} = 70,69 \text{ kN}$$

il numero di cuciture richiesto all'interno di ogni fila è pertanto pari a

$$n = (747 / 70,69) = 10,6 \cong 11$$

Nel tracciamento della posizione delle cinque file di cuciture alle distanze di progetto, ci si rende immediatamente conto che per rispettare il passo massimo in direzione radiale, occorre che le armature siano disposte come mostrato nella figura A9.3, con 18 armature per ogni fila (sette in più rispetto al calcolo). Alla luce di questo fatto, si può ridurre il diametro delle armature da 12 a 10 mm; infatti per $\phi=10$ mm, si ha $V''_{Rd,cs(1)} = 49,09$ kN (prospetto 9.18) ed il numero minimo di cuciture necessario all'interno di ogni fila è pari a

$$n = (747 / 49,09) = 15,2 \cong 16 < 18$$

In alternativa alla configurazione della fig. A9.3 si possono disporre le armature come indicato nella figura 9.43b, dove a parità di lunghezza il perimetro B ($u_{out,ef}$) dista dal pilastro più del perimetro A (u_{out}), cosicché l'area dotata di armature trasversali si estenderebbe per un tratto più lungo a partire dal perimetro del pilastro.

9.11 Esempio 9.11. Verifica a taglio-punzonamento di un plinto di fondazione privo di armature a punzonamento

Si esegua la verifica a punzonamento del plinto in figura A9.4 assumendo i seguenti dati di progetto: calcestruzzo di classe C25/30, base del plinto di 2400 x 2400 mm, spessore di 400 mm, armatura flessionale costituita da 1 ϕ 16/200 in entrambe le direzioni, pilastro di 300 x 300 mm, taglio sollecitante $V_{Ed} = 1170$ kN, copriferro 40 mm.

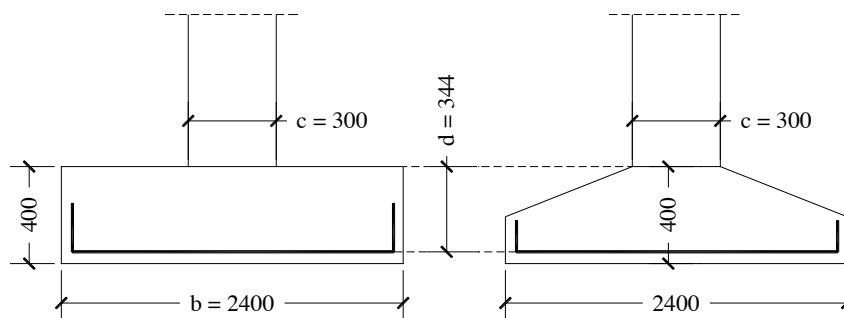


Figura A9.4 Geometria e dimensioni del plinto di fondazione dell'esempio 9.11 (l'esempio è valido sia per il plinto di sinistra ad estradosso piano, sia per quello di destra con estradosso inclinato).

La verifica a punzonamento va eseguita con riferimento alla sezione critica posta alla distanza $a_{crit} \leq 2d$ che a priori è incognita; occorre però adottare più perimetri di verifica fino ad individuare quello a cui corrisponde il massimo valore del rapporto tra il valore della tensione sollecitante di punzonamento e la tensione resistente.

Altezza utile, rapporto geometrico di armatura, pressione sul terreno

Altezza utile direzione y: $d_y = 400 - 40 - 8 = 352 \text{ mm}$

Altezza utile direzione z: $d_z = 400 - 40 - 16 - 8 = 336 \text{ mm}$

Altezza utile piastra: $d = (352 + 336) / 2 = 344 \text{ mm}$

Rapporto geometrico di armatura

$$1 \phi 16 / 200 \text{ mm} \Rightarrow A_{l,ly} = A_{l,lz} = 200 \text{ mm}^2 \quad i_y = i_z = 200 \text{ mm}$$

$$\rho_l = \rho_{ly} = \rho_{lz} = \frac{A_{l,ly}}{i_y d} = \frac{200}{200 \cdot 344} = 0,291 \cdot 10^{-2} \leq 0,02$$

La pressione sul terreno, al netto del peso proprio del plinto, vale

$$p_{\text{netta}} = \frac{V_{Ed}}{2400 \cdot 2400} = \frac{1170000}{2400 \cdot 2400} \cong 0,203 \text{ N/mm}^2$$

mentre la pressione totale, incluso quella dovuta al peso proprio ($\gamma_{c.a.} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ N/mm}^3$), vale

$$p_{\text{tot}} = p_{\text{netta}} + 400 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} = 0,213 \text{ N/mm}^2$$

Tensione di punzonamento lungo il contorno del pilastro (u_0)

Perimetro del pilastro (si indica con c il valore comune dei due lati della sezione del pilastro, $c = c_1 = c_2$)

$$u_0 = 2 (c_1 + c_2) = 2 (300 + 300) = 1200 \text{ mm}$$

Area di base posta all'interno del perimetro u_0 ³

$$A_0 = c^2 = 90000 \text{ mm}^2$$

Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro u_0

$$\Delta V_{Ed,0} = p_{\text{netta}} A_0 = 0,203 \cdot 90000 = 18270 \text{ N}$$

$$V_{Ed,red,0} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,0} = 1170000 - 18270 = 1151730 \text{ N}$$

La tensione di punzonamento di progetto vale [(6.49)]

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta V_{Ed,red,0}}{u_0 d} = \frac{1151730}{1200 \cdot 344} = 2,79 \text{ N/mm}^2 \quad (\beta=1 \text{ per sforzo normale centrato})$$

Massimo valore della resistenza a taglio-punzonamento

$$v_{Rd,max} = 0,2 f_{cd} = 0,2 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{1,5} \cong 2,83 \text{ N/mm}^2$$

risulta $v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max}$ e pertanto la verifica in adiacenza al pilastro è soddisfatta.

³ Le forze e le tensioni calcolate con riferimento al perimetro u_0 sono contrassegnate con il pedice "0", quelle riferite al perimetro u_1 con il pedice "1" e così via.

Si passa alla verifica lungo il perimetro di verifica di base posto a distanza non superiore a $2d$ dal contorno del pilastro.

Perimetro di primo tentativo ($a = 2d$)

Si assume come perimetro di primo tentativo quello posto a distanza $2d$

$$a = 2d$$

$$u_1 = 4c + 2\pi(2d) = 4 \cdot 300 + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 344) = 5523 \text{ mm}$$

Area di base posta all'interno del perimetro di verifica

$$A_1 = c^2 + 4c(2d) + \pi(2d)^2 = 300^2 + 4 \cdot 300 \cdot (2 \cdot 344) + \pi \cdot (2 \cdot 344)^2 = 2402654 \text{ mm}^2$$

Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro di verifica

$$\Delta V_{Ed,1} = p_{netta} A_1 = 0,203 \cdot 2402654 = 487739 \text{ N}$$

$$V_{Ed,red,1} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,1} = 1170000 - 487739 = 682261 \text{ N}$$

Il valore di progetto della tensione di punzonamento è pari a

$$v_{Ed,1} = \frac{V_{Ed,red,1}}{u_1 d} = \frac{682261}{5523 \cdot 344} = 0,36 \text{ N/mm}^2$$

e la resistenza a punzonamento in assenza di armature vale

$$\begin{aligned} v_{Rd,1} &= C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} = \\ &= \frac{0,18}{1,5} \left(1 + \sqrt{\frac{200}{344}} \right) \left(100 \cdot 0,291 \cdot 10^{-2} \cdot 25 \right)^{1/3} \cdot 1 = 0,41 \text{ N/mm}^2 \geq \\ &\geq v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \cong 0,41 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

risulta $v_{Ed,1} = 0,36 \text{ N/mm}^2 \leq v_{Rd,1} = 0,41 \text{ N/mm}^2$, pertanto con riferimento al perimetro u_1 , la verifica è soddisfatta; inoltre risulta $v_{Ed,1}/v_{Rd,1} = 0,88$.

Perimetro di secondo tentativo ($a = 1,5d$)

Si assume come secondo perimetro di verifica quello posto a distanza $1,5d$

$$a = 1,5d$$

$$u_2 = 4c + 2\pi(1,5d) = 4 \cdot 300 + 2 \cdot \pi \cdot (1,5 \cdot 344) = 4442 \text{ mm}$$

Area di base posta all'interno del perimetro di verifica

$$\begin{aligned} A_2 &= c^2 + 4c(1,5d) + \pi(1,5d)^2 = \\ &= 300^2 + 4 \cdot 300 \cdot (1,5 \cdot 344) + \pi(1,5 \cdot 344)^2 = 1545668 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro di verifica

$$\Delta V_{Ed,2} = p_{netta} A_2 = 0,203 \cdot 1545668 = 313771 \text{ N}$$

$$V_{Ed,red,2} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,2} = 1170000 - 313771 = 856229 \text{ N}$$

Il valore di progetto della tensione di punzonamento è pari a

$$v_{Ed,2} = \frac{V_{Ed,red,2}}{u_2 d} = \frac{856229}{4442 \cdot 344} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

e la resistenza a punzonamento in assenza di armature vale

$$\begin{aligned} v_{Rd,2} &= C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} = \\ &= \frac{0,18}{1,5} \left(1 + \sqrt{\frac{200}{344}} \right) (100 \cdot 0,291 \cdot 10^{-2} \cdot 25)^{1/3} \frac{2}{1,5} = 0,55 \text{ N/mm}^2 \geq v_{\min} \cdot \frac{2}{1,5} = \\ &= 0,55 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

risulta $v_{Ed,2} = 0,56 \text{ N/mm}^2 > v_{Rd,2} = 0,55 \text{ N/mm}^2$, pertanto con riferimento al perimetro u_2 la verifica non è soddisfatta ed occorre adottare apposite armature trasversali per assorbire la forza di punzonamento.

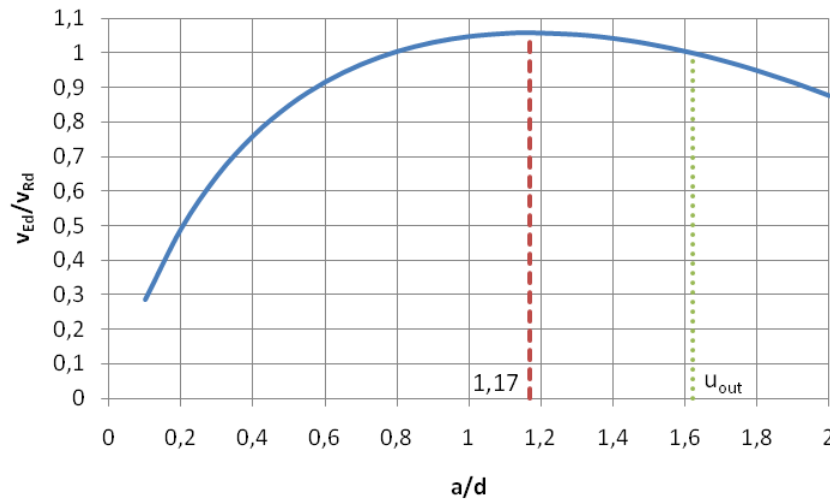


Figura A9.5 Andamento del rapporto v_{Ed}/v_{Rd} al variare di a/d per il plinto di $2400 \times 2400 \times 400$ dell'esempio 9.11.

Si rimanda all'esempio 9.14 per il progetto delle armature trasversali.

Ripetendo il calcolo per altri valori di a si costruisce per punti ($v_{Ed,1}/v_{Rd,1}$; $v_{Ed,2}/v_{Rd,2}$; ecc.) la curva v_{Ed}/v_{Rd} in funzione del rapporto a/d (fig. A9.5). Si scopre così che il rapporto v_{Ed}/v_{Rd} attinge il valore massimo per $a=1,17 d$ che rappresenta pertanto la distanza del perimetro critico dal contorno del pilastro. Il perimetro u_{out} a partire dal quale non è richiesta armatura a punzonamento si colloca a distanza $1,62 d$ dal perimetro del pilastro.

Se si aumentano le dimensioni in pianta del plinto e si ripete il calcolo si trova che il perimetro critico si colloca ad una distanza maggiore. In generale la distanza del perimetro critico dal pilastro varia al variare dei rapporti c/d e b/d , dove c è il lato della sezione trasversale del pilastro e b il lato della base del plinto, fermi restando i valori di f_{ck} e ρ .

9.12 Esempio 9.12. Determinazione del perimetro critico di un plinto di fondazione

Facendo uso del prospetto 9.25 si individui la distanza del perimetro critico del plinto dell'esempio 9.11.

Si ha: $d = 344$ mm, $c = 300$ mm, $b = 2400$ mm
ai quali corrispondono i seguenti rapporti

$$c/d = 300/344 = 0,872 \cong 0,9$$

$$b/d = 2400/344 = 6,97 \cong 7$$

Dal prospetto 9.25 per $c/d = 0,9$ e $b/d = 7$ si ha
 $a_{crit}/d = 1,18$.

Per una stima più accurata si può interpolare linearmente la funzione a_{crit}/d tra $c/d = 0,8$ e $c/d = 0,9$: per $c/d = 0,872$ si ottiene così $a_{crit}/d = 1,172$ che è molto prossimo al valore ricavato nell'esempio 9.11.

9.13 Esempio 9.13. Verifica in presenza di carico eccentrico

Si verifichi il plinto dell'esempio 9.11 nell'ipotesi che alla base del pilastro agiscano $V_{Ed} = 500$ kN e $M_{Ed} = 100$ kNm.

Dall'esempio 9.11 si ha: altezza utile piastra: $d = 344$ mm; rapporto geometrico di armatura: $\rho_y = \rho_z = 0,291 \cdot 10^{-2}$; inoltre nel presente caso si ha

$$e = M_{Ed}/V_{Ed} = 100 / 500 = 0,2 \text{ m} = 200 \text{ mm} \leq b/6 = 400 \text{ mm}$$

Pressione netta media sul terreno: $p_{netta} = 500000 / (2400 \cdot 2400) = 0,087 \text{ N/mm}^2$

Pressione netta massima: $p_{max} = 0,087 + M_{Ed} / (b^3 / 6) = 0,13 \text{ N/mm}^2$

Tensione di punzonamento di progetto lungo il contorno del pilastro (u_0)

Perimetro del pilastro: $u_0 = 1200$ mm

Area di base posta all'interno del perimetro u_0 : $A_0 = 90000 \text{ mm}^2$

Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro u_0

$$\Delta V_{Ed,0} = p_{netta} A_0 = 0,087 \cdot 90000 = 7830 \text{ N}$$

$$V_{Ed,red,0} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,0} = 500000 - 7830 = 492170 \text{ N}$$

$\beta = 1,37$ (per il calcolo di β si veda più avanti la verifica sul perimetro u_1)

La tensione di punzonamento di progetto vale

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta V_{Ed,red,0}}{u_0 d} = \frac{1,37 \cdot 492170}{1200 \cdot 344} = 1,63 \text{ N/mm}^2$$

Massimo valore della resistenza a taglio-punzonamento

$$v_{Rd, \max} = 0,2 f_{cd} = 0,2 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{1,5} \cong 2,83 \text{ N/mm}^2$$

risulta $v_{Ed,0} \leq v_{Rd, \max}$ e pertanto la verifica in adiacenza al pilastro è soddisfatta; si passa alla verifica lungo il perimetro di verifica di base posto a distanza non superiore a $2d$ dal contorno del pilastro.

Per l'individuazione del perimetro critico si procede per tentativi fissando come perimetro di primo tentativo quello posto a distanza $2d$.

Perimetro di primo tentativo ($a = 2d$)

Si indica con c il valore comune dei due lati della sezione del pilastro ($c=c_1=c_2=300$ mm)

$$u_1 = 4c + 2\pi(2d) = 4 \cdot 300 + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 344) = 5523 \text{ mm}$$

Area di base posta all'interno del perimetro di verifica

$$A_1 = c^2 + 4c(2d) + \pi(2d)^2 = 300^2 + 4 \cdot 300 \cdot (2 \cdot 344) + \pi \cdot (2 \cdot 344)^2 = 2402654 \text{ mm}^2$$

Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro di verifica

$$\Delta V_{Ed,1} = p_{\text{netta}} A_1 = 0,087 \cdot 2402654 = 209031 \text{ N}$$

$$V_{Ed, \text{red},1} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,1} = 500000 - 209031 = 290969 \text{ N}$$

$$W_1 = \frac{3}{2} c_1^2 + (4 + 2\pi) c_1 d + 16 d^2 = \frac{3}{2} 300^2 + (4 + 2\pi) \cdot 300 \cdot 344 + 16 \cdot 344^2 = 3089601 \text{ mm}^2$$

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed, \text{red},1}} \frac{u_1}{W_1} = 1 + 0,6 \frac{1 \cdot 10^8}{290969} \cdot \frac{5523}{3089601} = 1,37$$

Il valore di progetto della tensione di punzonamento è dato da

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed, \text{red},1}}{u_1 d} = \frac{1,37 \cdot 290969}{5523 \cdot 344} = 0,21 \text{ N/mm}^2$$

e la resistenza a punzonamento in assenza di armature trasversali vale

$$v_{Rd,1} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} = 0,12 \left(1 + \sqrt{\frac{200}{344}} \right) (100 \cdot 0,291 \cdot 10^{-2} \cdot 25)^{1/3} = 0,41 \text{ N/mm}^2 \geq v_{\min} = 0,41 \text{ N/mm}^2$$

risulta $v_{Ed,1} = 0,21 \text{ N/mm}^2 \leq v_{Rd,1} = 0,41 \text{ N/mm}^2$, pertanto con riferimento al perimetro u_1 , la verifica è soddisfatta.

Perimetro di secondo tentativo ($a = d$)

$$u_2 = 4c + 2\pi d = 4 \cdot 300 + 2 \cdot \pi \cdot 344 = 3361 \text{ mm}$$

Area di base posta all'interno del perimetro di verifica

$$A_2 = c^2 + 4cd + \pi d^2 = 300^2 + 4 \cdot 300 \cdot 344 + \pi \cdot 344^2 = 874564 \text{ mm}^2$$

Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro di verifica

$$\Delta V_{Ed,2} = p_{netta} A_2 = 0,087 \cdot 874564 = 76087 \text{ N}$$

$$V_{Ed,red,2} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,2} = 500000 - 76087 = 423913 \text{ N}$$

$$W_2 = \frac{3}{2} c_1^2 + (2 + \pi) c_1 d + 4d^2 = \frac{3}{2} 300^2 + (2 + \pi) \cdot 300 \cdot 344 + 4 \cdot 344^2 = 1138956 \text{ mm}^2$$

Il valore di progetto della tensione di punzonamento è dato da

$$v_{Ed,2} = \frac{\beta V_{Ed,red,2}}{u_2 d} = \frac{1,37 \cdot 423913}{3361 \cdot 344} = 0,50 \text{ N/mm}^2$$

dove è stato utilizzato il valore di β calcolato con riferimento al perimetro u_1 .

La resistenza a punzonamento in assenza di armature vale

$$\begin{aligned} v_{Rd,2} &= C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} = \\ &= 0,12 \left(1 + \sqrt{\frac{200}{344}} \right) (100 \cdot 0,291 \cdot 10^{-2} \cdot 25)^{1/3} \cdot 2 = 0,82 \text{ N/mm}^2 \geq v_{min} \cdot 2 = \\ &= 0,82 \text{ N/mm}^2; \end{aligned}$$

risulta $v_{Ed,2} = 0,50 \text{ N/mm}^2 \leq v_{Rd,2} = 0,82 \text{ N/mm}^2$, pertanto con riferimento al perimetro u_2 , la verifica è soddisfatta.

Ripetendo i calcoli per una qualunque altra distanza $a \leq 2d$ del perimetro critico, risulta sempre $v_{Ed} \leq v_{Rd}$, cosicché la verifica è sempre soddisfatta.

9.14 Esempio 9.14. Progetto dell'armatura trasversale in presenza di carico eccentrico

Si progetti l'armatura trasversale del plinto dell'esempio 9.11, considerando un pilastro a sezione quadrata di lato $c = 400 \text{ mm}$ soggetto a $V_{Ed} = 1000 \text{ kN}$ e $M_{Ed} = 200 \text{ kNm}$.

$$e = M_{Ed}/V_{Ed} = 200 / 1000 = 0,2 \text{ m} = 200 \text{ mm} \leq b/6 = 400 \text{ mm}$$

$$\text{pressione netta media sul terreno: } p_{netta} = 1000000 / (2400 \cdot 2400) = 0,174 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{pressione netta massima: } p_{max} = 0,174 + M_{Ed} / (b^3 / 6) = 0,26 \text{ N/mm}^2$$

Tensione di punzonamento lungo il contorno del pilastro (u_0)

Perimetro del pilastro: $u_0 = 1600 \text{ mm}$

Area di base posta all'interno del perimetro u_0 : $A_0 = 160000 \text{ mm}^2$

Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro u_0

$$\Delta V_{Ed,0} = p_{netta} A_0 = 0,174 \cdot 160000 = 27840 \text{ N}$$

$$V_{Ed,red,0} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,0} = 1000000 - 27840 = 972160 \text{ N}$$

$\beta = 1,38$ (per il calcolo di β si veda più avanti la verifica sul perimetro u_1)

Il valore di progetto della tensione di punzonamento vale

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta V_{Ed,red,0}}{u_0 d} = \frac{1,38 \cdot 972160}{1600 \cdot 344} = 2,44 \text{ N/mm}^2$$

Massimo valore della resistenza a taglio-punzonamento

$$v_{Rd,max} = 0,2 \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{1,5} \cong 2,83 \text{ N/mm}^2$$

risulta $v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max}$ e pertanto la verifica in adiacenza al pilastro è soddisfatta; si passa alla verifica lungo il perimetro di verifica di base posto a distanza non superiore a $2d$ dal contorno del pilastro.

Per l'individuazione del perimetro critico si procede per tentativi fissando come perimetro di primo tentativo quello posto a distanza $2d$.

Perimetro di primo tentativo ($a = 2d$)

Si indica con c il valore comune dei due lati della sezione del pilastro ($c = c_1 = c_2 = 400$ mm)

$$u_1 = 4c + 2\pi(2d) = 4 \cdot 400 + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 344) = 5923 \text{ mm}$$

Area di base posta all'interno del perimetro di verifica

$$A_1 = c^2 + 4c(2d) + \pi(2d)^2 = 400^2 + 4 \cdot 400 \cdot (2 \cdot 344) + \pi \cdot (2 \cdot 344)^2 = 2747854 \text{ mm}^2$$

Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro di verifica

$$\Delta V_{Ed,1} = p_{netta} A_1 = 0,174 \cdot 2747854 = 478127 \text{ N}$$

$$V_{Ed,red,1} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,1} = 1000000 - 478127 = 521873 \text{ N}$$

$$W_1 = \frac{3}{2} c_1^2 + (4 + 2\pi) c_1 d + 16 d^2 = \frac{3}{2} 400^2 + (4 + 2\pi) \cdot 400 \cdot 344 + 16 \cdot 344^2 = 3548342 \text{ mm}^2$$

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed,red,1}} \frac{u_1}{W_1} = 1 + 0,6 \frac{2 \cdot 10^8}{521873} \frac{5923}{3548342} = 1,38$$

Il valore di progetto della tensione di punzonamento vale

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed,red,1}}{u_1 d} = \frac{1,38 \cdot 521873}{5923 \cdot 344} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a punzonamento in assenza di armature

$$\begin{aligned}
 v_{Rd,1} &= C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} = \\
 &= 0,12 \left(1 + \sqrt{\frac{200}{344}} \right) (100 \cdot 0,291 \cdot 10^{-2} \cdot 25)^{1/3} = 0,41 \text{ N/mm}^2 \geq v_{\min} = \\
 &= 0,41 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

risulta $v_{Ed,1} = 0,35 \text{ N/mm}^2 \leq v_{Rd,1} = 0,41 \text{ N/mm}^2$, pertanto con riferimento al perimetro u_1 , la verifica è soddisfatta.

Perimetro di secondo tentativo ($a = d$)

$$u_2 = 4c + 2\pi d = 4 \cdot 400 + 2 \cdot \pi \cdot 344 = 3761 \text{ mm}$$

Area di base posta all'interno del perimetro di verifica

$$A_2 = c^2 + 4cd + \pi d^2 = 400^2 + 4 \cdot 400 \cdot 344 + \pi \cdot 344^2 = 1082164 \text{ mm}^2$$

Forza netta rivolta verso l'alto all'interno del perimetro di verifica

$$\Delta V_{Ed,2} = p_{\text{netta}} A_2 = 0,174 \cdot 1082164 = 188297 \text{ N}$$

$$V_{Ed,red,2} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed,2} = 1000000 - 188297 = 811703 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 W_2 &= \frac{3}{2} c_1^2 + (2 + \pi) c_1 d + 4d^2 = \frac{3}{2} 400^2 + (2 + \pi) \cdot 400 \cdot 344 + 4 \cdot 344^2 = \\
 &= 1420827 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Il valore di progetto della tensione di punzonamento è pari a

$$v_{Ed,2} = \frac{\beta V_{Ed,red,2}}{u_2 d} = \frac{1,38 \cdot 811703}{3761 \cdot 344} = 0,87 \text{ N/mm}^2$$

dove è stato utilizzato il valore di β calcolato con riferimento al perimetro u_1 .

La resistenza a punzonamento in assenza di armature vale

$$\begin{aligned}
 v_{Rd,2} &= C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} = \\
 &= 0,12 \left(1 + \sqrt{\frac{200}{344}} \right) (100 \cdot 0,291 \cdot 10^{-2} \cdot 25)^{1/3} \cdot 2 = 0,82 \text{ N/mm}^2 \geq v_{\min} \cdot 2 = \\
 &= 0,82 \text{ N/mm}^2;
 \end{aligned}$$

risulta $v_{Ed,2} = 0,87 \text{ N/mm}^2 > v_{Rd,2} = 0,82 \text{ N/mm}^2$, pertanto con riferimento al perimetro u_2 , la verifica non è soddisfatta. Occorre adottare un'apposita armatura trasversale.

A questo scopo si ricerca innanzitutto il perimetro u_{out} , a partire dal quale la verifica è soddisfatta senza armature trasversali.

Procedendo per tentativi si trova che il perimetro u_{out} dista $1,65d$ dal pilastro (per confronto, nell'esempio 9.11 il perimetro u_{out} si colloca alla distanza di $1,62d$ - fig. A9.5). L'armatura a punzonamento dovrà pertanto estendersi dal contorno del pilastro fino ad una distanza pari a $1,65d - 1,5d = 0,15d$, il che significa che è sufficiente una sola fila di barre

piegate oppure cuciture verticali disposte su due sole file (numero minimo previsto da EC2) ad interasse non superiore a $0,75d$.

Si progetta l'armatura da disporre all'interno di ciascuna fila secondo la procedura descritta alla fine del par. 9.15. Al variare della distanza a tra 0 e $2d$ si individua il perimetro u che massimizza l'espressione di A_{sw}

$$A_{sw} \geq \frac{(v_{Ed} - 0,75 v_{Rd}) u d}{1,5(d/s_r) f_{ywd,ef} \sin \alpha}$$

(si ricorda che al variare di u variano sia v_{Ed} che v_{Rd} , come già precisato nel par. 9.15); ripetendo il calcolo di A_{sw} per diversi valori di a con l'ausilio di un foglio di calcolo elettronico, si trova che il perimetro u cercato dista $0,843 d$ ($\cong 290$ mm) dal pilastro ed è pari a

$$u_{(0,843d)} = 4c + 2 \cdot \pi \cdot (0,843d) = 3422 \text{ mm}$$

L'area di base posta all'interno del perimetro u di verifica vale

$$\begin{aligned} A_{(0,843d)} &= c^2 + 4c \cdot 0,843d + \pi (0,843d)^2 = 400^2 + 4 \cdot 400 \cdot 290 + \pi \cdot 290^2 = \\ &= 888181 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

mentre la riduzione prodotta dalla sottospinta del terreno e la forza netta di punzonamento assumono i seguenti valori

$$\Delta V_{Ed(0,843d)} = p_{netta} A_{(0,843d)} = 0,174 \cdot 888181 = 154543 \text{ N}$$

$$V_{Ed,red(0,843d)} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed(0,843d)} = 1000000 - 154543 = 845457 \text{ N}$$

La tensione sollecitante calcolata sul perimetro $u_{(0,843d)}$ è pari a

$$v_{Ed(0,843d)} = \frac{\beta V_{Ed,red(0,843d)}}{u_{(0,843d)} d} = \frac{1,38 \cdot 845457}{3422 \cdot 344} = 0,99 \text{ N/mm}^2$$

e la tensione tangenziale resistente in assenza di armature vale

$$\begin{aligned} v_{Rd(0,843d)} &= C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \frac{2d}{a} = \\ &= 0,12 \left(1 + \sqrt{\frac{200}{344}} \right) (100 \cdot 0,291 \cdot 10^{-2} \cdot 25)^{1/3} \cdot \frac{2}{0,843} = 0,972 \text{ N/mm}^2 \geq v_{min} \cdot \frac{2}{0,843} = \\ &= 0,972 \text{ N/mm}^2 < v_{Ed(0,843d)} \text{ pertanto occorre progettare le armature trasversali} \end{aligned}$$

Progetto barre piegate a 45°

Per barre piegate a 45°, l'area di armatura richiesta è pari a

$$\begin{aligned} A_{sw} &\geq \frac{(v_{Ed(0,843d)} - 0,75 v_{Rd(0,843d)}) \cdot u_{(0,843d)} \cdot d}{f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha} = \\ &= \frac{(0,99 - 0,75 \cdot 0,972) \cdot 3422 \cdot 344}{336 \cdot \sqrt{2}/2} = 1293 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

dove

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot 344 = 336 \text{ N/mm}^2 < f_{ywd} = 391 \text{ N/mm}^2.$$

Si adottano barre di 14 mm di diametro (uguale al diametro minimo del prospetto 9.22 per $d=350$ mm e $f_{ck} = 25$ N/mm²), per cui il numero di bracci inclinati non deve essere inferiore a: $1293 / 154 = 8,4 \cong 9$

Si adottano cinque barre piegate (10 bracci inclinati), tre barre in una direzione e due nell'altra.

Progetto cuciture verticali su due file

In alternativa, se si utilizzano cuciture verticali su due file, si ha

$$A_{sw,cs} \geq \frac{(v_{Ed(0,843d)} - 0,75v_{Rd(0,843d)}) \cdot u_{(0,843d)} \cdot d}{1,5 \cdot d/s_r \cdot f_{ywd,ef}} =$$

$$= \frac{(0,99 - 0,75 \cdot 0,972) \cdot 3422 \cdot 344}{1,5 \cdot (1/0,75) \cdot 336} = 457 \text{ mm}^2$$

diametro minimo: 12 mm (dal prospetto 9.20 per $d=350$ mm e $f_{ck}=25$ N/mm²)

numero di cuciture per fila: $n = 457 / 113 = 4,04 \cong 5$

Verifica della massima distanza in direzione tangenziale all'interno di ciascuna fila

La prima fila di cuciture sarà posta alla distanza di $0,5 d$ dal contorno del pilastro (distanza massima indicata al p.to [9.4.3(4)]), mentre la seconda alla distanza di

$$(0,5 + 0,75) d = 1,25 d$$

affinchè la distanza tangenziale all'interno della seconda fila soddisfi il limite superiore di $1,5d$ ($= 516$ mm) imposto dall'EC2 al p.to [9.4.3(1)], occorre adottare almeno nove cuciture per fila; risulta infatti

$$s_t = [u_0 + 2 \pi (1,25d)] / 9 = 478 \text{ mm} \leq 516 \text{ mm}.$$

Appendice A

Prospetti per il calcolo rapido di $v_{Rd,c}$ (N/mm²) al variare del diametro e del passo delle armature flessionali

Classe del calcestruzzo: C25/30

Prospetto A9.2 Valori di $v_{Rd,c}$ (N/mm²) al variare dell'armatura flessionale (stesso diametro e passo in entrambe le direzioni y e z) e dell'altezza utile della piastra. I valori contenuti nelle caselle con sfondo grigio sono inferiori a v_{\min} e vanno sostituiti con questi ultimi (i valori di v_{\min} sono riportati nell'ultima riga del prospetto).

| passo 100 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/100 | 0,639 | 0,580 | 0,510 | 0,460 | 0,423 | 0,393 | 0,369 | 0,349 |
| φ14/100 | 0,708 | 0,643 | 0,566 | 0,510 | 0,469 | 0,436 | 0,409 | 0,387 |
| φ16/100 | 0,774 | 0,703 | 0,618 | 0,558 | 0,512 | 0,476 | 0,447 | 0,423 |
| φ18/100 | 0,837 | 0,760 | 0,669 | 0,603 | 0,554 | 0,515 | 0,484 | 0,457 |
| φ20/100 | 0,884 ⁽¹⁾ | 0,816 | 0,717 | 0,647 | 0,594 | 0,553 | 0,519 | 0,491 |
| φ22/100 | 0,884 | 0,869 | 0,764 | 0,690 | 0,633 | 0,589 | 0,553 | 0,523 |
| φ24/100 | 0,884 | 0,884 | 0,810 | 0,731 | 0,671 | 0,624 | 0,586 | 0,554 |
| φ26/100 | 0,884 | 0,884 | 0,854 | 0,771 | 0,708 | 0,658 | 0,618 | 0,584 |

⁽¹⁾ Nei casi in cui risulta $\rho_l > 0,02$, il calcolo è stato eseguito assumendo $\rho_l = 0,02$ (valore massimo consentito da EC2 per il calcolo di $v_{Rd,c}$). I valori così ottenuti sono evidenziati in grassetto.

| passo 150 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/150 | 0,558 | 0,507 | 0,446 | 0,402 | 0,369 | 0,343 | 0,322 | 0,305 |
| φ14/150 | 0,618 | 0,562 | 0,494 | 0,446 | 0,409 | 0,381 | 0,357 | 0,338 |
| φ16/150 | 0,676 | 0,614 | 0,540 | 0,487 | 0,447 | 0,416 | 0,391 | 0,369 |
| φ18/150 | 0,731 | 0,664 | 0,584 | 0,527 | 0,484 | 0,450 | 0,422 | 0,400 |
| φ20/150 | 0,784 | 0,713 | 0,627 | 0,565 | 0,519 | 0,483 | 0,453 | 0,429 |
| φ22/150 | 0,836 | 0,759 | 0,668 | 0,603 | 0,553 | 0,514 | 0,483 | 0,457 |
| φ24/150 | 0,884 | 0,805 | 0,708 | 0,639 | 0,586 | 0,545 | 0,512 | 0,484 |
| φ26/150 | 0,884 | 0,849 | 0,746 | 0,673 | 0,618 | 0,575 | 0,540 | 0,510 |

| passo 200 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/200 | 0,507 | 0,461 | 0,405 | 0,365 | 0,336 | 0,312 | 0,293 | 0,277 |
| φ14/200 | 0,562 | 0,510 | 0,449 | 0,405 | 0,372 | 0,346 | 0,325 | 0,307 |
| φ16/200 | 0,614 | 0,558 | 0,491 | 0,443 | 0,407 | 0,378 | 0,355 | 0,336 |
| φ18/200 | 0,664 | 0,604 | 0,531 | 0,479 | 0,440 | 0,409 | 0,384 | 0,363 |
| φ20/200 | 0,713 | 0,647 | 0,569 | 0,514 | 0,472 | 0,439 | 0,412 | 0,389 |
| φ22/200 | 0,759 | 0,690 | 0,607 | 0,547 | 0,503 | 0,467 | 0,439 | 0,415 |
| φ24/200 | 0,805 | 0,731 | 0,643 | 0,580 | 0,533 | 0,495 | 0,465 | 0,440 |
| φ26/200 | 0,849 | 0,771 | 0,678 | 0,612 | 0,562 | 0,522 | 0,490 | 0,464 |

| passo 250 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/250 | 0,471 | 0,428 | 0,376 | 0,339 | 0,312 | 0,290 | 0,272 | 0,257 |
| φ14/250 | 0,522 | 0,474 | 0,417 | 0,376 | 0,345 | 0,321 | 0,301 | 0,285 |
| φ16/250 | 0,570 | 0,518 | 0,455 | 0,411 | 0,377 | 0,351 | 0,329 | 0,312 |
| φ18/250 | 0,617 | 0,560 | 0,493 | 0,445 | 0,408 | 0,380 | 0,356 | 0,337 |
| φ20/250 | 0,662 | 0,601 | 0,529 | 0,477 | 0,438 | 0,407 | 0,382 | 0,361 |
| φ22/250 | 0,705 | 0,640 | 0,563 | 0,508 | 0,467 | 0,434 | 0,407 | 0,385 |
| φ24/250 | 0,747 | 0,679 | 0,597 | 0,539 | 0,495 | 0,460 | 0,432 | 0,408 |
| φ26/250 | 0,788 | 0,716 | 0,630 | 0,568 | 0,522 | 0,485 | 0,455 | 0,431 |
| passo 300 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/300 | 0,443 | 0,402 | 0,354 | 0,319 | 0,293 | 0,273 | 0,256 | 0,242 |
| φ14/300 | 0,491 | 0,446 | 0,392 | 0,354 | 0,325 | 0,302 | 0,284 | 0,268 |
| φ16/300 | 0,536 | 0,487 | 0,429 | 0,387 | 0,355 | 0,330 | 0,310 | 0,293 |
| φ18/300 | 0,580 | 0,527 | 0,464 | 0,418 | 0,384 | 0,357 | 0,335 | 0,317 |
| φ20/300 | 0,623 | 0,566 | 0,497 | 0,449 | 0,412 | 0,383 | 0,360 | 0,340 |
| φ22/300 | 0,663 | 0,603 | 0,530 | 0,478 | 0,439 | 0,408 | 0,383 | 0,362 |
| φ24/300 | 0,703 | 0,639 | 0,562 | 0,507 | 0,465 | 0,433 | 0,406 | 0,384 |
| φ26/300 | 0,742 | 0,674 | 0,592 | 0,535 | 0,491 | 0,456 | 0,428 | 0,405 |
| Resistenza minima | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| v_{\min} | 0,495 | 0,495 | 0,456 | 0,428 | 0,407 | 0,390 | 0,377 | 0,365 |

Per calcestruzzi di resistenza caratteristica cilindrica f_{ck} diversa da 25 N/mm², i valori di $v_{Rd,c}$ si possono ricavare moltiplicando quelli del prospetto sopra per il rapporto $(f_{ck} / 25)^{1/3}$ e confrontando il risultato con v_{\min} ; qualora risulti $v_{Rd,C} < v_{\min}$ si adotta $v_{Rd,C} = v_{\min}$.

Per comodità del lettore si è preferito riportare nei prospetti che seguono direttamente i valori di $v_{Rd,c}$, anche per le seguenti classi di resistenza del calcestruzzo: C28/35, C32/40, C35/45, C40/50, C45/55.

Classe del calcestruzzo: C28/35

Prospetto A9.3 Valori di $v_{Rd,c}$ (N/mm²) al variare dell'armatura flessionale (stesso diametro e passo in entrambe le direzioni y e z) e dell'altezza utile della piastra. I valori contenuti nelle caselle con sfondo grigio sono inferiori a v_{\min} e vanno sostituiti con questi ultimi (i valori di v_{\min} sono riportati nell'ultima riga del prospetto).

| passo 100 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/100 | 0,663 | 0,603 | 0,530 | 0,478 | 0,439 | 0,408 | 0,383 | 0,362 |
| φ14/100 | 0,735 | 0,668 | 0,587 | 0,530 | 0,487 | 0,452 | 0,425 | 0,402 |
| φ16/100 | 0,804 | 0,730 | 0,642 | 0,579 | 0,532 | 0,495 | 0,464 | 0,439 |
| φ18/100 | 0,869 | 0,790 | 0,694 | 0,627 | 0,575 | 0,535 | 0,502 | 0,475 |
| φ20/100 | 0,918 ⁽¹⁾ | 0,847 | 0,745 | 0,672 | 0,617 | 0,574 | 0,539 | 0,509 |
| φ22/100 | 0,918 | 0,903 | 0,794 | 0,716 | 0,658 | 0,612 | 0,574 | 0,543 |
| φ24/100 | 0,918 | 0,918 | 0,841 | 0,759 | 0,697 | 0,648 | 0,608 | 0,575 |
| φ26/100 | 0,918 | 0,918 | 0,887 | 0,801 | 0,735 | 0,684 | 0,642 | 0,607 |

⁽¹⁾ Nei casi in cui risulta $\rho_l > 0,02$, il calcolo è stato eseguito assumendo $\rho_l = 0,02$ (valore massimo consentito da EC2 per il calcolo di $v_{Rd,c}$). I valori così ottenuti sono evidenziati in grassetto.

| passo 150 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/150 | 0,579 | 0,526 | 0,463 | 0,418 | 0,384 | 0,357 | 0,335 | 0,317 |
| φ14/150 | 0,642 | 0,583 | 0,513 | 0,463 | 0,425 | 0,395 | 0,371 | 0,351 |
| φ16/150 | 0,702 | 0,638 | 0,561 | 0,506 | 0,465 | 0,432 | 0,406 | 0,384 |
| φ18/150 | 0,759 | 0,690 | 0,607 | 0,547 | 0,503 | 0,467 | 0,439 | 0,415 |
| φ20/150 | 0,815 | 0,740 | 0,651 | 0,587 | 0,539 | 0,501 | 0,471 | 0,445 |
| φ22/150 | 0,868 | 0,789 | 0,693 | 0,626 | 0,575 | 0,534 | 0,502 | 0,474 |
| φ24/150 | 0,918 | 0,836 | 0,735 | 0,663 | 0,609 | 0,566 | 0,531 | 0,503 |
| φ26/150 | 0,918 | 0,882 | 0,775 | 0,699 | 0,642 | 0,597 | 0,561 | 0,530 |

| passo 200 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/200 | 0,526 | 0,478 | 0,421 | 0,380 | 0,348 | 0,324 | 0,304 | 0,288 |
| φ14/200 | 0,583 | 0,530 | 0,466 | 0,421 | 0,386 | 0,359 | 0,337 | 0,319 |
| φ16/200 | 0,638 | 0,579 | 0,510 | 0,460 | 0,422 | 0,393 | 0,369 | 0,348 |
| φ18/200 | 0,690 | 0,627 | 0,551 | 0,497 | 0,457 | 0,425 | 0,399 | 0,377 |
| φ20/200 | 0,740 | 0,672 | 0,591 | 0,534 | 0,490 | 0,456 | 0,428 | 0,404 |
| φ22/200 | 0,789 | 0,717 | 0,630 | 0,568 | 0,522 | 0,485 | 0,456 | 0,431 |
| φ24/200 | 0,836 | 0,759 | 0,668 | 0,602 | 0,553 | 0,514 | 0,483 | 0,457 |
| φ26/200 | 0,882 | 0,801 | 0,704 | 0,635 | 0,584 | 0,543 | 0,509 | 0,482 |

| passo 250 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/250 | 0,489 | 0,444 | 0,390 | 0,352 | 0,324 | 0,301 | 0,282 | 0,267 |
| φ14/250 | 0,542 | 0,492 | 0,433 | 0,390 | 0,359 | 0,333 | 0,313 | 0,296 |
| φ16/250 | 0,592 | 0,538 | 0,473 | 0,427 | 0,392 | 0,364 | 0,342 | 0,324 |
| φ18/250 | 0,640 | 0,582 | 0,512 | 0,462 | 0,424 | 0,394 | 0,370 | 0,350 |
| φ20/250 | 0,687 | 0,624 | 0,549 | 0,495 | 0,455 | 0,423 | 0,397 | 0,375 |
| φ22/250 | 0,732 | 0,665 | 0,585 | 0,528 | 0,485 | 0,451 | 0,423 | 0,400 |
| φ24/250 | 0,776 | 0,705 | 0,620 | 0,559 | 0,514 | 0,478 | 0,448 | 0,424 |
| φ26/250 | 0,818 | 0,744 | 0,654 | 0,590 | 0,542 | 0,504 | 0,473 | 0,447 |
| passo 300 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/300 | 0,460 | 0,418 | 0,367 | 0,332 | 0,304 | 0,283 | 0,266 | 0,251 |
| φ14/300 | 0,510 | 0,463 | 0,407 | 0,367 | 0,337 | 0,314 | 0,295 | 0,279 |
| φ16/300 | 0,557 | 0,506 | 0,445 | 0,402 | 0,369 | 0,343 | 0,322 | 0,304 |
| φ18/300 | 0,603 | 0,548 | 0,481 | 0,434 | 0,399 | 0,371 | 0,348 | 0,329 |
| φ20/300 | 0,647 | 0,587 | 0,517 | 0,466 | 0,428 | 0,398 | 0,374 | 0,353 |
| φ22/300 | 0,689 | 0,626 | 0,550 | 0,497 | 0,456 | 0,424 | 0,398 | 0,376 |
| φ24/300 | 0,730 | 0,663 | 0,583 | 0,526 | 0,483 | 0,449 | 0,422 | 0,399 |
| φ26/300 | 0,770 | 0,700 | 0,615 | 0,555 | 0,510 | 0,474 | 0,445 | 0,421 |
| Resistenza minima | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| V_{\min} | 0,524 | 0,524 | 0,483 | 0,453 | 0,431 | 0,413 | 0,398 | 0,386 |

Classe del calcestruzzo: C32/40

Prospetto A9.4 Valori di $v_{Rd,c}$ (N/mm²) al variare dell'armatura flessionale (stesso diametro e passo in entrambe le direzioni y e z) e dell'altezza utile della piastra. I valori contenuti nelle caselle con sfondo grigio sono inferiori a v_{\min} e vanno sostituiti con questi ultimi (i valori di v_{\min} sono riportati nell'ultima riga del prospetto).

| passo 100 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| $\phi 12/100$ | 0,694 | 0,630 | 0,554 | 0,500 | 0,459 | 0,427 | 0,401 | 0,379 |
| $\phi 14/100$ | 0,769 | 0,698 | 0,614 | 0,554 | 0,509 | 0,473 | 0,444 | 0,420 |
| $\phi 16/100$ | 0,840 | 0,763 | 0,671 | 0,606 | 0,556 | 0,517 | 0,485 | 0,459 |
| $\phi 18/100$ | 0,909 | 0,826 | 0,726 | 0,655 | 0,602 | 0,559 | 0,525 | 0,497 |
| $\phi 20/100$ | 0,960 ⁽¹⁾ | 0,886 | 0,779 | 0,703 | 0,645 | 0,600 | 0,563 | 0,533 |
| $\phi 22/100$ | 0,960 | 0,944 | 0,830 | 0,749 | 0,688 | 0,639 | 0,600 | 0,568 |
| $\phi 24/100$ | 0,960 | 0,960 | 0,879 | 0,794 | 0,729 | 0,678 | 0,636 | 0,602 |
| $\phi 26/100$ | 0,960 | 0,960 | 0,928 | 0,837 | 0,769 | 0,715 | 0,671 | 0,634 |

⁽¹⁾ Nei casi in cui risulta $\rho_l > 0,02$, il calcolo è stato eseguito assumendo $\rho_l = 0,02$ (valore massimo consentito da EC2 per il calcolo di $v_{Rd,c}$). I valori così ottenuti sono evidenziati in grassetto.

| passo 150 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| $\phi 12/150$ | 0,606 | 0,550 | 0,484 | 0,437 | 0,401 | 0,373 | 0,350 | 0,331 |
| $\phi 14/150$ | 0,671 | 0,610 | 0,536 | 0,484 | 0,444 | 0,413 | 0,388 | 0,367 |
| $\phi 16/150$ | 0,734 | 0,667 | 0,586 | 0,529 | 0,486 | 0,452 | 0,424 | 0,401 |
| $\phi 18/150$ | 0,794 | 0,721 | 0,634 | 0,572 | 0,525 | 0,489 | 0,459 | 0,434 |
| $\phi 20/150$ | 0,852 | 0,774 | 0,680 | 0,614 | 0,564 | 0,524 | 0,492 | 0,465 |
| $\phi 22/150$ | 0,907 | 0,825 | 0,725 | 0,654 | 0,601 | 0,559 | 0,524 | 0,496 |
| $\phi 24/150$ | 0,960 | 0,874 | 0,768 | 0,693 | 0,637 | 0,592 | 0,556 | 0,525 |
| $\phi 26/150$ | 0,960 | 0,922 | 0,810 | 0,731 | 0,671 | 0,624 | 0,586 | 0,554 |

| passo 200 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| $\phi 12/200$ | 0,550 | 0,500 | 0,440 | 0,397 | 0,364 | 0,339 | 0,318 | 0,301 |
| $\phi 14/200$ | 0,610 | 0,554 | 0,487 | 0,440 | 0,404 | 0,375 | 0,352 | 0,333 |
| $\phi 16/200$ | 0,667 | 0,606 | 0,533 | 0,481 | 0,441 | 0,410 | 0,385 | 0,364 |
| $\phi 18/200$ | 0,721 | 0,655 | 0,576 | 0,520 | 0,477 | 0,444 | 0,417 | 0,394 |
| $\phi 20/200$ | 0,774 | 0,703 | 0,618 | 0,558 | 0,512 | 0,476 | 0,447 | 0,423 |
| $\phi 22/200$ | 0,825 | 0,749 | 0,659 | 0,594 | 0,546 | 0,508 | 0,476 | 0,451 |
| $\phi 24/200$ | 0,874 | 0,794 | 0,698 | 0,630 | 0,578 | 0,538 | 0,505 | 0,477 |
| $\phi 26/200$ | 0,922 | 0,837 | 0,736 | 0,664 | 0,610 | 0,567 | 0,533 | 0,504 |

| passo 250 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/250 | 0,511 | 0,464 | 0,408 | 0,368 | 0,338 | 0,315 | 0,295 | 0,279 |
| φ14/250 | 0,566 | 0,515 | 0,452 | 0,408 | 0,375 | 0,349 | 0,327 | 0,309 |
| φ16/250 | 0,619 | 0,562 | 0,495 | 0,446 | 0,410 | 0,381 | 0,358 | 0,338 |
| φ18/250 | 0,670 | 0,608 | 0,535 | 0,483 | 0,443 | 0,412 | 0,387 | 0,366 |
| φ20/250 | 0,718 | 0,653 | 0,574 | 0,518 | 0,475 | 0,442 | 0,415 | 0,392 |
| φ22/250 | 0,765 | 0,695 | 0,611 | 0,552 | 0,507 | 0,471 | 0,442 | 0,418 |
| φ24/250 | 0,811 | 0,737 | 0,648 | 0,585 | 0,537 | 0,499 | 0,469 | 0,443 |
| φ26/250 | 0,856 | 0,777 | 0,684 | 0,617 | 0,566 | 0,527 | 0,494 | 0,467 |
| passo 300 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/300 | 0,481 | 0,437 | 0,384 | 0,347 | 0,318 | 0,296 | 0,278 | 0,263 |
| φ14/300 | 0,533 | 0,484 | 0,426 | 0,384 | 0,353 | 0,328 | 0,308 | 0,291 |
| φ16/300 | 0,583 | 0,529 | 0,465 | 0,420 | 0,386 | 0,359 | 0,337 | 0,318 |
| φ18/300 | 0,630 | 0,572 | 0,503 | 0,454 | 0,417 | 0,388 | 0,364 | 0,344 |
| φ20/300 | 0,676 | 0,614 | 0,540 | 0,487 | 0,447 | 0,416 | 0,391 | 0,369 |
| φ22/300 | 0,720 | 0,654 | 0,575 | 0,519 | 0,477 | 0,443 | 0,416 | 0,394 |
| φ24/300 | 0,763 | 0,694 | 0,610 | 0,550 | 0,505 | 0,470 | 0,441 | 0,417 |
| φ26/300 | 0,805 | 0,732 | 0,643 | 0,580 | 0,533 | 0,496 | 0,465 | 0,440 |
| Resistenza minima | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| v_{\min} | 0,560 | 0,560 | 0,516 | 0,485 | 0,461 | 0,442 | 0,426 | 0,413 |

Classe del calcestruzzo: C35/45

Prospetto A9.5 Valori di $v_{Rd,c}$ (N/mm²) al variare dell'armatura flessionale (stesso diametro e passo in entrambe le direzioni y e z) e dell'altezza utile della piastra. I valori contenuti nelle caselle con sfondo grigio sono inferiori a v_{\min} e vanno sostituiti con questi ultimi (i valori di v_{\min} sono riportati nell'ultima riga del prospetto).

| passo 100 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/100 | 0,715 | 0,649 | 0,571 | 0,515 | 0,473 | 0,440 | 0,413 | 0,390 |
| φ14/100 | 0,792 | 0,719 | 0,633 | 0,571 | 0,524 | 0,487 | 0,458 | 0,433 |
| φ16/100 | 0,866 | 0,786 | 0,692 | 0,624 | 0,573 | 0,533 | 0,500 | 0,473 |
| φ18/100 | 0,936 | 0,851 | 0,748 | 0,675 | 0,620 | 0,576 | 0,541 | 0,512 |
| φ20/100 | 0,989 ⁽¹⁾ | 0,913 | 0,802 | 0,724 | 0,665 | 0,618 | 0,580 | 0,549 |
| φ22/100 | 0,989 | 0,972 | 0,855 | 0,772 | 0,708 | 0,659 | 0,618 | 0,585 |
| φ24/100 | 0,989 | 0,989 | 0,906 | 0,818 | 0,751 | 0,698 | 0,655 | 0,620 |
| φ26/100 | 0,989 | 0,989 | 0,956 | 0,862 | 0,792 | 0,736 | 0,691 | 0,654 |

⁽¹⁾ Nei casi in cui risulta $\rho_l > 0,02$, il calcolo è stato eseguito assumendo $\rho_l = 0,02$ (valore massimo consentito da EC2 per il calcolo di $v_{Rd,c}$). I valori così ottenuti sono evidenziati in grassetto.

| passo 150 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
|------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/150 | 0,624 | 0,567 | 0,499 | 0,450 | 0,413 | 0,384 | 0,361 | 0,341 |
| φ14/150 | 0,692 | 0,629 | 0,553 | 0,499 | 0,458 | 0,426 | 0,400 | 0,378 |
| φ16/150 | 0,756 | 0,687 | 0,604 | 0,545 | 0,501 | 0,465 | 0,437 | 0,413 |
| φ18/150 | 0,818 | 0,743 | 0,653 | 0,590 | 0,541 | 0,503 | 0,473 | 0,447 |
| φ20/150 | 0,877 | 0,797 | 0,701 | 0,633 | 0,581 | 0,540 | 0,507 | 0,479 |
| φ22/150 | 0,935 | 0,850 | 0,747 | 0,674 | 0,619 | 0,576 | 0,540 | 0,511 |
| φ24/150 | 0,989 | 0,900 | 0,792 | 0,714 | 0,656 | 0,610 | 0,573 | 0,541 |
| φ26/150 | 0,989 | 0,950 | 0,835 | 0,753 | 0,692 | 0,643 | 0,604 | 0,571 |

| passo 200 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
|------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/200 | 0,567 | 0,515 | 0,453 | 0,409 | 0,375 | 0,349 | 0,328 | 0,310 |
| φ14/200 | 0,629 | 0,571 | 0,502 | 0,453 | 0,416 | 0,387 | 0,363 | 0,343 |
| φ16/200 | 0,687 | 0,624 | 0,549 | 0,495 | 0,455 | 0,423 | 0,397 | 0,375 |
| φ18/200 | 0,743 | 0,675 | 0,594 | 0,536 | 0,492 | 0,457 | 0,429 | 0,406 |
| φ20/200 | 0,797 | 0,724 | 0,637 | 0,575 | 0,528 | 0,491 | 0,461 | 0,436 |
| φ22/200 | 0,850 | 0,772 | 0,679 | 0,612 | 0,562 | 0,523 | 0,491 | 0,464 |
| φ24/200 | 0,900 | 0,818 | 0,719 | 0,649 | 0,596 | 0,554 | 0,520 | 0,492 |
| φ26/200 | 0,950 | 0,863 | 0,759 | 0,685 | 0,629 | 0,584 | 0,549 | 0,519 |

| passo 250 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/250 | 0,526 | 0,478 | 0,421 | 0,380 | 0,348 | 0,324 | 0,304 | 0,288 |
| φ14/250 | 0,583 | 0,530 | 0,466 | 0,421 | 0,386 | 0,359 | 0,337 | 0,319 |
| φ16/250 | 0,638 | 0,579 | 0,510 | 0,460 | 0,422 | 0,393 | 0,369 | 0,348 |
| φ18/250 | 0,690 | 0,627 | 0,551 | 0,497 | 0,457 | 0,425 | 0,399 | 0,377 |
| φ20/250 | 0,740 | 0,672 | 0,591 | 0,534 | 0,490 | 0,456 | 0,428 | 0,404 |
| φ22/250 | 0,789 | 0,717 | 0,630 | 0,568 | 0,522 | 0,485 | 0,456 | 0,431 |
| φ24/250 | 0,836 | 0,759 | 0,668 | 0,602 | 0,553 | 0,514 | 0,483 | 0,457 |
| φ26/250 | 0,882 | 0,801 | 0,704 | 0,635 | 0,584 | 0,543 | 0,509 | 0,482 |
| passo 300 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/300 | 0,495 | 0,450 | 0,396 | 0,357 | 0,328 | 0,305 | 0,286 | 0,271 |
| φ14/300 | 0,549 | 0,499 | 0,439 | 0,396 | 0,363 | 0,338 | 0,317 | 0,300 |
| φ16/300 | 0,600 | 0,545 | 0,479 | 0,433 | 0,397 | 0,369 | 0,347 | 0,328 |
| φ18/300 | 0,649 | 0,590 | 0,519 | 0,468 | 0,430 | 0,400 | 0,375 | 0,355 |
| φ20/300 | 0,696 | 0,633 | 0,556 | 0,502 | 0,461 | 0,429 | 0,402 | 0,381 |
| φ22/300 | 0,742 | 0,674 | 0,593 | 0,535 | 0,491 | 0,457 | 0,429 | 0,406 |
| φ24/300 | 0,786 | 0,715 | 0,628 | 0,567 | 0,521 | 0,484 | 0,454 | 0,430 |
| φ26/300 | 0,830 | 0,754 | 0,663 | 0,598 | 0,549 | 0,511 | 0,479 | 0,453 |
| Resistenza minima | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| v_{\min} | 0,586 | 0,586 | 0,540 | 0,507 | 0,482 | 0,462 | 0,446 | 0,432 |

Classe del calcestruzzo: C40/50

Prospetto A9.6 Valori di $v_{Rd,c}$ (N/mm²) al variare dell'armatura flessionale (stesso diametro e passo in entrambe le direzioni y e z) e dell'altezza utile della piastra. I valori contenuti nelle caselle con sfondo grigio sono inferiori a v_{\min} e vanno sostituiti con questi ultimi (i valori di v_{\min} sono riportati nell'ultima riga del prospetto).

| passo 100 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/100 | 0,747 | 0,679 | 0,597 | 0,539 | 0,495 | 0,460 | 0,432 | 0,408 |
| φ14/100 | 0,828 | 0,752 | 0,661 | 0,597 | 0,548 | 0,510 | 0,478 | 0,452 |
| φ16/100 | 0,905 | 0,822 | 0,723 | 0,652 | 0,599 | 0,557 | 0,523 | 0,494 |
| φ18/100 | 0,979 | 0,889 | 0,782 | 0,706 | 0,648 | 0,603 | 0,566 | 0,535 |
| φ20/100 | 1,034 ⁽¹⁾ | 0,954 | 0,839 | 0,757 | 0,695 | 0,646 | 0,607 | 0,574 |
| φ22/100 | 1,034 | 1,017 | 0,894 | 0,807 | 0,741 | 0,689 | 0,647 | 0,611 |
| φ24/100 | 1,034 | 1,034 | 0,947 | 0,855 | 0,785 | 0,730 | 0,685 | 0,648 |
| φ26/100 | 1,034 | 1,034 | 0,999 | 0,902 | 0,828 | 0,770 | 0,723 | 0,683 |

⁽¹⁾ Nei casi in cui risulta $\rho_l > 0,02$, il calcolo è stato eseguito assumendo $\rho_l = 0,02$ (valore massimo consentito da EC2 per il calcolo di $v_{Rd,c}$). I valori così ottenuti sono evidenziati in grassetto.

| passo 150 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/150 | 0,653 | 0,593 | 0,521 | 0,470 | 0,432 | 0,402 | 0,377 | 0,357 |
| φ14/150 | 0,723 | 0,657 | 0,578 | 0,521 | 0,479 | 0,445 | 0,418 | 0,395 |
| φ16/150 | 0,791 | 0,718 | 0,632 | 0,570 | 0,523 | 0,487 | 0,457 | 0,432 |
| φ18/150 | 0,855 | 0,777 | 0,683 | 0,616 | 0,566 | 0,526 | 0,494 | 0,467 |
| φ20/150 | 0,917 | 0,834 | 0,733 | 0,661 | 0,607 | 0,565 | 0,530 | 0,501 |
| φ22/150 | 0,978 | 0,888 | 0,781 | 0,705 | 0,647 | 0,602 | 0,565 | 0,534 |
| φ24/150 | 1,034 | 0,941 | 0,828 | 0,747 | 0,686 | 0,638 | 0,599 | 0,566 |
| φ26/150 | 1,034 | 0,993 | 0,873 | 0,788 | 0,723 | 0,673 | 0,631 | 0,597 |

| passo 200 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/200 | 0,593 | 0,539 | 0,474 | 0,427 | 0,392 | 0,365 | 0,343 | 0,324 |
| φ14/200 | 0,657 | 0,597 | 0,525 | 0,474 | 0,435 | 0,404 | 0,380 | 0,359 |
| φ16/200 | 0,718 | 0,653 | 0,574 | 0,518 | 0,475 | 0,442 | 0,415 | 0,392 |
| φ18/200 | 0,777 | 0,706 | 0,621 | 0,560 | 0,514 | 0,478 | 0,449 | 0,425 |
| φ20/200 | 0,834 | 0,757 | 0,666 | 0,601 | 0,552 | 0,513 | 0,482 | 0,455 |
| φ22/200 | 0,888 | 0,807 | 0,710 | 0,640 | 0,588 | 0,547 | 0,513 | 0,485 |
| φ24/200 | 0,941 | 0,855 | 0,752 | 0,679 | 0,623 | 0,579 | 0,544 | 0,514 |
| φ26/200 | 0,993 | 0,902 | 0,793 | 0,716 | 0,657 | 0,611 | 0,574 | 0,542 |

| passo 100 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/250 | 0,550 | 0,500 | 0,440 | 0,397 | 0,364 | 0,339 | 0,318 | 0,301 |
| φ14/250 | 0,610 | 0,554 | 0,487 | 0,440 | 0,404 | 0,375 | 0,352 | 0,333 |
| φ16/250 | 0,667 | 0,606 | 0,533 | 0,481 | 0,441 | 0,410 | 0,385 | 0,364 |
| φ18/250 | 0,721 | 0,655 | 0,576 | 0,520 | 0,477 | 0,444 | 0,417 | 0,394 |
| φ20/250 | 0,774 | 0,703 | 0,618 | 0,558 | 0,512 | 0,476 | 0,447 | 0,423 |
| φ22/250 | 0,825 | 0,749 | 0,659 | 0,594 | 0,546 | 0,508 | 0,476 | 0,451 |
| φ24/250 | 0,874 | 0,794 | 0,698 | 0,630 | 0,578 | 0,538 | 0,505 | 0,477 |
| φ26/250 | 0,922 | 0,837 | 0,736 | 0,664 | 0,610 | 0,567 | 0,533 | 0,504 |
| passo 300 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/300 | 0,518 | 0,471 | 0,414 | 0,373 | 0,343 | 0,319 | 0,299 | 0,283 |
| φ14/300 | 0,574 | 0,522 | 0,459 | 0,414 | 0,380 | 0,353 | 0,332 | 0,314 |
| φ16/300 | 0,627 | 0,570 | 0,501 | 0,452 | 0,415 | 0,386 | 0,363 | 0,343 |
| φ18/300 | 0,679 | 0,617 | 0,542 | 0,489 | 0,449 | 0,418 | 0,392 | 0,371 |
| φ20/300 | 0,728 | 0,662 | 0,582 | 0,525 | 0,482 | 0,448 | 0,421 | 0,398 |
| φ22/300 | 0,776 | 0,705 | 0,620 | 0,559 | 0,514 | 0,478 | 0,448 | 0,424 |
| φ24/300 | 0,822 | 0,747 | 0,657 | 0,593 | 0,544 | 0,506 | 0,475 | 0,449 |
| φ26/300 | 0,867 | 0,788 | 0,693 | 0,625 | 0,574 | 0,534 | 0,501 | 0,474 |
| Resistenza minima | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| V_{\min} | 0,626 | 0,626 | 0,577 | 0,542 | 0,515 | 0,494 | 0,476 | 0,462 |

Classe del calcestruzzo: C45/55

Prospetto A9.7 Valori di $v_{Rd,c}$ (N/mm²) al variare dell'armatura flessionale (stesso diametro e passo in entrambe le direzioni y e z) e dell'altezza utile della piastra. I valori contenuti nelle caselle con sfondo grigio sono inferiori a v_{min} e vanno sostituiti con questi ultimi (i valori di v_{min} sono riportati nell'ultima riga del prospetto).

| passo 100 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/100 | 0,777 | 0,706 | 0,621 | 0,560 | 0,514 | 0,478 | 0,449 | 0,425 |
| φ14/100 | 0,861 | 0,782 | 0,688 | 0,621 | 0,570 | 0,530 | 0,498 | 0,470 |
| φ16/100 | 0,941 | 0,855 | 0,752 | 0,679 | 0,623 | 0,579 | 0,544 | 0,514 |
| φ18/100 | 1,018 | 0,925 | 0,813 | 0,734 | 0,674 | 0,627 | 0,588 | 0,556 |
| φ20/100 | 1,076 ⁽¹⁾ | 0,992 | 0,873 | 0,787 | 0,723 | 0,672 | 0,631 | 0,597 |
| φ22/100 | 1,076 | 1,057 | 0,930 | 0,839 | 0,770 | 0,716 | 0,672 | 0,636 |
| φ24/100 | 1,076 | 1,076 | 0,985 | 0,889 | 0,816 | 0,759 | 0,713 | 0,674 |
| φ26/100 | 1,076 | 1,076 | 1,039 | 0,938 | 0,861 | 0,801 | 0,752 | 0,711 |

⁽¹⁾ Nei casi in cui risulta $\rho_l > 0,02$, il calcolo è stato eseguito assumendo $\rho_l = 0,02$ (valore massimo consentito da EC2 per il calcolo di $v_{Rd,c}$). I valori così ottenuti sono evidenziati in grassetto.

| passo 150 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/150 | 0,679 | 0,617 | 0,542 | 0,489 | 0,449 | 0,418 | 0,392 | 0,371 |
| φ14/150 | 0,752 | 0,683 | 0,601 | 0,542 | 0,498 | 0,463 | 0,435 | 0,411 |
| φ16/150 | 0,822 | 0,747 | 0,657 | 0,593 | 0,544 | 0,506 | 0,475 | 0,449 |
| φ18/150 | 0,889 | 0,808 | 0,711 | 0,641 | 0,589 | 0,547 | 0,514 | 0,486 |
| φ20/150 | 0,954 | 0,867 | 0,762 | 0,688 | 0,632 | 0,587 | 0,551 | 0,521 |
| φ22/150 | 1,017 | 0,924 | 0,812 | 0,733 | 0,673 | 0,626 | 0,587 | 0,556 |
| φ24/150 | 1,076 | 0,979 | 0,861 | 0,777 | 0,713 | 0,663 | 0,623 | 0,589 |
| φ26/150 | 1,076 | 1,033 | 0,908 | 0,819 | 0,752 | 0,700 | 0,657 | 0,621 |

| passo 200 mm | d (mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/200 | 0,617 | 0,560 | 0,493 | 0,445 | 0,408 | 0,380 | 0,356 | 0,337 |
| φ14/200 | 0,683 | 0,621 | 0,546 | 0,493 | 0,452 | 0,421 | 0,395 | 0,373 |
| φ16/200 | 0,747 | 0,679 | 0,597 | 0,539 | 0,495 | 0,460 | 0,432 | 0,408 |
| φ18/200 | 0,808 | 0,734 | 0,646 | 0,583 | 0,535 | 0,497 | 0,467 | 0,442 |
| φ20/200 | 0,867 | 0,788 | 0,693 | 0,625 | 0,574 | 0,534 | 0,501 | 0,474 |
| φ22/200 | 0,924 | 0,839 | 0,738 | 0,666 | 0,611 | 0,569 | 0,534 | 0,505 |
| φ24/200 | 0,979 | 0,889 | 0,782 | 0,706 | 0,648 | 0,603 | 0,566 | 0,535 |
| φ26/200 | 1,033 | 0,938 | 0,825 | 0,744 | 0,684 | 0,636 | 0,597 | 0,564 |

| passo 100 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/250 | 0,572 | 0,520 | 0,457 | 0,413 | 0,379 | 0,352 | 0,331 | 0,313 |
| φ14/250 | 0,634 | 0,576 | 0,507 | 0,457 | 0,420 | 0,391 | 0,367 | 0,347 |
| φ16/250 | 0,694 | 0,630 | 0,554 | 0,500 | 0,459 | 0,427 | 0,401 | 0,379 |
| φ18/250 | 0,750 | 0,682 | 0,599 | 0,541 | 0,497 | 0,462 | 0,433 | 0,410 |
| φ20/250 | 0,805 | 0,731 | 0,643 | 0,580 | 0,533 | 0,495 | 0,465 | 0,440 |
| φ22/250 | 0,858 | 0,779 | 0,685 | 0,618 | 0,568 | 0,528 | 0,495 | 0,469 |
| φ24/250 | 0,909 | 0,826 | 0,726 | 0,655 | 0,602 | 0,559 | 0,525 | 0,497 |
| φ26/250 | 0,959 | 0,871 | 0,766 | 0,691 | 0,635 | 0,590 | 0,554 | 0,524 |
| passo 300 mm | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| φ12/300 | 0,539 | 0,489 | 0,430 | 0,388 | 0,357 | 0,332 | 0,311 | 0,294 |
| φ14/300 | 0,597 | 0,542 | 0,477 | 0,430 | 0,395 | 0,367 | 0,345 | 0,326 |
| φ16/300 | 0,653 | 0,593 | 0,521 | 0,470 | 0,432 | 0,402 | 0,377 | 0,357 |
| φ18/300 | 0,706 | 0,641 | 0,564 | 0,509 | 0,467 | 0,435 | 0,408 | 0,386 |
| φ20/300 | 0,757 | 0,688 | 0,605 | 0,546 | 0,501 | 0,466 | 0,438 | 0,414 |
| φ22/300 | 0,807 | 0,733 | 0,645 | 0,582 | 0,534 | 0,497 | 0,466 | 0,441 |
| φ24/300 | 0,855 | 0,777 | 0,683 | 0,616 | 0,566 | 0,526 | 0,494 | 0,467 |
| φ26/300 | 0,902 | 0,820 | 0,721 | 0,650 | 0,597 | 0,555 | 0,521 | 0,493 |
| Resistenza minima | <i>d</i> (mm) | | | | | | | |
| | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| v_{\min} | 0,664 | 0,664 | 0,612 | 0,575 | 0,546 | 0,524 | 0,505 | 0,490 |

Appendice B

Prospetti contenenti i valori dell'area massima di cuciture verticali all'interno di una fila per un pilastro a sezione rettangolare dotato di due file circolferenziali di cuciture verticali

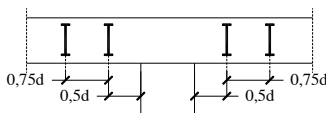
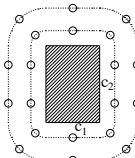
(per valori superiori a quelli tabellati si verifica la rottura sul perimetro u_0 del pilastro o area caricata – caselle con sfondo grigio - oppure la rottura lungo il perimetro u_{out} al di fuori della zona dotata di armature – caselle con sfondo bianco)

I prospetti sono stati costruiti considerando nel calcolo di $V_{Rd,cs}$ sia il contributo dell'acciaio sia quello del calcestruzzo, come indicato nell'EC2 e nelle NTC 2018.

Classe del calcestruzzo: C28/35

Prospetto A9.8 Valori di $A_{sw,max}$ (mm²) su ogni fila per cuciture verticali disposte su due file ed alle distanze massime indicate in EN1992-1-1 per pilastro a sezione rettangolare. I valori sono stati calcolati per calcestruzzo di classe C28/35 e percentuale geometrica di armatura flessionale

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} = 2 \% \text{ (valore massimo ammesso da EC2 nel calcolo di } v_{Rd,c}\text{)}.$$

| | | sezione | | | | pianta | | |
|-------------------|--|---|-----|------|------|--|------|------|
| | |  | | | |  | | |
| c_1+c_2 (mm) | | d (mm) | | | | | | |
| | | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| 500 | | — ⁽¹⁾ | — | — | — | — | — | — |
| 550 | | 334 | — | — | — | — | — | — |
| 600 | | 417 | 390 | — | — | — | — | — |
| 650 | | 500 | 491 | — | — | — | — | — |
| 700 | | 583 | 592 | 558 | — | — | — | — |
| 750 | | 596 | 693 | 676 | 619 | — | — | — |
| 800 | | 603 | 794 | 793 | 752 | — | — | — |
| 850 | | 611 | 831 | 911 | 885 | 823 | — | — |
| 900 | | 619 | 840 | 1028 | 1019 | 971 | 890 | — |
| 950 | | 626 | 848 | 1090 | 1152 | 1119 | 1051 | — |
| 1000 | | 634 | 857 | 1099 | 1285 | 1267 | 1213 | 1127 |
| 1050 | | 641 | 866 | 1109 | 1369 | 1414 | 1374 | 1301 |
| 1100 | | 649 | 874 | 1119 | 1379 | 1562 | 1535 | 1475 |
| 1150 | | 657 | 883 | 1128 | 1389 | 1664 | 1697 | 1649 |
| 1200 | | 664 | 892 | 1138 | 1400 | 1676 | 1858 | 1823 |
| 1250 | | 672 | 901 | 1147 | 1410 | 1687 | 1975 | 1998 |
| 1300 | | 680 | 909 | 1157 | 1421 | 1698 | 1987 | 2172 |
| 1350 | | 687 | 918 | 1167 | 1431 | 1709 | 1999 | 2299 |
| 1400 | | 695 | 927 | 1176 | 1442 | 1720 | 2011 | 2312 |
| 1450 | | 703 | 935 | 1186 | 1452 | 1732 | 2023 | 2324 |
| 1500 | | 710 | 944 | 1196 | 1463 | 1743 | 2035 | 2337 |

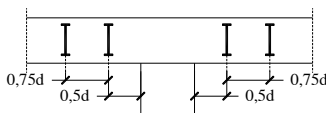
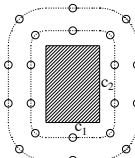
⁽¹⁾ Le caselle vuote indicano che la rottura avviene lungo u_0 indipendentemente dal valore di A_{sw} , in quanto la resistenza $V_{Rd,c}$ che si ha in assenza di armature trasversali e con $\rho_l=2\%$ è maggiore di $V_{Rd,max}$.

⁽²⁾ Le caselle con lo sfondo grigio indicano i casi in cui il quantitativo di armatura che soddisfa la condizione $V_{Rd,cs} = V_{Rd,max}$ è minore di quella che soddisfa la condizione $V_{Rd,cs} = V_{Rd,c,out}$. Pertanto, per $A_{sw} > A_{sw,max}$ la rottura avviene lungo u_0 per le caselle con sfondo grigio e lungo u_{out} per quelle con sfondo bianco.

Classe del calcestruzzo: C32/40

Prospetto A9.9 Valori di $A_{sw,max}$ (mm²) su ogni fila per cuciture verticali disposte su due file ed alle distanze massime indicate in EN1992-1-1 per pilastro a sezione rettangolare. I valori sono stati calcolati per calcestruzzo di classe C32/40 e percentuale geometrica di armatura flessionale

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} = 2 \% \text{ (valore massimo ammesso da EC2 nel calcolo di } v_{Rd,c}\text{)}.$$

| | | sezione | | pianta | | | |
|-------------------|----------|---|------|--|------|------|------|
| | |  | |  | | | |
| c_1+c_2 (mm) | d (mm) | | | | | | |
| | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| 500 | 366 | — ⁽¹⁾ | — | — | — | — | — |
| 550 | 463 | 439 | — | — | — | — | — |
| 600 | 559 | 556 | 509 | — | — | — | — |
| 650 | 607 | 674 | 646 | — | — | — | — |
| 700 | 615 | 792 | 783 | 732 | — | — | — |
| 750 | 623 | 851 | 920 | 887 | 817 | — | — |
| 800 | 631 | 860 | 1057 | 1043 | 989 | — | — |
| 850 | 639 | 869 | 1119 | 1198 | 1161 | 1088 | — |
| 900 | 647 | 878 | 1129 | 1353 | 1333 | 1276 | 1185 |
| 950 | 655 | 887 | 1139 | 1409 | 1505 | 1463 | 1388 |
| 1000 | 663 | 896 | 1149 | 1420 | 1677 | 1651 | 1590 |
| 1050 | 671 | 905 | 1159 | 1431 | 1717 | 1839 | 1793 |
| 1100 | 679 | 914 | 1170 | 1442 | 1729 | 2027 | 1995 |
| 1150 | 687 | 923 | 1180 | 1453 | 1740 | 2040 | 2198 |
| 1200 | 695 | 932 | 1190 | 1464 | 1752 | 2053 | 2365 |
| 1250 | 703 | 942 | 1200 | 1474 | 1764 | 2065 | 2378 |
| 1300 | 711 | 951 | 1210 | 1485 | 1775 | 2078 | 2391 |
| 1350 | 719 | 960 | 1220 | 1496 | 1787 | 2090 | 2404 |
| 1400 | 727 | 969 | 1230 | 1507 | 1799 | 2103 | 2417 |
| 1450 | 735 | 978 | 1240 | 1518 | 1810 | 2115 | 2430 |
| 1500 | 743 | 987 | 1250 | 1529 | 1822 | 2127 | 2443 |

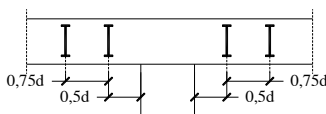
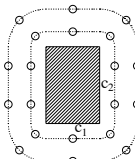
⁽¹⁾ Le caselle vuote indicano che la rottura avviene lungo u_0 indipendentemente dal valore di A_{sw} , in quanto la resistenza $V_{Rd,c}$ che si ha in assenza di armature trasversali e con $\rho_l=2\%$ è maggiore di $V_{Rd,max}$.

⁽²⁾ Le caselle con lo sfondo grigio indicano i casi in cui il quantitativo di armatura che soddisfa la condizione $V_{Rd,cs} = V_{Rd,max}$ è minore di quella che soddisfa la condizione $V_{Rd,cs} = V_{Rd,c,out}$. Pertanto, per $A_{sw} > A_{sw,max}$ la rottura avviene lungo u_0 per le caselle con sfondo grigio e lungo u_{out} per quelle con sfondo bianco.

Classe del calcestruzzo: C35/45

Prospetto A9.10 Valori di $A_{sw,max}$ (mm²) su ogni fila per cuciture verticali disposte su due file ed alle distanze massime indicate in EN1992-1-1 per pilastro a sezione rettangolare. I valori sono stati calcolati per calcestruzzo di classe C35/45 e percentuale geometrica di armatura flessionale

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} = 2 \% \text{ (valore massimo ammesso da EC2 nel calcolo di } v_{Rd,c}\text{)}.$$

| | sezione | | | | pianta | | |
|-------------------|---|------|------------------|------|--|------|------|
| |  | | | |  | | |
| c_1+c_2 (mm) | d (mm) | | | | | | |
| | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| 500 | 453 | 423 | — ⁽¹⁾ | — | — | — | — |
| 550 | 561 | 553 | — | — | — | — | — |
| 600 | 617 | 684 | 651 | — | — | — | — |
| 650 | 625 | 814 | 803 | 749 | — | — | — |
| 700 | 633 | 867 | 955 | 921 | 848 | — | — |
| 750 | 642 | 876 | 1107 | 1093 | 1039 | 948 | — |
| 800 | 650 | 886 | 1143 | 1265 | 1229 | 1156 | — |
| 850 | 658 | 895 | 1153 | 1429 | 1420 | 1363 | 1273 |
| 900 | 666 | 904 | 1164 | 1440 | 1610 | 1571 | 1497 |
| 950 | 675 | 914 | 1174 | 1452 | 1745 | 1779 | 1721 |
| 1000 | 683 | 923 | 1184 | 1463 | 1757 | 1987 | 1945 |
| 1050 | 691 | 933 | 1195 | 1474 | 1769 | 2077 | 2169 |
| 1100 | 699 | 942 | 1205 | 1485 | 1781 | 2090 | 2393 |
| 1150 | 707 | 951 | 1215 | 1497 | 1793 | 2102 | 2423 |
| 1200 | 716 | 961 | 1226 | 1508 | 1805 | 2115 | 2437 |
| 1250 | 724 | 970 | 1236 | 1519 | 1817 | 2128 | 2450 |
| 1300 | 732 | 979 | 1246 | 1530 | 1829 | 2141 | 2463 |
| 1350 | 740 | 989 | 1257 | 1542 | 1841 | 2154 | 2477 |
| 1400 | 749 | 998 | 1267 | 1553 | 1853 | 2166 | 2490 |
| 1450 | 757 | 1008 | 1278 | 1564 | 1865 | 2179 | 2504 |
| 1500 | 765 | 1017 | 1288 | 1575 | 1877 | 2192 | 2517 |

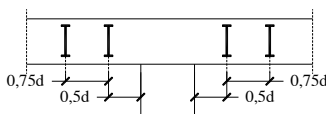
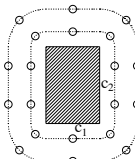
⁽¹⁾ Le caselle vuote indicano che la rottura avviene lungo u_0 indipendentemente dal valore di A_{sw} , in quanto la resistenza $V_{Rd,c}$ che si ha in assenza di armature trasversali e con $\rho_l=2\%$ è maggiore di $V_{Rd,max}$.

⁽²⁾ Le caselle con lo sfondo grigio indicano i casi in cui il quantitativo di armatura che soddisfa la condizione $V_{Rd,cs} = V_{Rd,max}$ è minore di quella che soddisfa la condizione $V_{Rd,cs} = V_{Rd,c,out}$. Pertanto, per $A_{sw} > A_{sw,max}$ la rottura avviene lungo u_0 per le caselle con sfondo grigio e lungo u_{out} per quelle con sfondo bianco.

Classe del calcestruzzo: C40/50

Prospetto A9.11 Valori di $A_{sw,max}$ (mm²) su ogni fila per cuciture verticali disposte su due file ed alle distanze massime indicate in EN1992-1-1 per pilastro a sezione rettangolare. I valori sono stati calcolati per calcestruzzo di classe C40/50 e percentuale geometrica di armatura flessionale

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} = 2 \% \text{ (valore massimo ammesso da EC2 nel calcolo di } v_{Rd,c}\text{)}.$$

| | sezione | | | | pianta | | |
|-------------------|---|------|------|------------------|--|------|------|
| |  | | | |  | | |
| c_1+c_2 (mm) | d (mm) | | | | | | |
| | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| 500 | 603 | 596 | 541 | — ⁽¹⁾ | — | — | — |
| 550 | 636 | 748 | 718 | — | — | — | — |
| 600 | 645 | 887 | 895 | 844 | — | — | — |
| 650 | 653 | 897 | 1072 | 1044 | 974 | — | — |
| 700 | 662 | 906 | 1173 | 1244 | 1196 | 1109 | — |
| 750 | 671 | 916 | 1184 | 1443 | 1417 | 1350 | 1249 |
| 800 | 679 | 926 | 1195 | 1482 | 1638 | 1592 | 1509 |
| 850 | 688 | 936 | 1206 | 1494 | 1799 | 1833 | 1769 |
| 900 | 697 | 946 | 1216 | 1506 | 1812 | 2074 | 2029 |
| 950 | 705 | 955 | 1227 | 1518 | 1824 | 2145 | 2289 |
| 1000 | 714 | 965 | 1238 | 1530 | 1837 | 2158 | 2491 |
| 1050 | 722 | 975 | 1249 | 1541 | 1849 | 2171 | 2505 |
| 1100 | 731 | 985 | 1260 | 1553 | 1862 | 2185 | 2519 |
| 1150 | 740 | 995 | 1271 | 1565 | 1875 | 2198 | 2533 |
| 1200 | 748 | 1004 | 1282 | 1577 | 1887 | 2211 | 2547 |
| 1250 | 757 | 1014 | 1292 | 1588 | 1900 | 2225 | 2562 |
| 1300 | 766 | 1024 | 1303 | 1600 | 1912 | 2238 | 2576 |
| 1350 | 774 | 1034 | 1314 | 1612 | 1925 | 2252 | 2590 |
| 1400 | 783 | 1044 | 1325 | 1624 | 1938 | 2265 | 2604 |
| 1450 | 791 | 1053 | 1336 | 1635 | 1950 | 2278 | 2618 |
| 1500 | 800 | 1063 | 1347 | 1647 | 1963 | 2292 | 2632 |

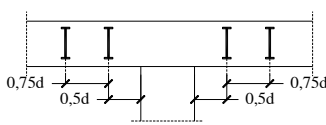
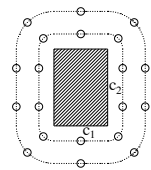
⁽¹⁾ Le caselle vuote indicano che la rottura avviene lungo u_0 indipendentemente dal valore di A_{sw} , in quanto la resistenza $V_{Rd,c}$ che si ha in assenza di armature trasversali e con $\rho_l=2\%$ è maggiore di $V_{Rd,max}$.

⁽²⁾ Le caselle con lo sfondo grigio indicano i casi in cui il quantitativo di armatura che soddisfa la condizione $V_{Rd,cs} = V_{Rd,max}$ è minore di quella che soddisfa la condizione $V_{Rd,cs} = V_{Rd,c,out}$. Pertanto, per $A_{sw} > A_{sw,max}$ la rottura avviene lungo u_0 per le caselle con sfondo grigio e lungo u_{out} per quelle con sfondo bianco.

Classe del calcestruzzo: C45/55

Prospetto A9.12 Valori di $A_{sw,max}$ (mm²) su ogni fila per cuciture verticali disposte su due file ed alle distanze massime indicate in EN1992-1-1 per pilastro a sezione rettangolare. I valori sono stati calcolati per calcestruzzo di classe C45/55 e percentuale geometrica di armatura flessionale

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} = 2 \% \text{ (valore massimo ammesso da EC2 nel calcolo di } v_{Rd,c}\text{)}.$$

| | | sezione | | pianta | | | |
|-------------------|----------|---|------|--|------------------|------|------|
| | |  | |  | | | |
| c_1+c_2 (mm) | d (mm) | | | | | | |
| | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| 500 | 653 | 774 | 741 | 662 | — ⁽¹⁾ | — | — |
| 550 | 662 | 912 | 943 | 890 | — | — | — |
| 600 | 671 | 922 | 1144 | 1118 | 1047 | — | — |
| 650 | 680 | 933 | 1209 | 1345 | 1299 | 1213 | — |
| 700 | 689 | 943 | 1220 | 1517 | 1552 | 1488 | 1388 |
| 750 | 698 | 953 | 1231 | 1530 | 1804 | 1763 | 1684 |
| 800 | 707 | 963 | 1243 | 1542 | 1858 | 2038 | 1980 |
| 850 | 716 | 973 | 1254 | 1554 | 1871 | 2203 | 2276 |
| 900 | 724 | 984 | 1265 | 1566 | 1884 | 2217 | 2562 |
| 950 | 733 | 994 | 1276 | 1579 | 1897 | 2230 | 2576 |
| 1000 | 742 | 1004 | 1288 | 1591 | 1910 | 2244 | 2591 |
| 1050 | 751 | 1014 | 1299 | 1603 | 1923 | 2258 | 2606 |
| 1100 | 760 | 1024 | 1310 | 1615 | 1937 | 2272 | 2620 |
| 1150 | 769 | 1034 | 1322 | 1627 | 1950 | 2286 | 2635 |
| 1200 | 778 | 1045 | 1333 | 1640 | 1963 | 2300 | 2649 |
| 1250 | 787 | 1055 | 1344 | 1652 | 1976 | 2314 | 2664 |
| 1300 | 796 | 1065 | 1355 | 1664 | 1989 | 2328 | 2679 |
| 1350 | 805 | 1075 | 1367 | 1676 | 2002 | 2342 | 2693 |
| 1400 | 814 | 1085 | 1378 | 1689 | 2015 | 2356 | 2708 |
| 1450 | 823 | 1096 | 1389 | 1701 | 2028 | 2369 | 2723 |
| 1500 | 832 | 1106 | 1400 | 1713 | 2041 | 2383 | 2737 |

⁽¹⁾ Le caselle vuote indicano che la rottura avviene lungo u_0 indipendentemente dal valore di A_{sw} , in quanto la resistenza $V_{Rd,c}$ che si ha in assenza di armature trasversali e con $\rho_l=2\%$ è maggiore di $V_{Rd,max}$.

⁽²⁾ Le caselle con lo sfondo grigio indicano i casi in cui il quantitativo di armatura che soddisfa la condizione $V_{Rd,cs} = V_{Rd,max}$ è minore di quella che soddisfa la condizione $V_{Rd,cs} = V_{Rd,c,out}$. Pertanto, per $A_{sw} > A_{sw,max}$ la rottura avviene lungo u_0 per le caselle con sfondo grigio e lungo u_{out} per quelle con sfondo bianco.