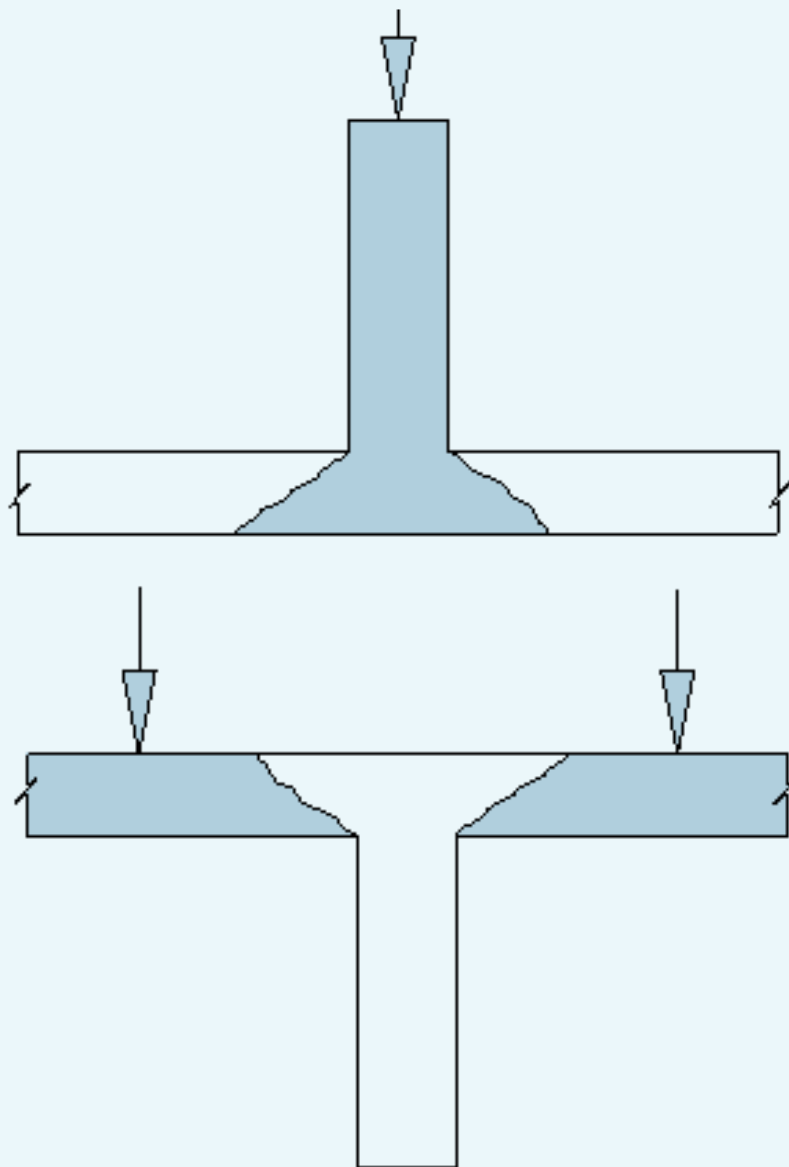


Focus

VERIFICA PUNZONAMENTO

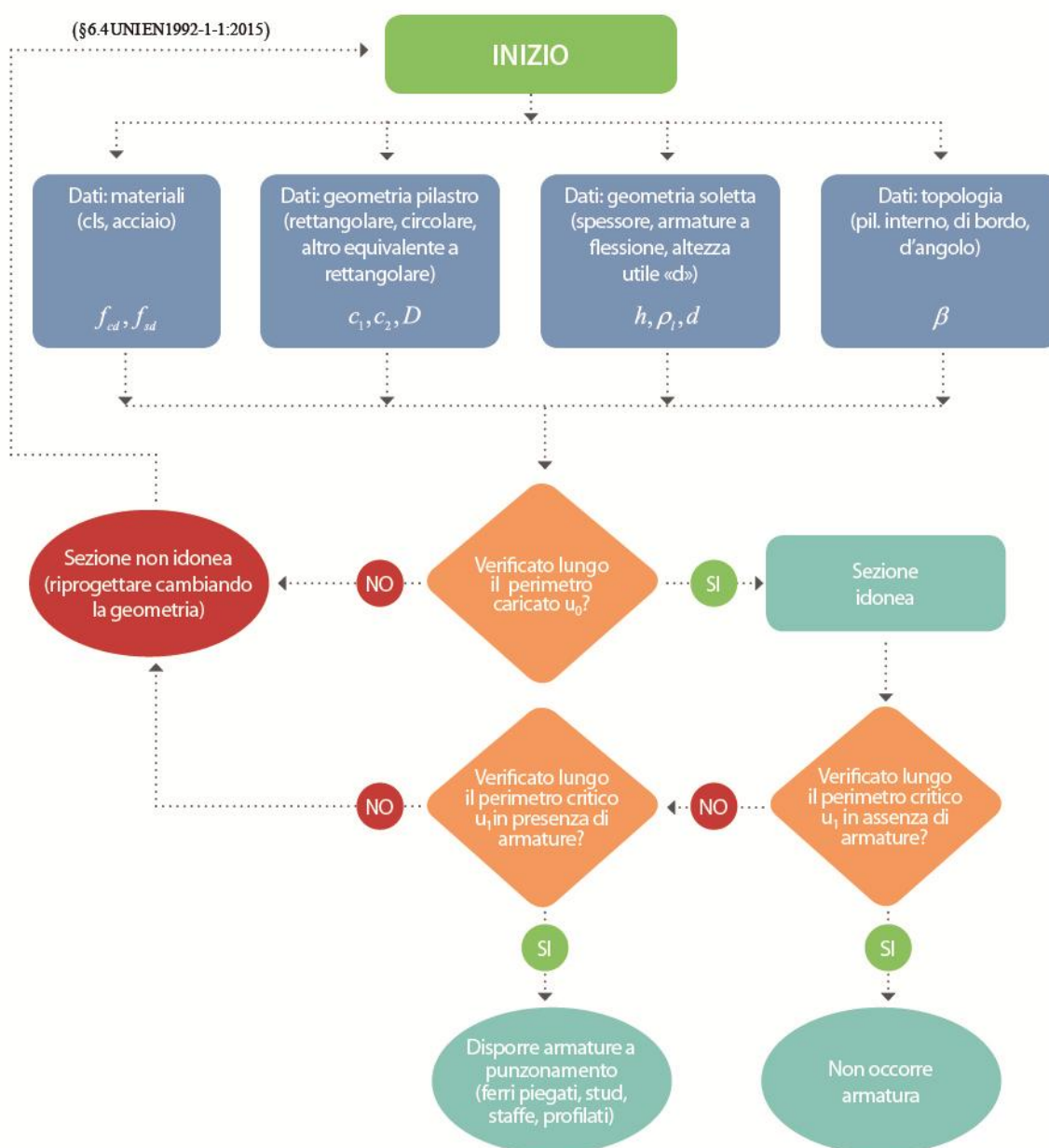


Verifica a Punzonamento

Verifica a punzonamento secondo le NTC 2018 e la Circolare 2019 e l'Eurocodice 2: come eseguire il progetto delle armature a punzonamento, approfondimenti teorici ed esempi pratici

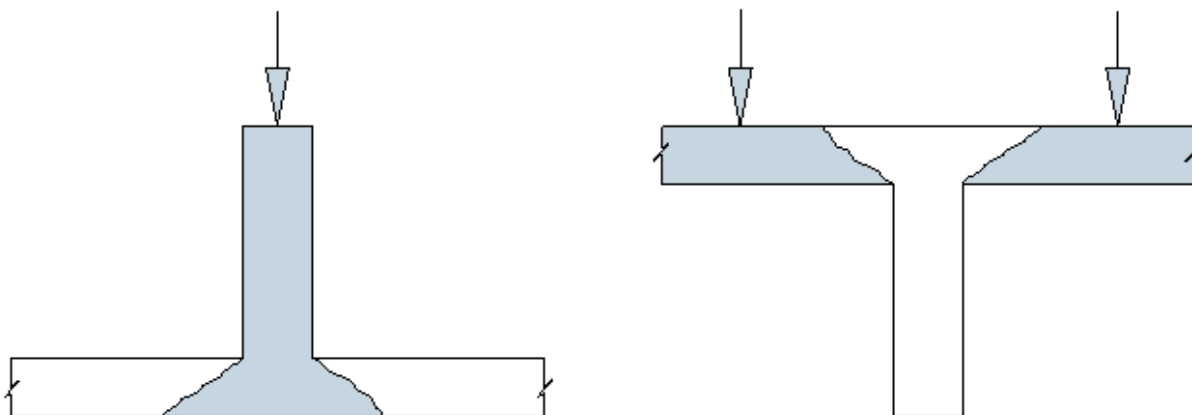
di Nicola Furcolo e Gerardo Carpentieri

Il dm 17/01/2018 (NTC 2018)[<http://biblus.acca.it/download/norme-tecniche-per-lecostruzioni-2018-ntc-2018-pdf/>] ha aggiornato la procedura per la verifica a punzonamento delle strutture in c.a. (cfr. § 4.1.2.3.5.4 NTC 2018), uniformandosi alla metodologia di calcolo prevista dall'Eurocodice 2 (UNI EN1992-1-1:2015) [<http://store.uni.com/catalogo/index.php/uni-en-1992-1-1-2015.html>] ai §§ 6.4 e 9.4.3. La verifica al punzonamento secondo le nuove regole può essere riassunta nel flow chart seguente.



La verifica al punzonamento si rende necessaria ogni qualvolta è presente un primo elemento (detto “punzonante”, tipicamente un pilastro), che sollecita un secondo elemento (detto “punzonato”, tipicamente una soletta o una platea). La sollecitazione di progetto da considerare per il punzonamento è generalmente

un'azione tagliante sulla soletta o sulla platea. Tale azione corrisponde, nel caso di pilastro in elevazione, all'aliquota di sforzo normale nel pilastro trasmessa dalla soletta al generico livello; mentre nel caso di pilastro su platea di fondazione l'azione punzonante corrisponde allo scarico del pilastro stesso sulla platea, ridotto con l'aliquota di contributo del terreno.



Meccanismo generale di punzonamento

Occorre notare che il problema del punzonamento si verifica quando, nel progetto in esame, non sono presenti elementi deputati a farsi carico del taglio proveniente dai carichi applicati alla soletta (ad es. travi emergenti per i solai in elevazione o graticci di travi per le platee). Alcuni esempi pratici nei quali è, quindi, necessario verificare il punzonamento sono:

- solai a soletta piena privi di travi;
- pilastri che scaricano su platee di fondazione o su plinti (con o senza pali);
- plinti su pali;
- solette che scaricano direttamente su pilastri.

La verifica a punzonamento consiste dei seguenti step:

- 1) **verifica dell'idoneità geometrica** degli elementi punzonabili (solette o platee): la verifica viene condotta rispetto al perimetro caricato in corrispondenza dell'elemento punzonante (generalmente un pilastro) e, se non è rispettata, occorre incrementare lo spessore della soletta o della platea o inserire un capitello;
- 2) **verifica lungo il perimetro critico**: viene condotta una prima verifica della resistenza del solo calcestruzzo e, solo se questa non è verificata, è obbligatorio inserire delle specifiche armature a punzonamento in presenza delle quali occorrerà eseguire una specifica verifica.

Le armature a punzonamento, ove necessarie, devono estendersi fino ad una certa distanza (dettagliata nel prosieguo) dal perimetro critico, e possono essere di due tipologie:

- 1) **ferri piegati**: tipicamente si tratta di armature disposte sul lato superiore e poi piegate di un angolo da 30 a 45 gradi, se l'elemento punzonante è un pilastro in elevazione; altrimenti sono disposte sul lato inferiore se l'elemento punzonante è un pilastro su una fondazione (tipicamente una platea o un plinto);
- 2) **cuciture verticali (perni o "stud" o pioli)**: sono, generalmente, armature verticali con una testa ringrossata e spesso collegati tra loro da un ferro radiale (tipicamente sono utilizzate per armare a punzonamento i solai a soletta piena).

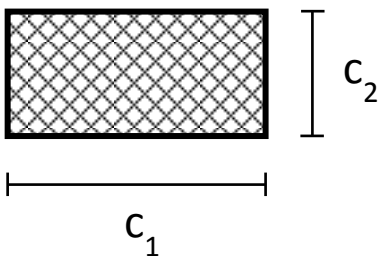
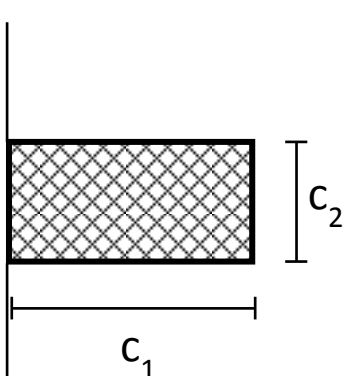
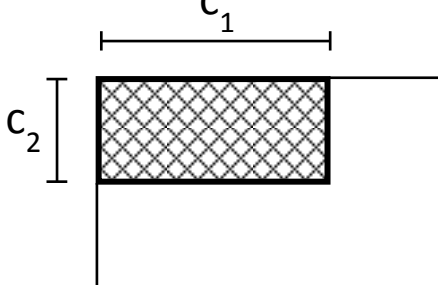
Un altro metodo per armare al punzonamento le solette o le platee è quello di predisporre, nello spessore della soletta, delle travi a croce ordite lungo gli assi principali del pilastro punzonante (cfr. norma americana § 8.7.6 ACI 318R-14)[<https://www.concrete.org/tools/318buildingcodeportal.aspx>]. In questo modo, quindi, le staffe delle travi a croce costituiscono l'armatura utile a resistere al punzonamento.

1) La verifica a punzonamento secondo l'Eurocodice 2 (EC2)

In questo paragrafo esponiamo la metodologia di calcolo della verifica a punzonamento secondo l'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1:2015).

STEP 1: Verifica dell'idoneità geometrica

In primo luogo occorre accertarsi che l'elemento punzonante e quello punzonato siano dimensionati correttamente. Per effettuare questo controllo viene individuato un perimetro di verifica (detto u_0) pari al perimetro utile dell'elemento punzonante (es. perimetro del pilastro) in funzione della posizione (interna, di bordo o d'angolo). Nella figura che segue vengono illustrati alcuni casi tipici. Nel caso di pilastri circolari, in mancanza di dati specifici, ci si potrà riferire a sezioni quadrate equivalenti (anche nello spirito delle normative americane ACI 318R-14, v. Fig. R8.10.1.3).

interno	di bordo	d'angolo
$u_0 = 2 (c_1 + c_2)$	$u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2 c_1$	$u_0 = 3d \leq c_1 + c_2$
		

Si noti che, nella tabella precedente, d rappresenta l'altezza utile dell'elemento punzonato, pari alla media delle altezze utili nelle due direzioni armate (d_y e d_z):

$$d = \frac{d_y + d_z}{2}$$

Essendo:

$$- d_y = h - c - \frac{\Phi_y}{2};$$

$$- d_z = h - c - \Phi_y - \frac{\Phi_z}{2}$$

- c è il copriferro, ovvero il ricoprimento delle armature;

- Φ_y e Φ_z sono i diametri delle barre delle armature principali e secondarie.

La verifica consiste nel controllare che (eq. (6.53) UNI EN 1992-1-1:2015):

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max} = 0,5 v f_{cd}$$

dove:

- β è un coefficiente che dipende dall'eccentricità (rapporto tra momento flettente e sforzo normale) del carico applicato all'elemento punzonante. In via semplificata, questo fattore può essere stimato in relazione alla posizione in pianta del pilastro (si veda la Fig. 6.21N della UNI EN 1992-1-1:2015 e la relativa tabella);

- V_{Ed} è lo sforzo di punzonamento di progetto;

- $v = 0,6 (1 - f_{ck}/250)$.

posizione elemento punzonante	β
interna	1,15
di bordo	1,4
d'angolo	1,5

STEP 2: Verifica lungo il perimetro critico in assenza di armature

La verifica di punzonamento si esegue normalmente in corrispondenza del perimetro critico (indicato con u_1) lungo il quale si assume che possa verificarsi, allo stato limite ultimo, la rottura a punzonamento. Il perimetro critico, ai sensi della UNI EN 1992-1-1:2015, è ad una distanza $2d$ dal convexhull (inviluppo convesso) del perimetro dell'elemento punzonante, eventualmente escludendo i limiti della soletta (per pilastri di bordo e d'angolo, cfr. Figg. 6.13 e 6.15 UNI EN 1992-1-1:2015).

Tale perimetro, per pilastri in elevazione, è ricavabile dalle seguenti formule in funzione della posizione:

$$u_1 = 2(c_1 + c_2) + 4\pi d \quad \text{"Pilastro interno"}$$

$$u_1 = c_2 + 2c_1 + 2\pi d \quad \text{"Pilastro di bordo"}$$

$$u_1 = c_1 + c_2 + \pi d \quad \text{"Pilastro d'angolo"}$$

Nel caso di elementi di fondazione, invece, il perimetro critico è da individuarsi in modo iterativo tra tutti quelli con il minore coefficiente di sicurezza, fino ad una distanza di $2d$ dal pilastro.

Similmente a quanto avviene per gli elementi non armati a taglio con una specifica armatura trasversale (si pensi ai solai), è possibile assumere una resistenza intrinseca dell'elemento punzonato anche in assenza di armature (trattandosi di un meccanismo a taglio). Pertanto la verifica si pone nella forma:

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_1 d} \leq v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp})$$

dove:

$$- C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c};$$

$$- k = \min \left[1 + \sqrt{\frac{200}{d[\text{mm}]}}; 2 \right];$$

$$- \rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,02;$$

- $\rho_{ly} = \frac{A_{sly}}{(c_1 + 6d)d}$ $\rho_{lz} = \frac{A_{slz}}{(c_2 + 6d)d}$ sono le armature longitudinali nelle due direzioni che attraversano la dimensione colonna (c_1 o c_2) maggiorata di $3d$ su ciascun lato;

$$- k_1 = 0,1$$

- $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2}$ è la tensione normale media nelle direzioni y e z del piano della soletta (per esempio dovute alla precompressione);

$$- \sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}} \quad \sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}};$$

$$- v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} [\text{MPa}].$$

STEP 3: Progetto delle armature a punzonamento

Qualora non sia possibile, con il solo contributo del calcestruzzo, assorbire la totalità dello sforzo punzonante, sarà necessario disporre delle armature a punzonamento di area totale A_{sw} . Si noti che A_{sw} è l'area totale delle armature a punzonamento disposte lungo il perimetro critico (ovvero lungo il perimetro concentrico esterno al pilastro). Siccome non è nota a priori la reale posizione della superficie critica di rottura a punzonamento, la norma prevede di "replicare" queste armature in modo concentrico rispettando i limiti dimensionali indicati nel prosieguo. Verranno, quindi, disposte un certo numero di "file" tutte di area totale A_{sw} e concentriche al pilastro e via via più distanti da questo.

L'armatura totale a punzonamento di una fila (A_{sw}) deve essere scelta in modo tale che sia soddisfatta la seguente verifica:

$$v_{Ed,1} \leq v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \left(\frac{d}{s_r} \right) A_{sw} f_{ywd,ef} \frac{\sin \alpha}{u_1 d}$$

dove:

- s_r è l'interasse radiale dell'armatura a punzonamento (ovvero la distanza tra due file di armature concentriche):

- $f_{ywd,ef}$ è la tensione di snervamento di progetto efficace delle armature a punzonamento:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d \leq f_{ywd}$$

- α è l'angolo di inclinazione dell'armatura a punzonamento con l'orizzontale.

È doverosa una osservazione. A differenza di quanto avveniva in passato con il D.M. 2008, il quale affidava l'intero sforzo di punzonamento alle armature (ponendo, quindi, $v_{Rd,c} = 0$); oggi il calcolo delle armature a punzonamento, ai sensi del D.M. 2018 e dell'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1:2018), avviene considerando anche il contributo del calcestruzzo nella misura del 75% (termine $0,75v_{Rd,c}$). A parità di sforzo sollecitante di progetto a punzonamento, quindi, il calcolo eseguito con il D.M. 2018 (ovvero l'Eurocodice 2) conduce ad una quantità di armatura generalmente inferiore rispetto al calcolo eseguito ai sensi del precedente D.M. 2008.

A questo punto, sarà necessario scegliere tra due possibili tipologie di armature a punzonamento:

1) *cuciture verticali* (pioli o perni tipo "stud"): in questo caso, trattandosi di armature verticali, sarà possibile assumere $\alpha = 90^\circ$;

2) *ferrì piegati*: in questo caso, la piegatura potrà avvenire con un angolo α compreso tra 30° e 90° e si potrà assumere, nel caso di singola fila di armature:

$$\left(\frac{d}{s_r} \right) = 0,67$$

STEP 4: Dettagli esecutivi

La disposizione delle armature a punzonamento deve essere fatta seguendo i dettagli esecutivi indicati nel § 9.4.3 della UNI EN 1992-1-1:2015. In primo luogo occorrerà calcolare il perimetro u_{out} oltre il quale non sono più richieste armature. Quest'ultimo è pari a:

$$u_{out,ef} = \frac{\beta V_{Ed}}{v_{Rd,c} d}$$

I dettagli esecutivi possono essere così riassunti (cfr. Fig. 9.10 UNI EN 1992-1-1:2015):

1) *per cuciture verticali*: la prima fila deve partire ad una distanza compresa tra $0,3d$ e $0,5d$ dalla faccia del pilastro; le file devono essere distanziate tra loro di una quantità non maggiore di $0,75d$; l'ultima fila deve essere disposta ad una distanza non maggiore di $1,5d$ dal perimetro u_{out} ;

2) *per ferrì piegati*: la prima fila deve partire ad una distanza compresa minore di $0,5d$ dalla faccia del pilastro; le barre possono essere disposte in pianta ad una distanza dalle facce del pilastro non maggiore di $0,25d$; le file devono essere distanziate tra loro di una quantità non maggiore di $0,75d$; l'ultima fila deve essere disposta ad una distanza non maggiore di $1,5d$ dal perimetro u_{out} .

Infine, l'area minima della singola armatura a punzonamento deve risultare:

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

dove s_t è la distanza tangenziale massima tra le armature lungo una stessa fila, pari ad almeno $1,5d$ per file interne al perimetro u_1 e $2d$ per file esterne al perimetro u_1 .

2) Esempio di calcolo

Nell'esempio che segue viene considerato un pilastro "d'angolo" ($\beta = 1,5$) di dimensioni:

$$c_1 = 300 \quad \text{mm} \quad (\text{v. Fig. 6.20a UNI EN 1992-1-1:2015})$$

$$c_2 = 500 \quad \text{mm}$$

costituito di calcestruzzo di classe C25/30 e barre di armature di tipo B450C (si veda la seguente tabella per le principali caratteristiche meccaniche).

Acciaio B450C					Calcestruzzo C25/30				
f_{yk}	E_s	γ_s	f_{yd}	$\epsilon_{sy,d}$	R_{ck}	f_{ck}	γ_c	α_{cc}	f_{cd}
[MPa]	[GPa]		[MPa]		[MPa]	[MPa]			[MPa]
450,00	210	1,15	391,30	0,00186	30,00	25,00	1,5	0,85	14,11
LEGENDA									
f_{yk}	tensione di snervamento delle armature								
E_s	modulo elastico delle armature								
γ_s	coefficiente parziale delle armature								
f_{yd}	tensione di progetto delle armature								
$\epsilon_{sy,d}$	deformazione di progetto di snervamento delle armature								
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls								
f_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cilindrica del cls								
γ_c	coefficiente parziale del cls								
α_{cc}	coefficiente di riduzione								
f_{cd}	resistenza di progetto a compressione del cls								

L'elemento punzonato sia costituito da una soletta di spessore totale $h = 200$ mm ed altezza utile, al netto del copriferro ($c = 20$ mm) e delle armature ($\Phi_y = \Phi_z = 10$ mm) pari a $d = 170$ mm.

La verifica del corretto dimensionamento si esegue, per pilastro d'angolo, controllando che:

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} = 3,03 \text{ MPa} \leq v_{Rd,max} = 0,5 v f_{cd} = 3,06 \text{ MPa}$$

dove:

- $V_{Ed} = 175$ kN;
- $u_0 = 510$ mm;
- $v = 0,6 (1 - f_{ck} / 250) = 0,54$.

La sezione risulta, quindi, idonea. Si procede allora alla verifica, dapprima in assenza di armature, della sezione al punzonamento lungo il perimetro critico $u_1 = c_1 + c_2 + \pi d = 1334,07$ mm :

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_1 d} = 1,16 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) = 1,24 \text{ MPa}$$

dove:

- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12$
- $k = \min \left[1 + \sqrt{\frac{200}{d}}; 2 \right] = 2$
- $\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} = 0 \leq 0,02$
- $k_1 = 0,1$
- $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2} = 0$
- $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,495$

Si noti che, a vantaggio di sicurezza, si è proceduto a trascurare la presenza di eventuali armature a flessione nella soletta (ρ_l) e l'effetto della precompressione (σ_{cp}). Siccome $v_{Ed,1} = 1,16 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,49 \text{ MPa}$ occorre disporre un'opportuna armatura a punzonamento.

Si dispongono, quindi, dei ferri piegati con area totale di $A_{sw} = 8 \Phi 12 = 904,78$ mm² e con angolo di piegatura 45 gradi. In questo caso la verifica risulta ancora soddisfatta essendo:

$$v_{Ed,1} = 1,16MPa \leq v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + 1,5 \left(\frac{d}{s_r} \right) A_{sw} f_{ywd,ef} \frac{\sin \alpha}{u_1 d} = 1,20MPa$$

dove $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d = 292,5MPa \leq f_{ywd} = 391,3MPa$.

Il perimetro oltre il quale non è più richiesta armatura risulta:

$$u_{out,ef} = \frac{\beta V_{Ed}}{v_{Rd,c} d} = 3119,59mm$$

In seconda ipotesi, si dispongono delle cuciture verticali tipo “stud” con area totale della singola fila di $A_{sw} = 8 \Phi 10 = 628,32 \text{ mm}^2$. In questo caso risulta $\alpha = 90^\circ$ e si può assumere $s_r = 0,75 d = 127,5 \text{ mm}$, per cui:

$$v_{Ed,1} = 1,16MPa \leq v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + 1,5 \left(\frac{d}{s_r} \right) A_{sw} f_{ywd,ef} \frac{\sin \alpha}{u_1 d} = 1,99MPa$$

La verifica risulta, quindi, soddisfatta e si dispongono almeno due file a distanza non superiore a $0,75 d$.

3) Verifica a punzonamento con EdiLus, il software per il calcolo strutturale

A titolo di esempio vengono condotte le verifiche precedentemente illustrate modellando la struttura con il programma di calcolo strutturale “EdiLus”. È stato calcolato un edificio in c.a. con struttura a telaio, con pilastri $40 \times 40 \text{ cm}$ ed è stato valutato il loro effetto di punzonamento sia sugli impalcati, costituiti da solette di spessore 20 cm , che sulla fondazione, costituita da una platea spessa 50 cm .

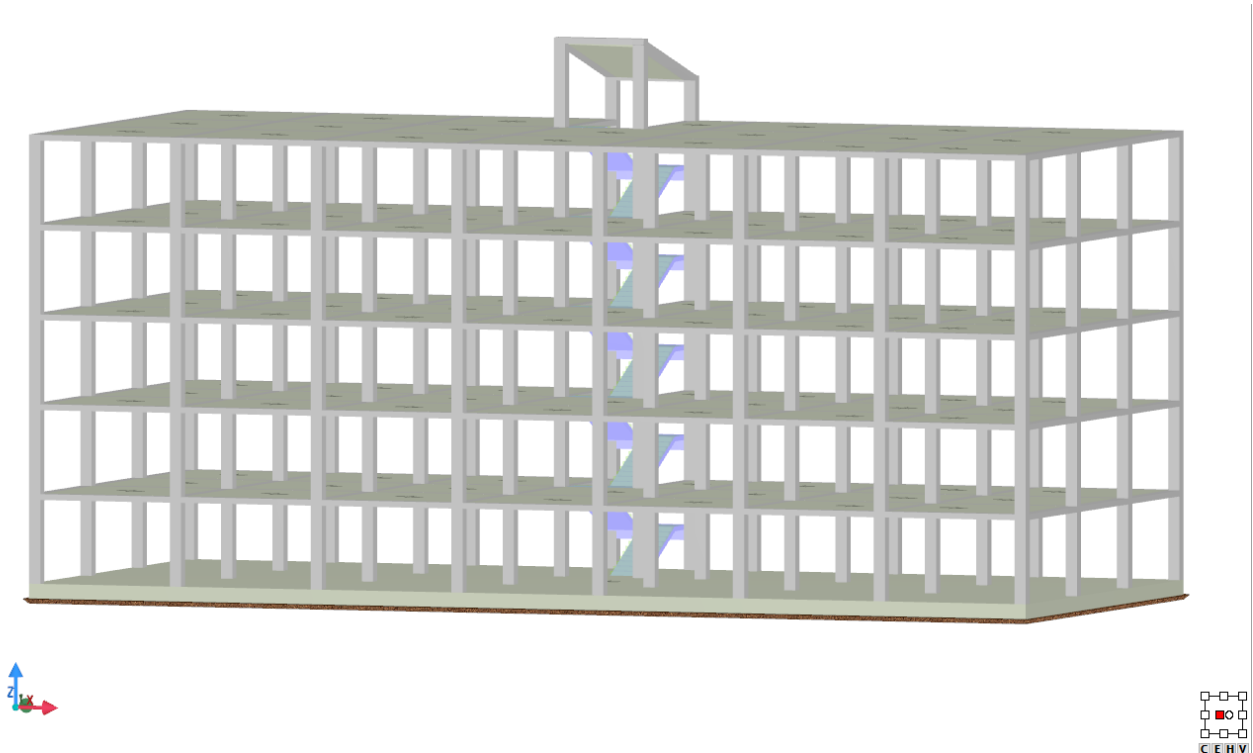


Fig. 1 Vista 3D dell'edificio calcolato.

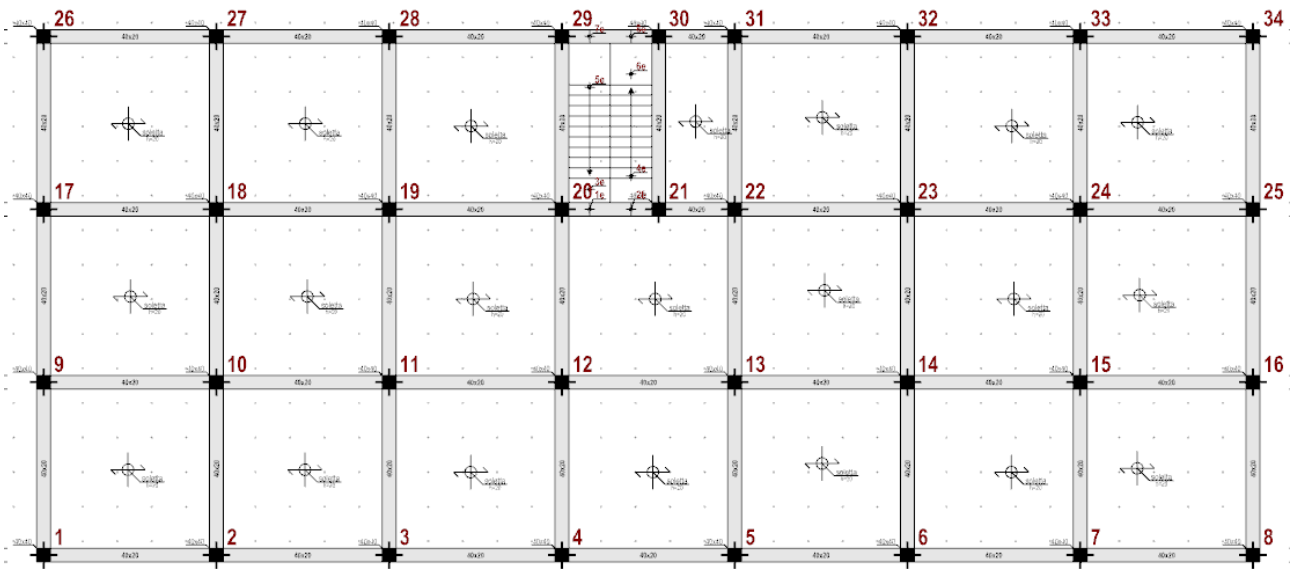


Fig. 2 Carpenteria del piano tipo.

I risultati del calcolo automatico sono illustrati nel seguente tabulato. In particolare, EdiLus ha provveduto a:

- calcolare le armature a punzonamento da disporre in forma di ferri piegati;
- produrre gli esecutivi con l'indicazione delle armature aggiuntive a punzonamento da disporre nelle solette e nella platea.

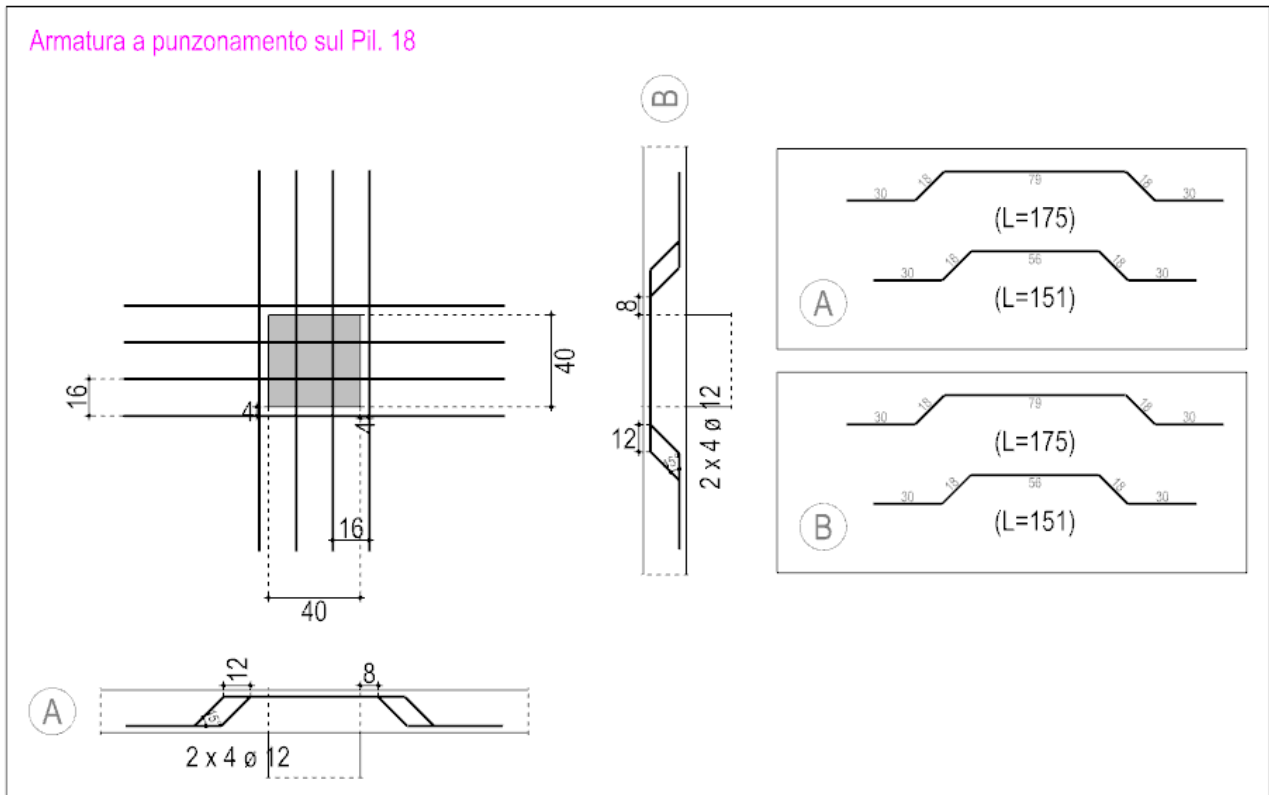


Fig. 3 Dettaglio dell'armatura a punzonamento "tipica" per pilastri interni.

Nodi (CA) - Verifica a punzonamento																					
Id_nod	SPp	Dir_pz	V _{Ed,pz}	β	u ₀	V _{Rd,0,max}	D _{st}	θ	u ₁	R _{c,terr}	V _{Ed,red}	V _{Rd,1,c}	A _{s,pzA/B}	V _{Rd,1,cs,c}	V _{Rd,1,cs,c}	α	D _{st,out}	u _{out}	CS _{0,max}	CS _{1,c}	CS _{1,cs}
[m]			[N]		[m]	[N]	[m]	[°]	[m]	[N]	[N]	[N]	[cm ²]	[N]	[N]	[°]	[m]	[m]			
00193	0,20	1	175.410	1,352	0,87	591.008	0,31	26,6	2,18	-	232.568	209.231	10,18	209.046	365.970	45,0	0,40	2,46	2,49	NS	1,57
00194	0,20	1	174.689	1,355	0,87	591.008	0,31	26,6	2,18	-	232.088	209.229	6,79	139.364	296.286	45,0	0,40	2,46	2,50	NS	1,28
00195	0,20	1	174.805	1,359	0,87	591.008	0,31	26,6	2,18	-	232.964	209.229	6,79	139.364	296.286	45,0	0,40	2,46	2,49	NS	1,27
00196	0,20	1	79.637	1,926	0,47	318.654	0,31	26,6	1,29	-	148.729	123.812	4,52	92.909	185.768	45,0	0,43	1,47	2,08	NS	1,25
00197	0,20	1	79.553	1,922	0,47	318.654	0,31	26,6	1,29	-	148.579	123.810	4,52	92.909	185.767	45,0	0,43	1,47	2,08	NS	1,25
00198	0,20	1	80.058	1,935	0,47	318.654	0,31	26,6	1,29	-	150.190	123.810	4,52	92.909	185.767	45,0	0,43	1,47	2,06	NS	1,24
00199	0,20	1	270.976	1,133	0,87	591.008	0,31	26,6	3,07	-	301.920	294.645	9,05	185.819	406.803	45,0	0,35	3,25	1,93	NS	1,35
00200	0,20	1	145.215	1,152	0,87	591.015	0,31	26,6	3,07	-	162.135	255.537	-	-	-	-	-	-	3,53	1,58	NS
00203	0,20	1	84.362	1,585	0,47	318.654	0,31	26,6	1,44	-	129.848	137.999	4,52	92.909	196.409	45,0	0,33	1,46	2,38	NS	1,51
00204	0,20	1	36.013	2,267	0,47	318.654	0,31	26,6	1,29	-	76.582	107.368	-	-	-	-	-	-	3,90	1,40	NS
00207	0,50	0	565.705	1,086	1,20	2.388.334	0,40	49,0	2,44	143.471	458.648	1.035.33	-	-	-	-	-	-	4,16	2,26	NS
00211	0,50	0	810.445	1,063	1,20	2.388.295	0,53	40,9	2,85	184.119	665.901	908.447	-	-	-	-	-	-	2,91	1,36	NS

LEGENDA:

Id_{nod}	Identificativo del nodo.
SPp	Spessore della piastra.
Dir_{pz}	Direzione di punzonamento (0 = verso il basso; 1 = verso l'alto).
V_{Ed,pz}	Forza di punzonamento di progetto.
β	Coefficiente amplifcativo per l'eccentricità
u₀	Perimetro di verifica in adiacenza del pilastro
V_{Rd,0,max}	Forza resistente in adiacenza del pilastro
D_{st}	Distanza dal pilastro del perimetro critico u ₁
θ	Angolo di diffusione.
u₁	Perimetro di verifica di base
R_{c,terr}	Reazione del terreno all'interno del perimetro u ₁
V_{Ed,red}	Forza netta di punzonamento
V_{Rd,1,c}	Forza resistente in assenza di armature lungo u ₁
A_{s,pzA/B}	Armatura a punzonamento esecutiva in direzione A/B.
V_{Rd,1,cs,c}	Forza resistente dovuta alle armature lungo u ₁
V_{Rd,1,cs,c}	Forza resistente dovuta al calcestruzzo, in presenza di armature, lungo u ₁
α	Angolo compreso fra l'armatura a punzonamento ed il piano della piastra
D_{st,out}	Distanza dal pilastro oltre la quale non è richiesta armatura
u_{out}	Perimetro critico oltre il quale non è richiesta armatura
CS_{0,max}	Coefficiente di sicurezza per la verifica in adiacenza del pilastro, lungo il perimetro u ₀
CS_{1,c}	Coefficiente di sicurezza in assenza di armature lungo il perimetro u ₁
CS_{1,cs}	Coefficiente di sicurezza in presenza di armature lungo il perimetro u ₁

Fig. 4 Estratto dai tabulati di calcolo delle verifiche a punzonamento.

Si noti che, le armature a punzonamento nella forma di "ferri piegati" calcolate precedentemente sono sostituibili, con le dovute accortezze, dalle armature in forma di "cuciture" (stud). In particolare, utilizzando la (6.52) della UNI EN 1992-1-1:2015, l'area delle armature di tipo "stud" ($A_{sw}^{(f.p.)}$):

$$A_{sw}^{(st)} = \frac{2}{3} \left(\frac{d}{s_r^{(st)}} \right)^{-1} \sin \alpha^{(fp)} A_{sw}^{(fp)}$$

dove:

- d è l'altezza utile della soletta;
- $s_r^{(st)}$ è la distanza tra le file di stud;
- $\alpha^{(fp)}$ è l'angolo di inclinazione dei ferri piegati.

Si noti che, nel caso i ferri siano piegati a 45 gradi e nel caso la distanza tra le file di stud sia pari alla massima consentita 0,75 d, la formula precedente si riduce a:

$$A_{sw}^{(st)} = \frac{1}{2} \sin \alpha^{(fp)} A_{sw}^{(fp)}$$