

VERIFICA DELLO STATO LIMITE DI ROTTURA NEI CONFRONTI DEL PUNZONAMENTO

NTC: 14-01-2008

DESCRIZIONE.....	3
VERIFICHE.....	3
1.- Zona adiacente al pilastro o carico (Situazioni persistenti).....	3
2.- Zona dotata di armatura trasversale a punzonamento (Situazioni persistenti)...	4
3.- Zona esterna all'armatura a punzonamento (Situazioni persistenti).....	6
4.- Armature per il taglio-punzonamento (UNI EN 1992-1-1:2005, 9.4.3(2)).....	8
5.- Distanza libera tra due barre isolate consecutive.....	8
6.- Distanza tra la faccia del pilastro e la prima barra di armatura aggiuntiva a punzonamento.....	8
7.- Distanza tra perimetri di barre di armatura aggiuntiva trasversale consecutivi..	9
8.- Distanza tra due barre di armatura aggiuntiva consecutive in verso perimetrale.....	9

DESCRIZIONE

Calcolo dei perimetri di punzonamento	
	Perimetro del pilastro (P1) <u>u₀:</u> 1600 mm
	Perimetro critico <u>u₁:</u> 5343 mm <u>x_G:</u> -56 mm <u>y_G:</u> -85 mm <u>W_{1x}:</u> 30549.2 cm ² <u>W_{1y}:</u> 32187.3 cm ²
	Perimetro dell'armatura aggiuntiva <u>u_{out,ef}:</u> 6746 mm <u>x_G:</u> -40 mm <u>y_G:</u> -91 mm <u>W_{out,ef,x}:</u> 61880.0 cm ² <u>W_{out,ef,y}:</u> 65433.2 cm ²

Prodotto da una versione per uso interno di CYPE

VERIFICHE

1.- Zona adiacente al pilastro o carico (Situazioni persistenti)

Le azioni interne sollecitanti di calcolo più gravose si verificano per la combinazione di azioni

1.3·PP+1.3·G1+1.5·Q1.

Si deve soddisfare:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max}$$

0.64 MPa ≤ 4.50 MPa ✓

Dove:

v_{Ed}: Valore di calcolo della tensione tangenziale lungo la sezione critica considerata.

$$v_{Ed} : \underline{0.64} \text{ MPa}$$

v_{Rd,max}: Valore di calcolo della resistenza a punzonamento massima lungo la sezione critica considerata.

$$v_{Rd,max} : \underline{4.50} \text{ MPa}$$

Il valore di calcolo della tensione tangenziale lungo la sezione critica considerata si ottiene mediante la seguente espressione (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.5):

$$v_{Ed} = \frac{|\beta \cdot V_{Ed}|}{u_0 \cdot d}$$

$$v_{Ed} : \underline{0.64} \text{ MPa}$$

Dove:

V_{Ed}: Valore di calcolo del taglio prodotto dalle azioni esterne.

$$V_{Ed} : \underline{344.00} \text{ kN}$$

b: Coefficiente che tiene in considerazione gli effetti dell'eccentricità del carico. (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.3).

$$b : \underline{1.03}$$

$$\beta = 1 + k_x \cdot \frac{|M_{Edx}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_1}{W_{1x}} + k_y \cdot \frac{|M_{Edy}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_1}{W_{1y}}$$

k_x: Coefficiente che dipende dal rapporto tra le dimensioni c_y (dimensione nella direzione dell'asse y) e c_x (dimensione nella direzione dell'asse x) del pilastro (UNI EN 1992-1-1:2005, Tabella 6.1).

$$k_x : \underline{0.60}$$

k_y : Coefficiente che dipende dal rapporto tra le dimensioni c_x (dimensione nella direzione dell'asse x) e c_y (dimensione nella direzione dell'asse y) del pilastro (UNI EN 1992-1-1:2005, Tabella 6.1).

$$k_y : \underline{0.60}$$

M_{Edx} : Momento di calcolo attorno all'asse x rispetto al centro di gravità del perimetro critico u_1 .

$$M_{Edx} : \underline{-6.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{Edy} : Momento di calcolo attorno all'asse y rispetto al centro di gravità del perimetro critico u_1 .

$$M_{Edy} : \underline{-3.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{EdOx} : Momento di calcolo attorno all'asse x, rispetto al centro di gravità del pilastro.

$$M_{EdOx} : \underline{23.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{EdOy} : Momento di calcolo attorno all'asse y, rispetto al centro di gravità del pilastro.

$$M_{EdOy} : \underline{-23.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

u_1 : Perimetro critico di punzonamento (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.2).

$$u_1 : \underline{5343} \text{ mm}$$

$$W_{1x} = \int_0^{u_1} |e_y| \cdot dl$$

$$W_{1x} : \underline{30549.2} \text{ cm}^2$$

dl: Elemento differenziale di lunghezza del perimetro critico.

e_y : Distanza da dl fino all'asse attorno al quale agisce il momento M_{Edx} .

$$W_{1y} = \int_0^{u_1} |e_x| \cdot dl$$

$$W_{1y} : \underline{32187.3} \text{ cm}^2$$

e_x : Distanza da dl fino all'asse attorno al quale agisce il momento M_{Edy} .

u_0 : Perimetro critico di verifica della zona adiacente al pilastro o carico (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.5).

$$u_0 : \underline{1600} \text{ mm}$$

d: Altezza utile della lastra.

$$d : \underline{344} \text{ mm}$$

Il valore di calcolo della resistenza a punzonamento massima lungo la sezione critica considerata si ottiene mediante la seguente espressione (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.5):

$$v_{Rd,max} = 0.5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$v_{Rd,max} : \underline{4.50} \text{ MPa}$$

$$v = 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$$n : \underline{0.54}$$

Dove:

f_{ck} : Resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo.

$$f_{ck} : \underline{25.00} \text{ MPa}$$

f_{cd} : Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo.

$$f_{cd} : \underline{16.67} \text{ MPa}$$

2.- Zona dotata di armatura trasversale a punzonamento (Situazioni persistenti)

Nel caso in cui si disponga una apposita armatura, l'intero sforzo allo stato limite ultimo dovrà essere affidato all'armatura (NTC 14/01/2008, 4.1.2.1.3.4; UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.3 y 6.4.5).

Le azioni interne sollecitanti di calcolo più gravose si verificano per la combinazione di azioni 1.3·PP+1.3·G1+1.5·Q1.

Si deve soddisfare:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,cs}$$

$$0.19 \text{ MPa} \leq 0.19 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Dove:

v_{Ed} : Valore di calcolo della tensione tangenziale lungo la sezione critica considerata.

$$v_{Ed} : \underline{0.19} \text{ MPa}$$

$v_{Rd,cs}$: Valore di calcolo della resistenza a punzonamento di una lastra dotata di armatura a punzonamento lungo la sezione critica considerata.

$$v_{Rd,cs} : \underline{0.19} \text{ MPa}$$

Il valore di calcolo della tensione tangenziale lungo la sezione critica considerata si ottiene mediante la seguente espressione (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.3):

$$v_{Ed} = \frac{|\beta \cdot V_{Ed}|}{u_1 \cdot d}$$

$$v_{Ed} : \underline{0.19} \text{ MPa}$$

Dove:

V_{Ed} : Valore di calcolo del taglio prodotto dalle azioni esterne.

$$V_{Ed} : \underline{344.00} \text{ kN}$$

β : Coefficiente che tiene in considerazione gli effetti dell'eccentricità del carico. (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.3).

$$\beta : \underline{1.03}$$

$$\beta = 1 + k_x \cdot \frac{|M_{Edx}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_1}{W_{1x}} + k_y \cdot \frac{|M_{Edy}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_1}{W_{1y}}$$

k_x : Coefficiente che dipende dal rapporto tra le dimensioni c_y (dimensione nella direzione dell'asse y) e c_x (dimensione nella direzione dell'asse x) del pilastro (UNI EN 1992-1-1:2005, Tabella 6.1).

$$k_x : \underline{0.60}$$

k_y : Coefficiente che dipende dal rapporto tra le dimensioni c_x (dimensione nella direzione dell'asse x) e c_y (dimensione nella direzione dell'asse y) del pilastro (UNI EN 1992-1-1:2005, Tabella 6.1).

$$k_y : \underline{0.60}$$

M_{Edx} : Momento di calcolo attorno all'asse x rispetto al centro di gravità del perimetro critico u_1 .

$$M_{Edx} : \underline{-6.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{Edy} : Momento di calcolo attorno all'asse y rispetto al centro di gravità del perimetro critico u_1 .

$$M_{Edy} : \underline{-3.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{EdOx} : Momento di calcolo attorno all'asse x, rispetto al centro di gravità del pilastro.

$$M_{EdOx} : \underline{23.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{EdOy} : Momento di calcolo attorno all'asse y, rispetto al centro di gravità del pilastro.

$$M_{EdOy} : \underline{-23.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

u_1 : Perimetro critico di punzonamento (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.2).

$$u_1 : \underline{5343} \text{ mm}$$

$$W_{1x} = \int_0^{u_1} |e_y| \cdot dl$$

$$W_{1x} : \underline{30549.2} \text{ cm}^2$$

dl : Elemento differenziale di lunghezza del perimetro critico.

e_y : Distanza da dl fino all'asse attorno al quale agisce il momento M_{Edx} .

$$W_{1y} = \int_0^{u_1} |e_x| \cdot dl$$

$$W_{1y} : \underline{32187.3} \text{ cm}^2$$

e_x : Distanza da dl fino all'asse attorno al quale agisce il momento M_{Edy} .

d : Altezza utile della lastra.

$$d : \underline{344} \text{ mm}$$

Il valore di calcolo della resistenza a punzonamento di una lastra dotata di armatura a punzonamento lungo la sezione critica considerata si ottiene mediante la seguente espressione (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.5):

$$v_{Rd,cs} = 1.5 \cdot \frac{\sum \left(\frac{A_{sw}}{s_r} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha \right)}{u_1}$$

$$v_{Rd,cs} : \underline{0.19} \text{ MPa}$$

Dove:

A_{sw} : Area totale di armatura a punzonamento in un perimetro concentrico al pilastro o area caricata.

s_r : Distanza in direzione radiale tra due perimetri concentrici di armatura.

a: Angolo tra l'armatura a punzonamento e il piano della lastra.

Riferimento	A_{sw} (mm ²)	S_r (mm)	α (gradi)	A_{sw}/S_r (cm ² /m)
es1	201	200	90.0	10.1
es1	201	200	90.0	10.1

$f_{ywd,ef}$: Valore di calcolo della resistenza efficace dell'armatura a punzonamento.

$$f_{ywd,ef} : \underline{336.00} \text{ MPa}$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0.25 \cdot d \leq f_{ywd}$$

f_{ywd} : Tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio.

$$f_{ywd} = 0.8 \cdot f_{yk}$$

$$f_{ywd} : \underline{360.00} \text{ MPa}$$

(UNI EN 1992-1-1:2005, 6.2.3(3))

$$f_{yk} : \underline{450.00} \text{ MPa}$$

u_1 : Perimetro critico di punzonamento (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.2).

$$u_1 : \underline{5343} \text{ mm}$$

Prodotto da una versione per uso interno di CYPE

3.- Zona esterna all'armatura a punzonamento (Situazioni persistenti)

In mancanza di un'armatura trasversale appositamente dimensionata, la resistenza al punzonamento deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo, intendendo la sollecitazione distribuita su di un perimetro efficace di piastra distante $2d$ dall'impronta caricata, con d altezza utile (media) della piastra stessa (NTC 14/01/2008, 4.1.2.1.3.4; UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.5).

Le azioni interne sollecitanti di calcolo più gravose si verificano per la combinazione di azioni 1.3-PP+1.3-G1+1.5-Q1.

Si deve soddisfare:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$0.15 \text{ MPa} \leq 0.45 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Dove:

V_{Ed} : Valore di calcolo della tensione tangenziale lungo la sezione critica considerata.

$$V_{Ed} : \underline{0.15} \text{ MPa}$$

$V_{Rd,c}$: Valore di calcolo della resistenza a punzonamento di una lastra priva di armatura a punzonamento lungo la sezione critica considerata.

$$V_{Rd,c} : \underline{0.45} \text{ MPa}$$

Il valore di calcolo della tensione tangenziale lungo la sezione critica considerata si ottiene mediante la seguente espressione (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.5):

$$v_{Ed} = \frac{|\beta \cdot V_{Ed}|}{u_{out,ef} \cdot d}$$

$$v_{Ed} : \underline{0.15} \text{ MPa}$$

Dove:

V_{Ed} : Valore di calcolo del taglio prodotto dalle azioni esterne.

$$V_{Ed} : \underline{344.00} \text{ kN}$$

β : Coefficiente che tiene in considerazione gli effetti dell'eccentricità del carico. (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.3).

$$\beta : \underline{1.03}$$

$$\beta = 1 + k_x \cdot \frac{|M_{Edx}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_{out,ef}}{W_{out,ef,x}} + k_y \cdot \frac{|M_{Edy}|}{|V_{Ed}|} \cdot \frac{u_{out,ef}}{W_{out,ef,y}}$$

k_x : Coefficiente che dipende dal rapporto tra le dimensioni c_y (dimensione nella direzione dell'asse y) e c_x (dimensione nella direzione dell'asse x) del pilastro (UNI EN 1992-1-1:2005, Tabella 6.1).

$$k_x : \underline{0.60}$$

k_y : Coefficiente che dipende dal rapporto tra le dimensioni c_x (dimensione nella direzione dell'asse x) e c_y (dimensione nella direzione dell'asse y) del pilastro (UNI EN 1992-1-1:2005, Tabella 6.1).

$$k_y : \underline{0.60}$$

M_{Edx} : Momento di calcolo attorno all'asse x rispetto al centro di gravità del perimetro critico $u_{out,ef}$.

$$M_{Edx} : \underline{-8.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{Edy} : Momento di calcolo attorno all'asse y rispetto al centro di gravità del perimetro critico $u_{out,ef}$.

$$M_{Edy} : \underline{-9.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{EdOx} : Momento di calcolo attorno all'asse x, rispetto al centro di gravità del pilastro.

$$M_{EdOx} : \underline{23.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{EdOy} : Momento di calcolo attorno all'asse y, rispetto al centro di gravità del pilastro.

$$M_{EdOy} : \underline{-23.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$u_{out,ef}$: Perimetro critico esterno all'armatura a punzonamento (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.5).

$$u_{out,ef} : \underline{6746} \text{ mm}$$

$$W_{out,ef,x} = \int_0^{u_{out,ef}} |e_y| \cdot dl$$

$$W_{out,ef,x} : \underline{61880.0} \text{ cm}^2$$

dl: Elemento differenziale di lunghezza del perimetro critico.

e_y : Distanza da dl fino all'asse attorno al quale agisce il momento M_{Edx} .

$$W_{out,ef,y} = \int_0^{u_{out,ef}} |e_x| \cdot dl$$

$$W_{out,ef,y} : \underline{65433.2} \text{ cm}^2$$

e_x : Distanza da dl fino all'asse attorno al quale agisce il momento M_{Edy} .

d: Altezza utile della lastra.

$$d : \underline{344} \text{ mm}$$

Il valore di calcolo della resistenza a punzonamento di una lastra priva di armatura a punzonamento lungo la sezione critica considerata si ottiene mediante la seguente espressione (UNI EN 1992-1-1:2005, 6.4.4):

$$v_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0.1 \cdot \sigma_{cp}$$

$$v_{Rd,c} : \underline{0.45} \text{ MPa}$$

con un valore minimo di:

$$v_{Rd,c,min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + 0.1 \cdot \sigma_{cp}$$

$$v_{Rd,c,min} : \underline{0.41} \text{ MPa}$$

Dove:

g_c : Coefficiente di minorazione della resistenza del calcestruzzo.

$$g_c : \underline{1.50}$$

k: Coefficiente che dipende dall'altezza utile 'd'.

$$k : \underline{1.76}$$

$$k = \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \leq 2$$

f_{ck} : Resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo.

$$f_{ck} : \underline{25.00} \text{ MPa}$$

r_l : Rapporto geometrico di armatura longitudinale principale di trazione.

$$r_l : \underline{0.0039}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0.02$$

Dove:

r_{lx} : Rapporto di armatura nella direzione X.

$$r_{lx} : \underline{0.0039}$$

r_{ly} : Rapporto di armatura nella direzione Y.

$$r_{ly} : \underline{0.0039}$$

σ_{cp} : Tensione assiale media nella superficie critica di verifica (compressione positiva), con un valore massimo di $\sigma_{cp,max}$.

$$\sigma_{cp} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp,max} = 0.20 \cdot f_{cd}$$

$$\sigma_{cp,max} : \underline{3.33} \text{ MPa}$$

f_{cd} : Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo.

$$f_{cd} : \underline{16.67} \text{ MPa}$$

4.- Armature per il taglio-punzonamento (UNI EN 1992-1-1:2005, 9.4.3(2))

Dove sono necessarie armature a taglio, l'area di un braccio di cucitura (o equivalente), $A_{sw,min}$, è data dall'espressione (9.11).

$$A_{sw,min} \cdot (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} \quad (9.11)$$

$$\rho_w = A_{sw,min} \cdot (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t)$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$$



Riferimento	A_{sw} (mm ²)	s_r (mm)	s_t (mm)	α (gradi)	ρ_w	$\rho_{w,min}$	$\rho_w \geq \rho_{w,min}$
es1	50	200	316	90.0	0.0012	0.0009	✓
es1	50	200	316	90.0	0.0012	0.0009	✓

dove:

A_{sw} : l'area di un braccio di cucitura (o equivalente).

α : è l'angolo compreso tra l'armatura a taglio e quella principale (per esempio, per cuciture verticali $\alpha = 90^\circ$ e $\sin \alpha = 1$).

s_r : è il passo delle cuciture per il taglio in direzione radiale.

s_t : è il passo delle cuciture per il taglio in direzione tangenziale.

f_{ck} : è in Megapascal

f_{ck} : 25.00 MPa

Prodotto da una versione per uso interno di CYPE

5.- Distanza libera tra due barre isolate consecutive

La distanza libera d_l , orizzontale e verticale, tra due barre non legate consecutive deve essere uguale o superiore a s_{min} (8.2(2), d_g):

$$d_l \geq s_{min}$$

192 mm \geq 20 mm ✓

Dove:

s_{min} : Valore massimo tra s_1 , s_2 , s_3 .

s_{min} : 20 mm

$$s_1 = \emptyset_{max}$$

s_1 : 8 mm

$$s_2 = 5 + d_g$$

s_2 : 17 mm

$$s_3 = 20\text{mm}$$

s_3 : 20 mm

Essendo:

UNI EN 1992-1-1:2005: Dimensione massima dell'aggregato.

UNI EN 1992-1-1:2005 : 12 mm

\emptyset_{max} : Diametro della barra più grossa dell'armatura trasversale.

\emptyset_{max} : 8 mm

	d_l (mm)	s_{min} (mm)	\emptyset_{max} (mm)	
es1	192	20	8	✓
es1	192	20	8	✓

6.- Distanza tra la faccia del pilastro e la prima barra di armatura aggiuntiva a punzonamento

La distanza tra la faccia del pilastro o area caricata e la prima barra di armatura aggiuntiva a punzonamento non può essere maggiore di s_{max} (UNI EN 1992-1-1:2005, 9.4.3):

$$d_l \leq s_{max}$$

100 mm \leq 172 mm ✓

Dove:

$$s_{\max} = 0.5 \cdot d$$

d: Altezza utile della lastra.

$$s_{\max} : \underline{172} \text{ mm}$$

$$d : \underline{344} \text{ mm}$$

7.- Distanza tra perimetri di barre di armatura aggiuntiva trasversale consecutivi

La distanza d_i tra perimetri di barre di armatura aggiuntiva trasversale consecutivi deve essere, al massimo, uguale a s_{\max} (UNI EN 1992-1-1:2005, 9.4.3):

$$d_i \leq s_{\max}$$

$$200 \text{ mm } \text{E} \text{ } 258 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Dove:

$$s_{\max} = 0.75 \cdot d$$

d: Altezza utile della lastra.

$$s_{\max} : \underline{258} \text{ mm}$$

$$d : \underline{344} \text{ mm}$$

8.- Distanza tra due barre di armatura aggiuntiva consecutive in verso perimetrale

La distanza d_i tra due barre di armatura aggiuntiva consecutive in senso perimetrale non può essere maggiore di s_{\max} (UNI EN 1992-1-1:2005, 9.4.3):

$$d_i \leq s_{\max}$$

$$316 \text{ mm } \text{E} \text{ } 516 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Dove:

$$s_{\max} = 1.5 \cdot d$$

d: Altezza utile della lastra.

$$s_{\max} : \underline{516} \text{ mm}$$

$$d : \underline{344} \text{ mm}$$