

Corso di laurea in Ingegneria civile strutturale e geotecnica

Tecnica delle costruzioni

modulo A

24a – Unioni bullonate

Aurelio Gherzi

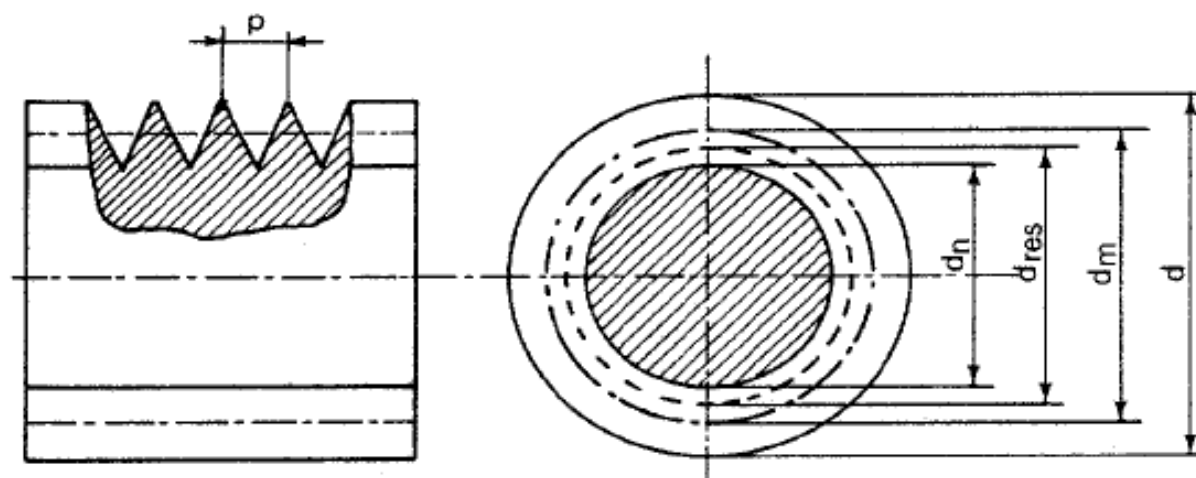
24 e 25/11/2020

Diametro dei bulloni

area nominale e area resistente

NTC 2018

CNR 10011-86	12	14	16	18	20	22	24	27	30
Eurocodice 3	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30



Filettatura, diametro nominale e resistente del bullone¹

Passo della filettatura p (mm) e area nominale A e resistente A_{res} (mm²)

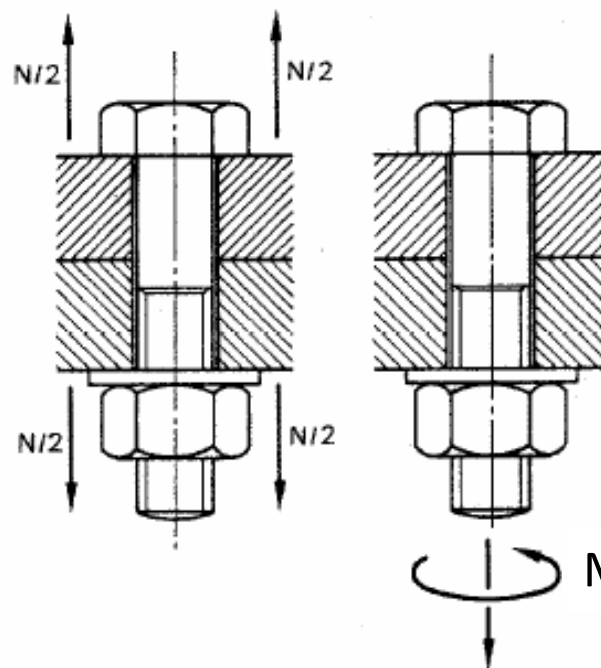
diametro d	12	14	16	18	20	22	24	27	30
passo p	1.75	2.00	2.00	2.50	2.50	2.50	3.00	3.00	3.50
A	113	154	201	254	314	380	452	573	707
A_{res}	84.3	115	157	192	245	303	353	459	581
A_{res} / A	0.75	0.75	0.78	0.75	0.78	0.80	0.78	0.80	0.82

Classi di bulloni e caratteristiche meccaniche

					Ora anche NTC 2018	
classe del bullone	f_{ub} (N mm ⁻²)	f_{yb} (N mm ⁻²)	D.M. 9/1/96	CNR 10011-86	Eurocodice 3	NTC08
4.6	400	240	si	si	si	si
4.8	400	320	—	—	si	—
5.6	500	300	si	si	si	si
5.8	500	400	—	—	si	—
6.6	600	360	—	si	—	—
6.8	600	480	si ⁽¹⁾	—	si	si
8.8	800	640	si	si	si	si
10.9	1000	900	si	si	si	si
⁽¹⁾ ma con resistenza di calcolo uguale alla classe 6.6						

Nelle verifiche di resistenza SLU si usa f_{ub} con $\gamma_{M2} = 1.25$

Serraggio



$$M = k d F_{p.C}$$

$$F_{p.Cd} = A_{res} \frac{0.7 f_{ub}}{\gamma_{M7}}$$

$$F_{p.C} = 0.7 f_{ub} A_{res}$$

$\gamma_{M7} = 1.0$ serraggio controllato

$\gamma_{M7} = 1.1$ serraggio non controllato

Serraggio

NTC 2018

Viti 8.8 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	k=0.10	k=0.12	k=0.14	k=0.16	$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
M12	56.6	68.0	79.3	90.6	47.2	84.3
M14	90.2	108	126	144	64.4	115
M16	141	169	197	225	87.9	157
M18	194	232	271	310	108	192
M20	274	329	384	439	137	245
M22	373	448	523	597	170	303
M24	474	569	664	759	198	353
M27	694	833	972	1110	257	459
M30	942	1131	1319	1508	314	561
M36	1647	1976	2306	2635	457	817

Viti 10.9 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	k=0.10	k=0.12	k=0.14	k=0.16	$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
M12	70.8	85.0	99.1	113	59.0	84.3
M14	113	135	158	180	80.5	115
M16	176	211	246	281	110	157
M18	242	290	339	387	134	192
M20	343	412	480	549	172	245
M22	467	560	653	747	212	303
M24	593	712	830	949	247	353
M27	868	1041	1215	1388	321	459
M30	1178	1414	1649	1885	393	561
M36	2059	2471	2882	3294	572	817

I bulloni di classe 8.8 e 10.9 (detti bulloni ad alta resistenza) sono usati per unioni ad attrito, con forza di precarico $F_{p,C}$

$$\begin{aligned}
 F_{p,C} &= 0.7 f_{ub} A_{res} = \\
 &= 0.7 \times 800 \times 245 \times 10^{-3} = \\
 &= 137.2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Il momento di serraggio è funzione del fattore k indicato nella targhetta delle confezioni di bulloni

$$M = k d F_{p,C}$$

Diametro fori

diametro bullone	12	14	16	18	20	22	24	27	30
NTC 2018	1	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5
Eurocodice 3	1	1	2	2	2	2	2	3	3

Fori calibrati

0.3

0.5

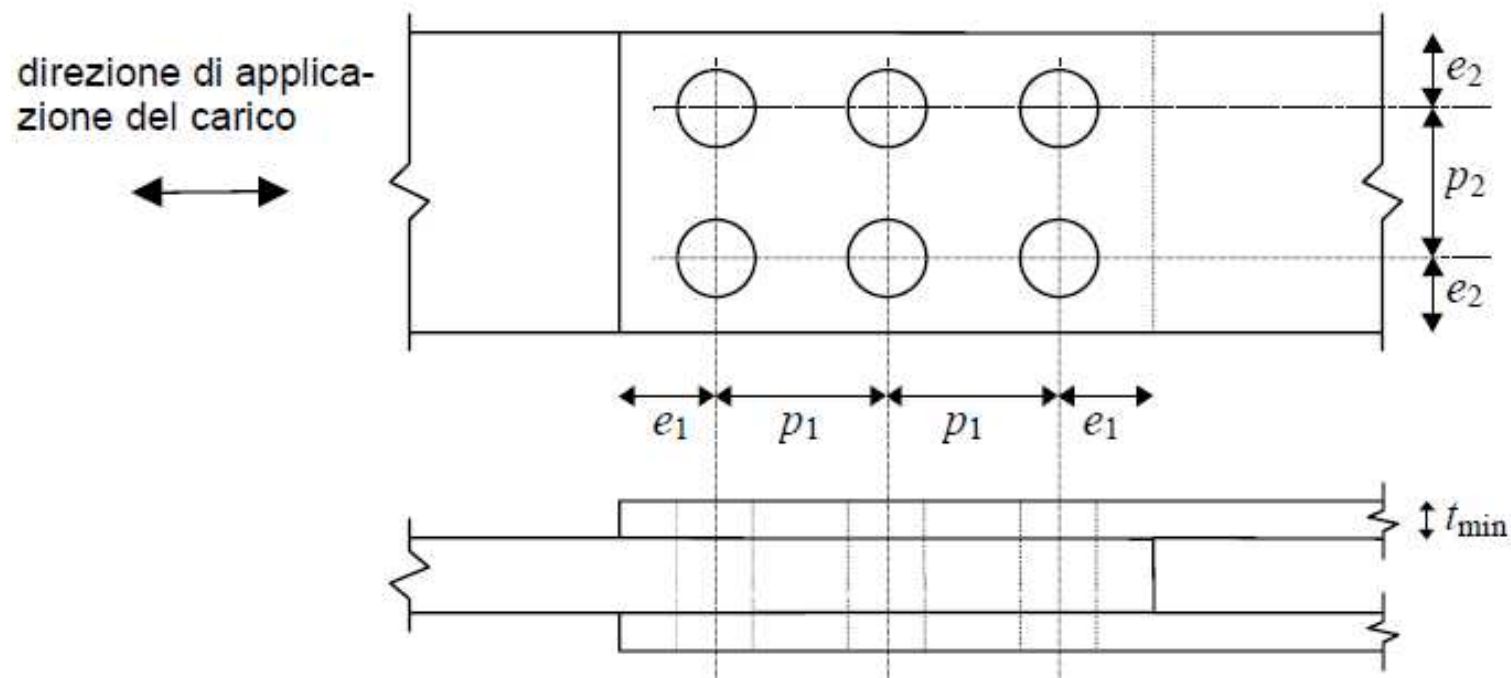
Simboli:

d diametro del bullone

d_0 diametro del foro

Distanze minime

tra i fori e tra foro e bordo



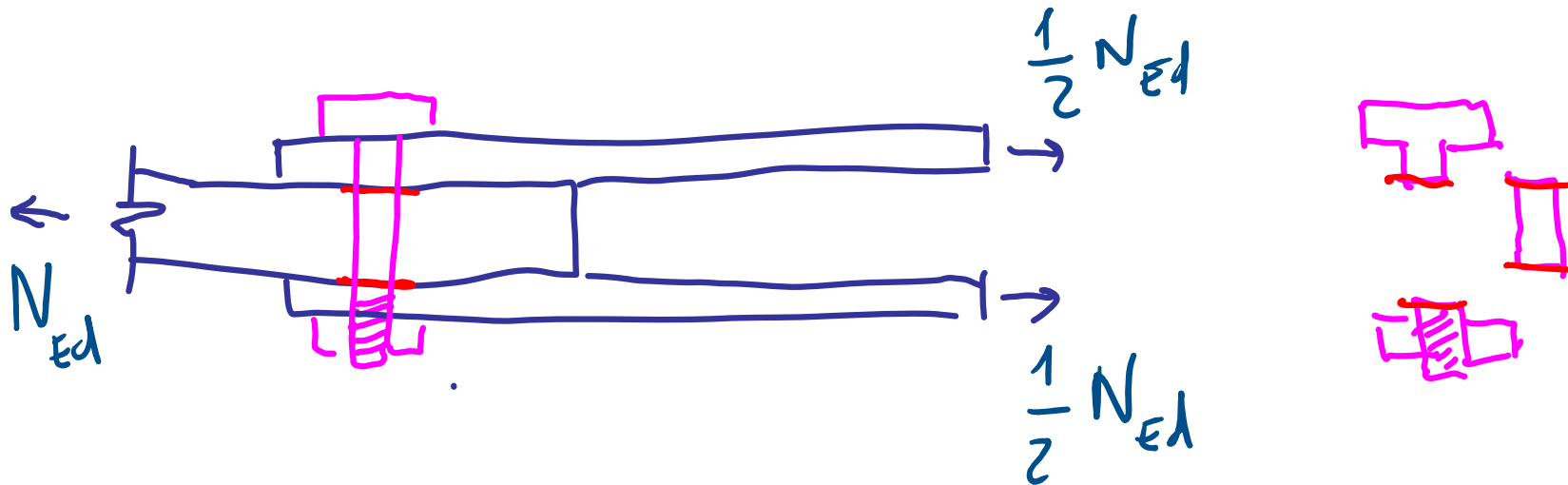
	p_1	p_2	e_1	e_2
Precedente norma italiana	$3 d$	$3 d$	$1.5 d$	$1.5 d$
NTC e Eurocodice 3	$2.2 d_0$	$2.4 d_0^{(1)}$	$1.2 d_0$	$1.2 d_0^{(1)}$
⁽¹⁾ adottando il valore minimo $2.4 d_0$ e $1.2 d_0$ si riduce la resistenza a rifollamento				

Distanze massime

tra i fori e tra foro e bordo

		Norma italiana	Eurocodice-3
p_1	per elementi tesi	$25 t_{\min}$	⁽¹⁾ ⁽²⁾ il minore tra $28 t_{\min}$ e 400 mm
	per elementi compressi	$15 t_{\min}$	⁽²⁾ il minore tra $14 t_{\min}$ e 200 mm
p_2	per elementi tesi	$25 t_{\min}$	⁽²⁾ il minore tra $14 t_{\min}$ e 200 mm
	per elementi compressi	$15 t_{\min}$	⁽²⁾ il minore tra $14 t_{\min}$ e 200 mm
$e_1 \quad e_2$	normalmente	$6 t_{\min}$	$4 t_{\min} + 40 \text{ mm}$
	se il bordo è irrigidito	$9 t_{\min}$	
	se l'elemento non è esposto alle intemperie	$12 t_{\min}$	il maggiore tra $12 t_{\min}$ e 150 mm
⁽¹⁾ solo se disposti in una fila interna (altrimenti vale lo stesso limite che per elementi compressi) ⁽²⁾ se l'elemento non è esposto alle intemperie il limite è incrementato per 1.5			

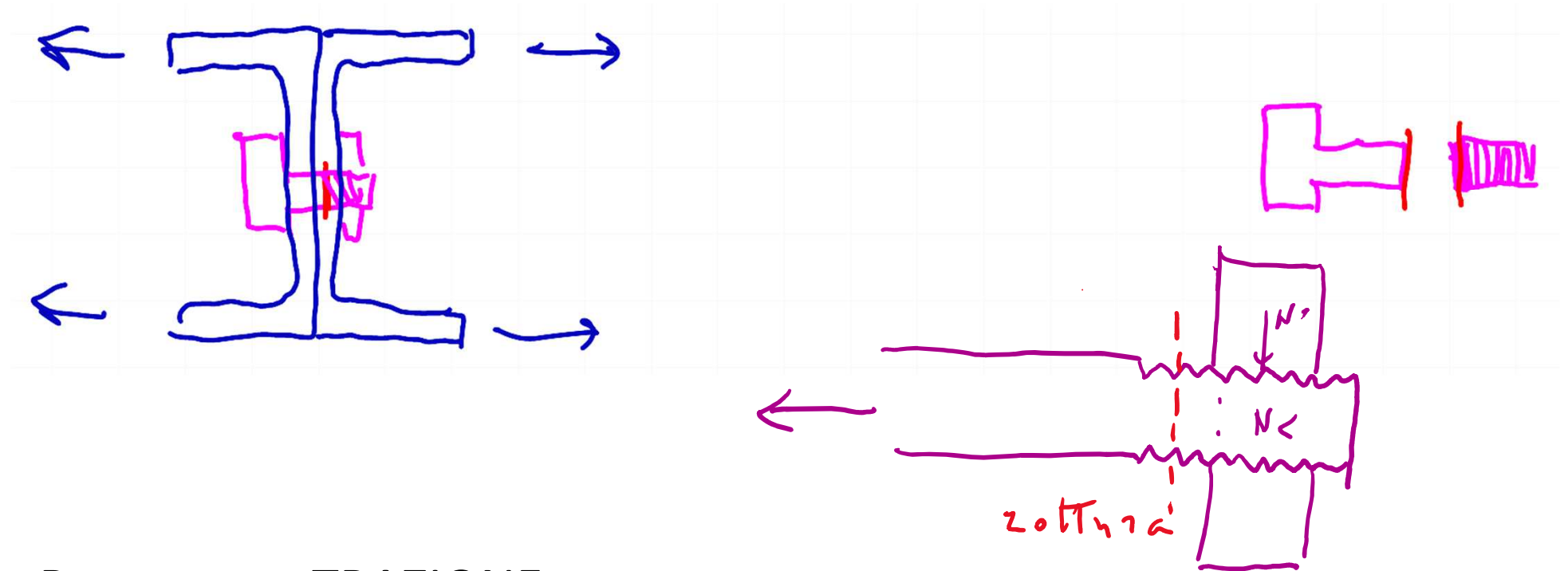
Come si trasmette l'azione?



Rottura per TAGLIO

- La rottura avviene nella sezione corrispondente al passaggio da un piatto all'altro
- Nella verifica si deve considerare l'area della sezione in cui avviene la rottura (A_{res} o A_{nom} , a seconda che la sezione sia attraversata dalla filettatura oppure no)

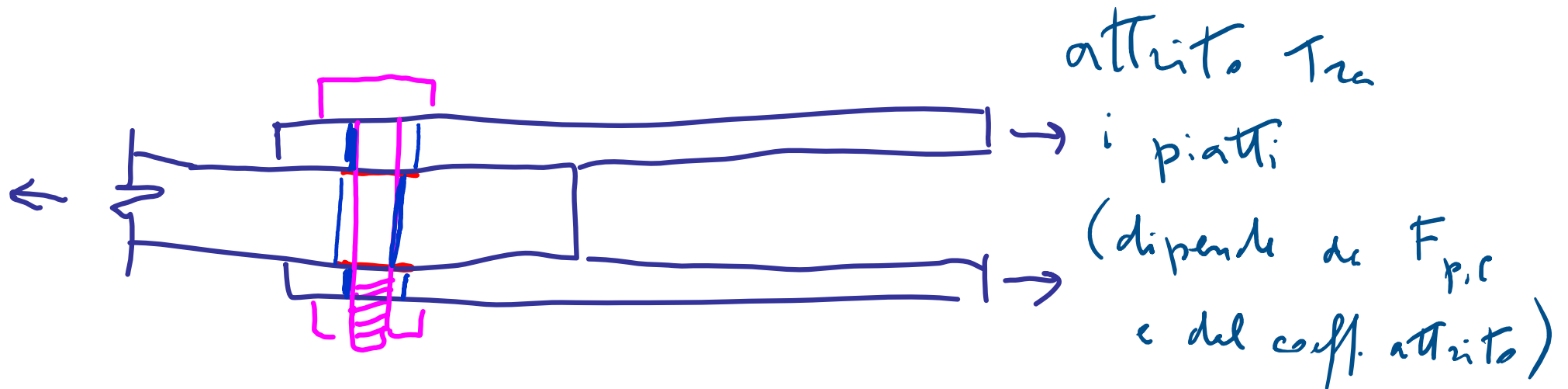
Come si trasmette l'azione?



Rottura per TRAZIONE

- La rottura avviene in una delle sezioni più deboli, quindi sicuramente in una sezione filettata (nella zona tra gambo e dado, perché dentro il dado man mano la forza viene trasmessa dalla filettatura al dado e la tensione si riduce)
- Nella verifica si deve considerare l'area della sezione in cui avviene la rottura e quindi sempre A_{resC}

Come si trasmette l'azione?



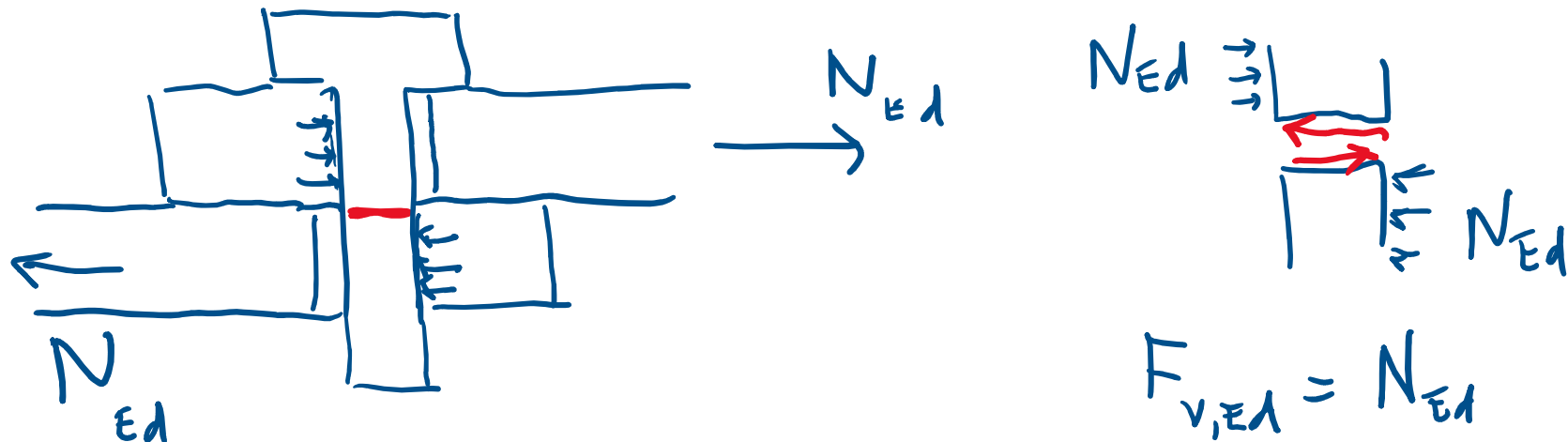
ATTRITO

- Quando i bulloni devono lavorare a taglio, grazie al serraggio si ha compressione tra i piatti e quindi lo scorrimento è impedito dall'attrito
- Normalmente la resistenza ad attrito è bassa, quindi si ha scorrimento e i bulloni lavorano a taglio
- L'unione lavora ad attrito quando l'attrito è tanto forte da impedire scorrimento; in tal caso il bullone non ha sollecitazioni a taglio

Bulloni che lavorano a taglio

Resistenza a taglio del bullone

- La sollecitazione a taglio di un bullone è indicata col simbolo $F_{v,Ed}$. Quale può essere la resistenza a taglio $F_{v,Rd}$?



Nella figura, la sollecitazione a taglio del bullone è uguale alla forza assiale nel singolo piatto: $F_{v,Ed} = N_{Ed}$

- Nelle aste la resistenza a taglio V_{Rd} vale $A \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$

Cosa cambia per i bulloni?

Resistenza a taglio del bullone

- Nelle aste la resistenza a taglio V_{Rd} vale $A \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$

Cosa cambia per i bulloni?

- Concettualmente è la stessa cosa ma:
 - Per i bulloni, come in tutte le situazioni nelle quali si ha un problema localizzato (ad esempio verifica di asta tesa in corrispondenza di fori), si usa la resistenza a rottura (per i bulloni, f_{ub}), accoppiata al coefficiente γ_{M2}
 - La sperimentazione mostra che il bullone, essendo un elemento tozzo, non segue esattamente il criterio di von Mises, ma è un po' più resistente. Quindi in genere si usa anziché $1/\sqrt{3} = 0.577$ il valore 0.6 (solo per qualche caso si usa 0.5)

Resistenza a taglio del bullone

Se la rottura a taglio avviene in zona non filettata, si usa l'area nominale A e quindi l'espressione

$$F_{V,Rd} = A \frac{0.6 f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

Se la rottura a taglio avviene in zona filettata, si usa l'area resistente A_{res}

Per bulloni di classe 4.6, 5.6, 8.8

$$F_{V,Rd} = A_{res} \frac{0.6 f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

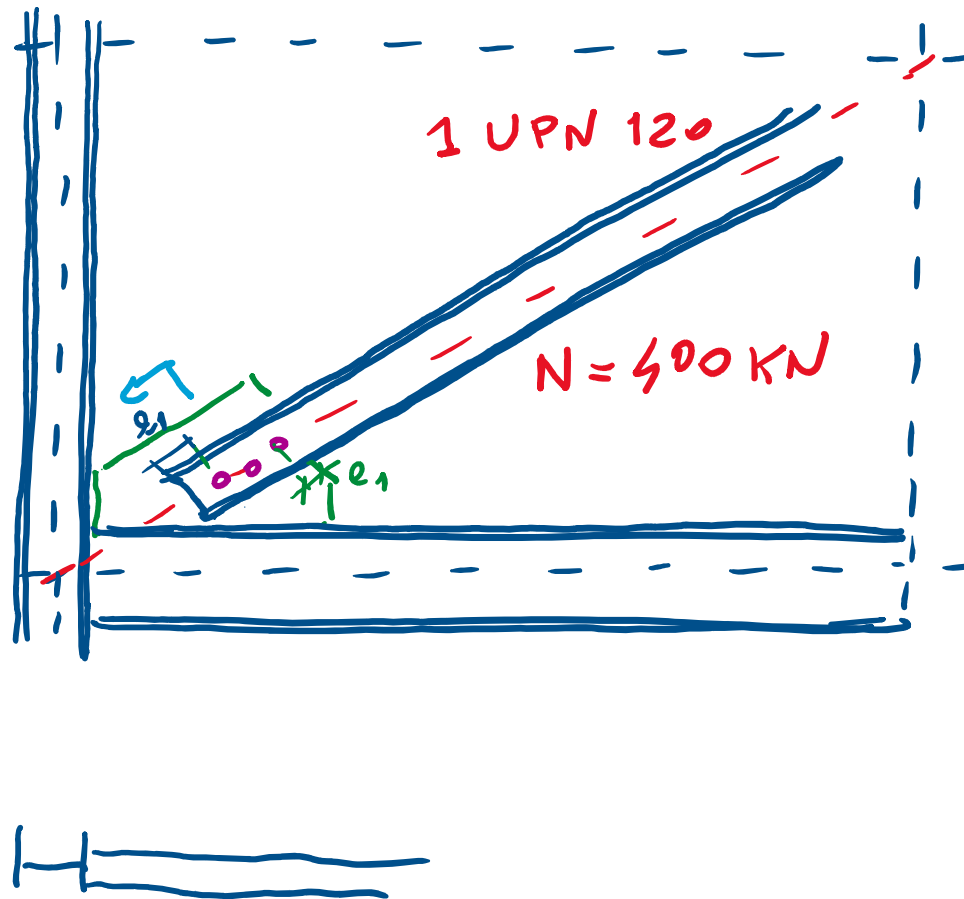
Per bulloni di classe 6.8, 10.9

$$F_{V,Rd} = A_{res} \frac{0.5 f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

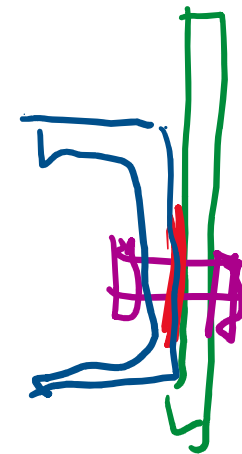
Nota: le NTC consentono l'uso di classi 4.8 e 5.8 ma dimenticano di dare indicazioni per queste; secondo l'EC3, parte 1-8, vale anche per loro il coefficiente 0.5

Esempi di unioni bullonate a taglio

Controvento nella struttura in acciaio



1 bulloni
lavorano a taglio
in quante sezioni?
1



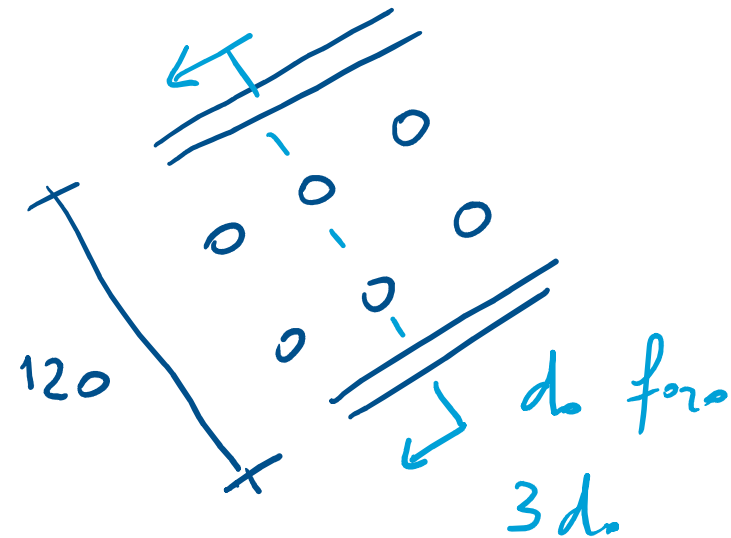
Dimensionamento bulloni

a taglio

- Le soluzioni possibili sono numerose, perché occorre definire:
 - Il numero di bulloni da usare
 - Il diametro dei bulloni
 - La classe dei bulloni
- In base all'esperienza ed alle diverse situazioni, si possono fissare due di questi e ricavare il terzo

Dimensionamento bulloni a taglio

- Ad esempio, in questo caso:
 - Essendo il profilo largo 120 mm si possono disporre due bulloni in una singola sezione
 - Considero forfaitariamente un bullone ogni $3 d_0$, essendo d_0 il diametro del foro
 - In questo caso posso pensare a bulloni fino a M18
 - Penso ad una classe non particolarmente alta, perché la forza non è elevata. Quindi provo con classe 5.6

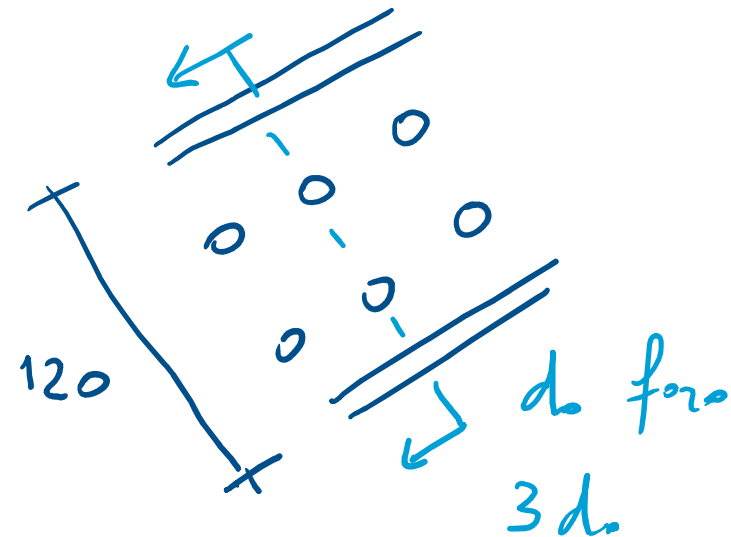


Dimensionamento bulloni a taglio

- Ad esempio, in questo caso:
 - Se uso bulloni M16 classe 5.6 filettati solo all'estremità
($A=201 \text{ mm}^2$)

$$F_{V,Rd} = A \frac{0.6 f_{ub}}{\gamma_{M2}} =$$
$$= 201 \frac{0.6 \times 500}{1.25} \times 10^{-3} = 48.2 \text{ kN}$$

- Occorrono $\frac{400}{48.2} = 8.3$ e quindi 10 bulloni M16



Dimensionamento bulloni a taglio

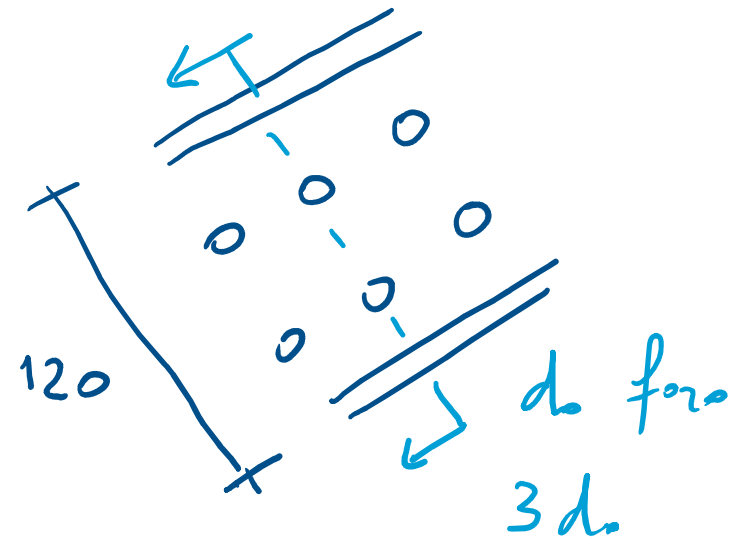
- Ad esempio, in questo caso:

- Se uso bulloni M18 classe 5.6 filettati solo all'estremità
($A=254 \text{ mm}^2$)

$$F_{V,Rd} = A \frac{0.6 f_{ub}}{\gamma_{M2}} =$$
$$= 254 \frac{0.6 \times 500}{1.25} \times 10^{-3} = 61.0 \text{ kN}$$

- Occorrono $\frac{400}{61.0} = 6.6$ e quindi 8 bulloni M18

- Penso di scegliere questi, ma devo esaminare anche un altro aspetto: il rifollamento



Bulloni che lavorano a taglio

rifollamento della lamiera

- Il bullone esercita un'azione localizzata sulla lamiera (piatto di collegamento, anima del profilo, ecc.)
- Teoricamente il contatto tra bullone e lamiera avviene lungo una linea, che ha area nulla e quindi con tensioni infinite
 - La lamiera si deve plasticizzare ed il bullone affonda in essa, fino ad essere a contatto con tutta la sua larghezza d

Bulloni che lavorano a taglio

rifollamento della lamiera

Inizialmente le due circonferenze
si toccano in un punto



Bullone e lamiera si toccano
lungo una linea



La lamiera si plasticizza
localmente



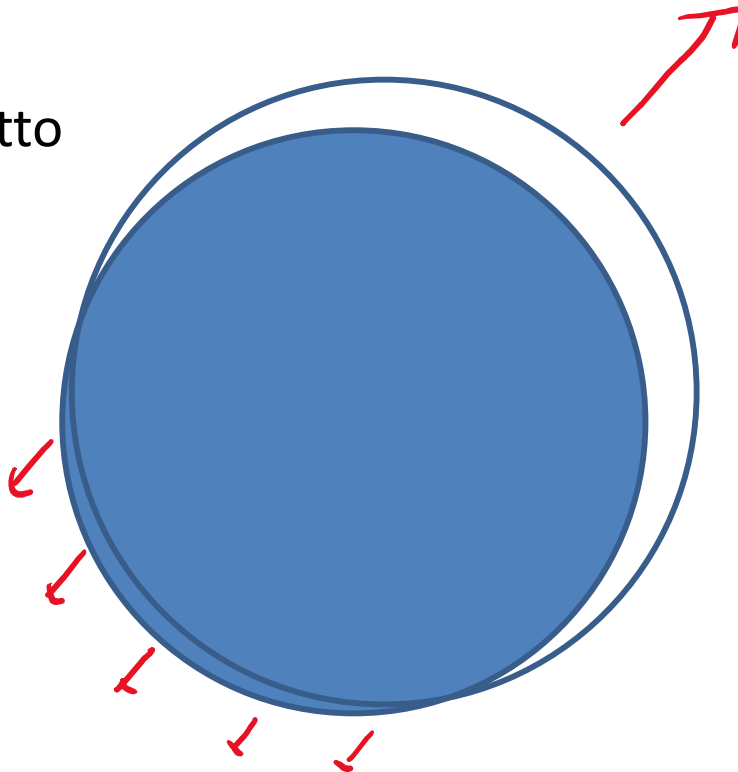
$A=0$
 $\sigma=\infty$

Il bullone penetra nel piatto

$$\sigma = \frac{F_{v,Ed}}{d t}$$

d = diametro
del bullone

t = spessore
della lamiera

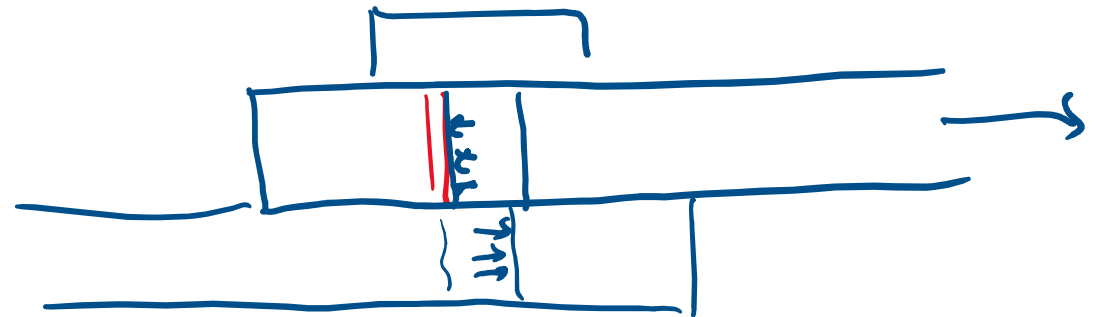
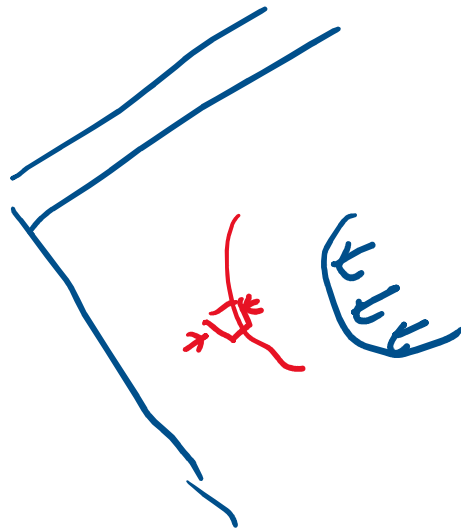
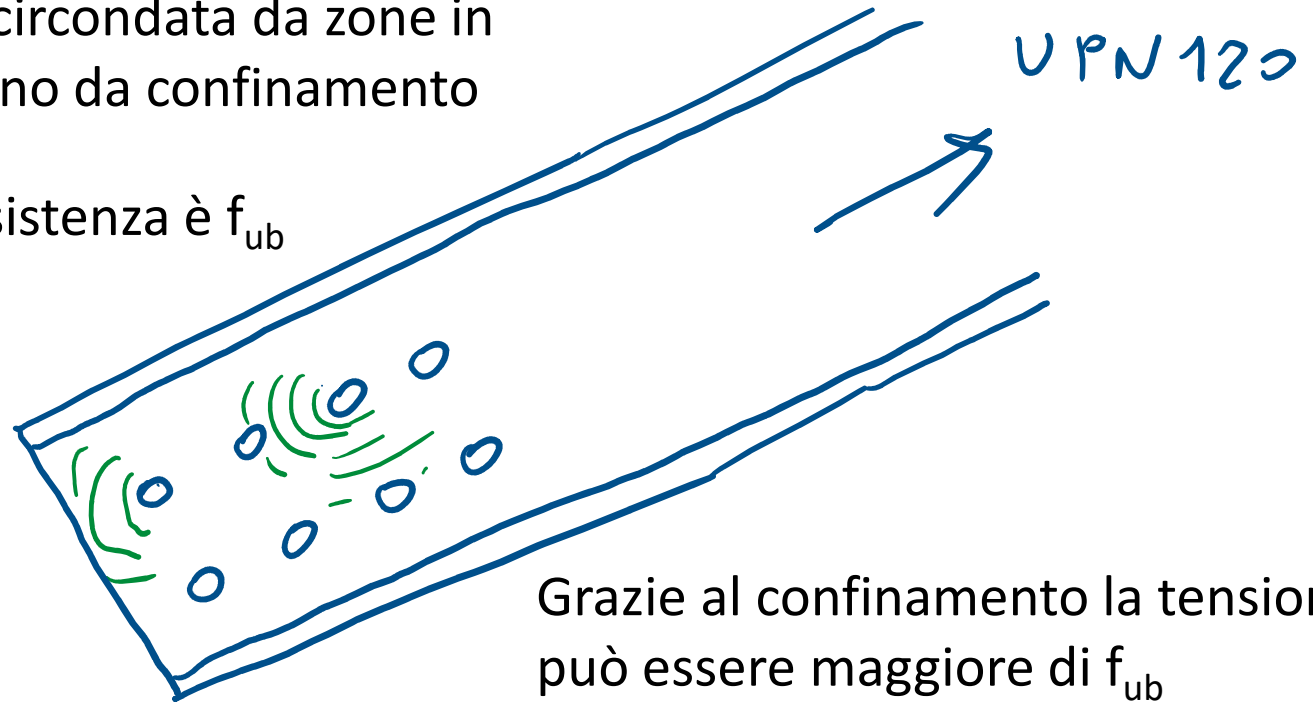
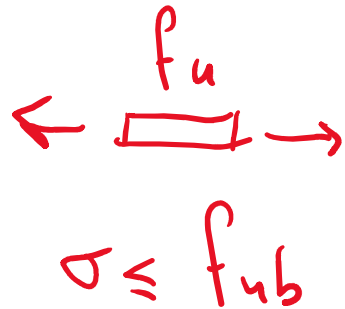


Bulloni che lavorano a taglio

rifollamento della lamiera

Allontanandosi dal foro la tensione si riduce
La zona plasticizzata è circondata da zone in
campo elastico che fanno da confinamento

Per trazione pura la resistenza è f_{ub}



Bulloni che lavorano a taglio

rifollamento della lamiera

Resistenza ad azione
monoassiale: f_{ub}

Resistenza ad azione
isotropa: $\gg f_{ub}$



Consideriamo fino a:
 $2.5 f_{ub}$

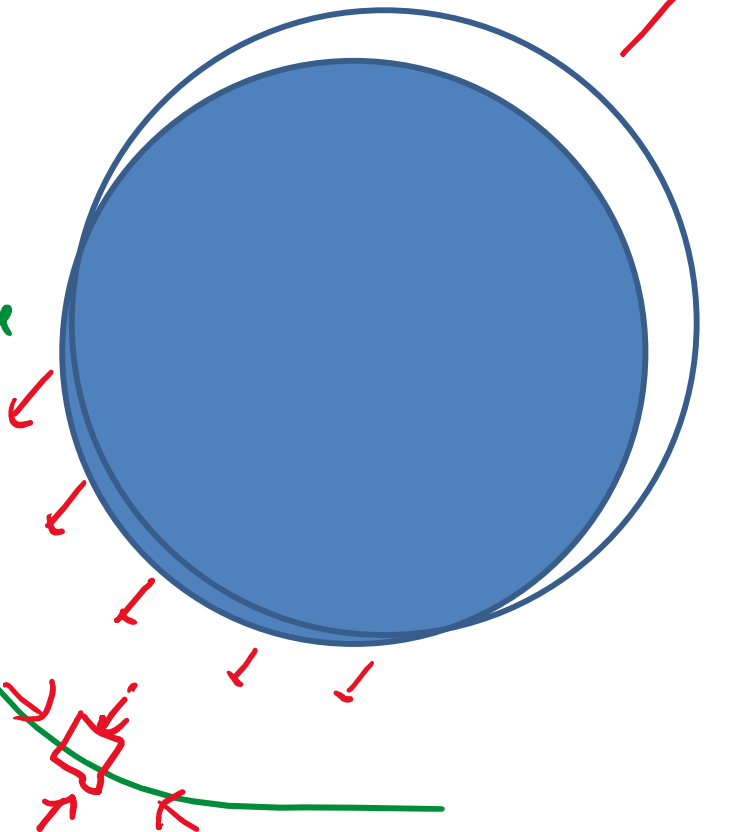
$$\sigma = \frac{F_{v,Ed}}{d t} \leq 2.5 f_{ub}$$

man mano che mi
allontano le tensioni
si riduce

a distanza

campo
elastico

questo elemento è
soggetto a
compressione isotropa



Resistenza della lamiera a rifollamento

$$F_{b,Rd} = d t \frac{k \alpha f_u}{\gamma_{M2}}$$

Handwritten red annotations: A red squiggly line is drawn above the coefficient k , and the value ≤ 2.5 is written in red above it.

$$k = \text{MIN} \left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right)$$

Handwritten red annotation: The value 2.5 in the formula is circled in red.

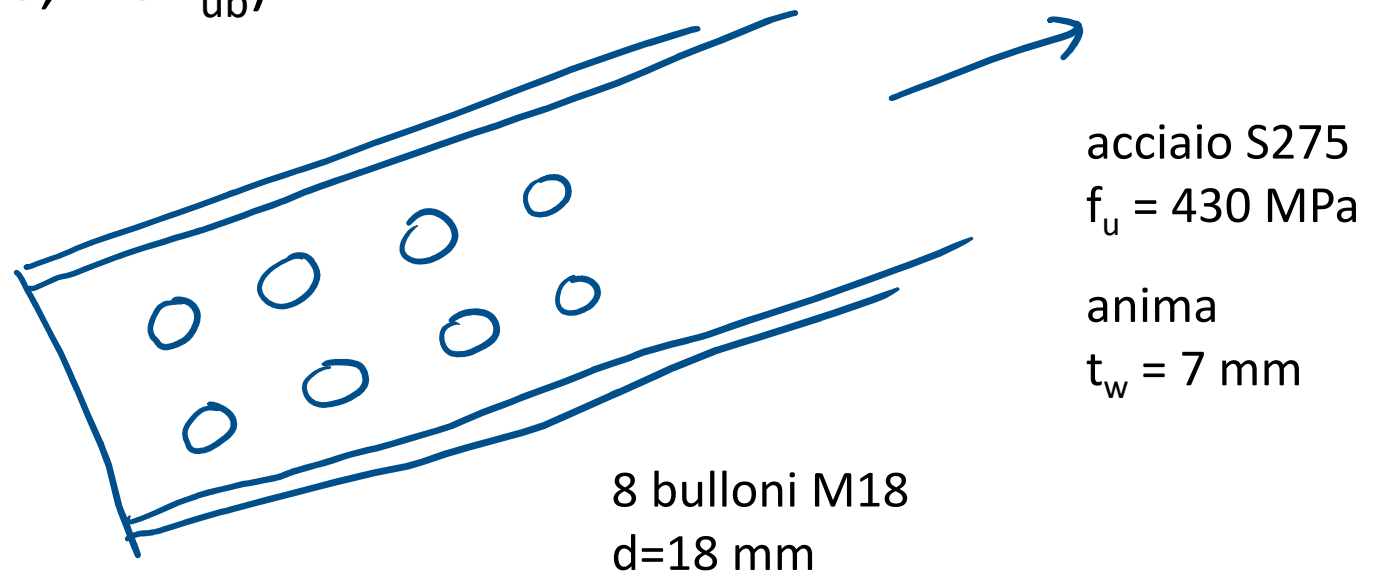
$$\alpha = \text{MIN} \left(\frac{e_1}{3 d_0}; \frac{p_1}{3 d_0} - 0.25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right)$$

Handwritten red annotation: The value 1 in the formula is circled in red.

Dimensionamento bulloni

verifica a rifollamento della lamiera

- Nella fase di dimensionamento (scelta di numero, diametro e classe dei bulloni) controllare se la lamiera è capace di sostenere l'azione localizzata senza rifollamento (pensando al valore massimo, $2.5 f_{ub}$)

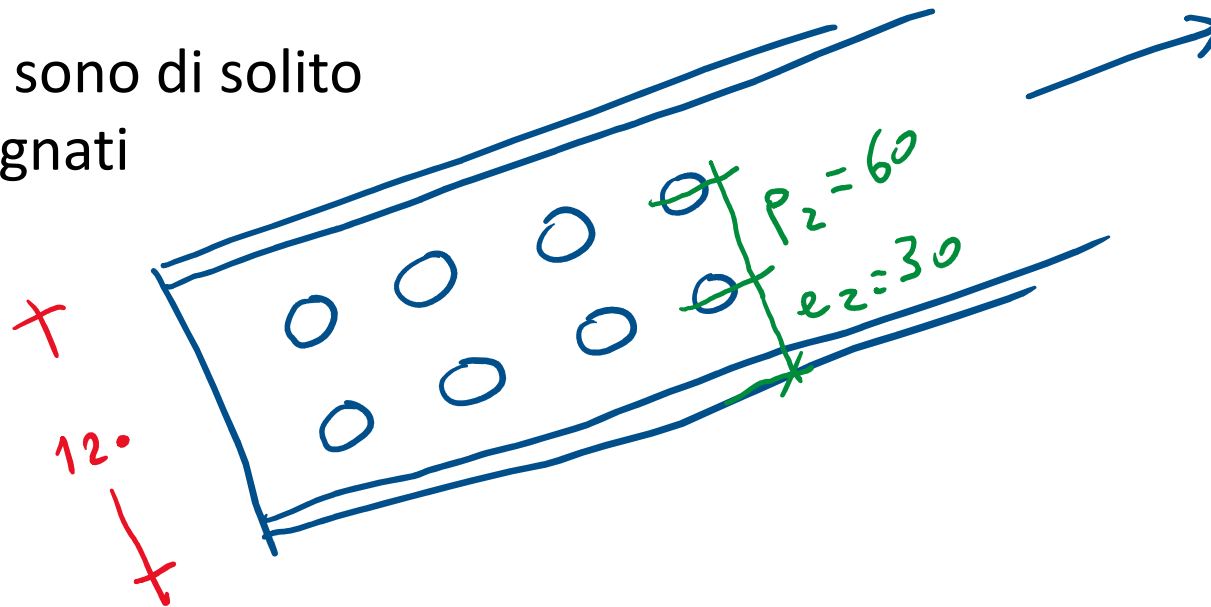


- Singolo bullone: $F_{b,Rd} \leq d t \frac{2.5 f_u}{\gamma_{M2}} = 18 \times 7 \times \frac{2.5 \times 430}{1.25} \times 10^{-3} = 108.4$ kN
- Per 8 bulloni: $108.4 \times 8 = 867$ kN > 400 kN

Dimensionamento bulloni

verifica a rifollamento della lamiera

- Poi, in base alla verifica a rifollamento si valutano le distanze tra i bulloni
 - p_2 ed e_2 sono di solito già assegnati



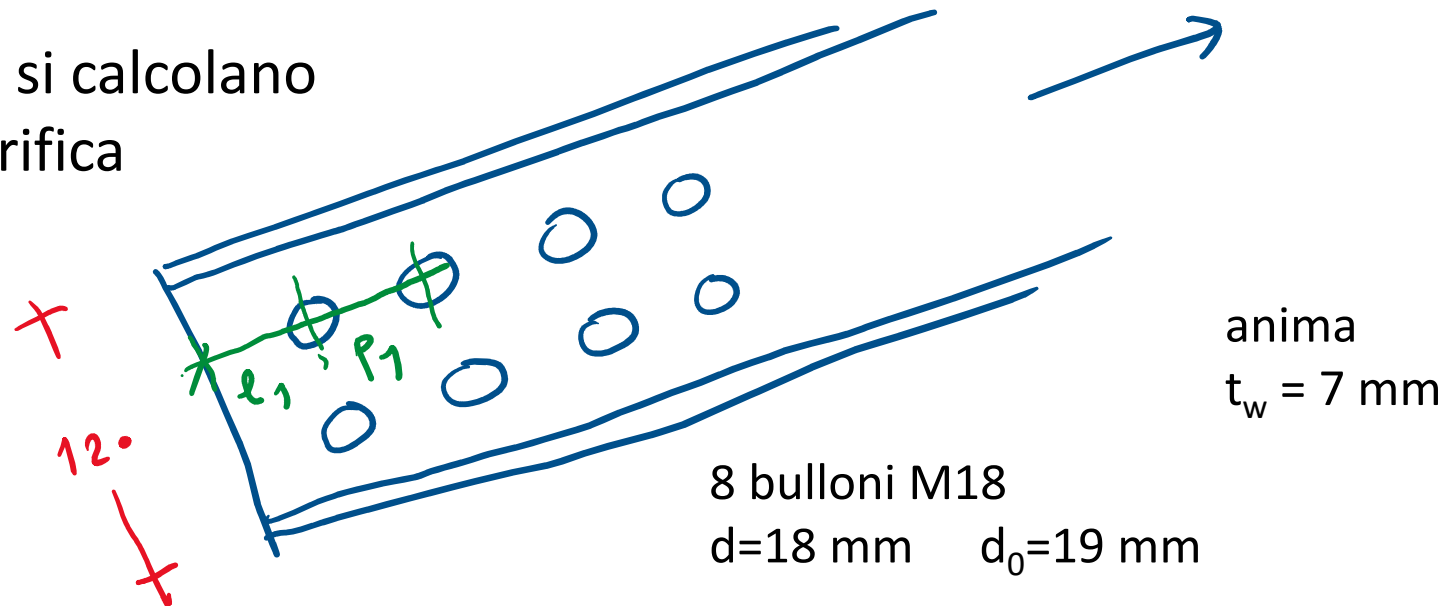
- Nella direzione della forza
$$k = \text{MIN} \left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right)$$

$k=2.5$ se ho scelto il bullone pensando $p_2 \geq 3 d_0$ ed $e_2 \geq 1.5 d_0$

Dimensionamento bulloni

verifica a rifollamento della lamiera

- Poi, in base alla verifica a rifollamento si valutano le distanze tra i bulloni
 - p_1 ed e_1 si calcolano dalla verifica



- Dalla condizione $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd} = d t \frac{k \alpha f_u}{\gamma_{M2}}$ si ricava α

$$\alpha \geq \frac{F_{v,Ed} \gamma_{M2}}{d t k f_u} = \frac{400 \times 10^3 / 8 \times 1.25}{18 \times 7 \times 2.5 \times 430} = 0.461$$

Dimensionamento bulloni

verifica a rifollamento della lamiera

- Poi, in base alla verifica a rifollamento si valutano le distanza tra i bulloni

- $\alpha \geq 0.461$

$$\frac{p_1}{3 d_0} - 0.25 \geq 0.461 \rightarrow p_1 \geq (0.461 + 0.25) \times 3 d_0 = 2.13 d_0 = 40.5 \text{ mm}$$

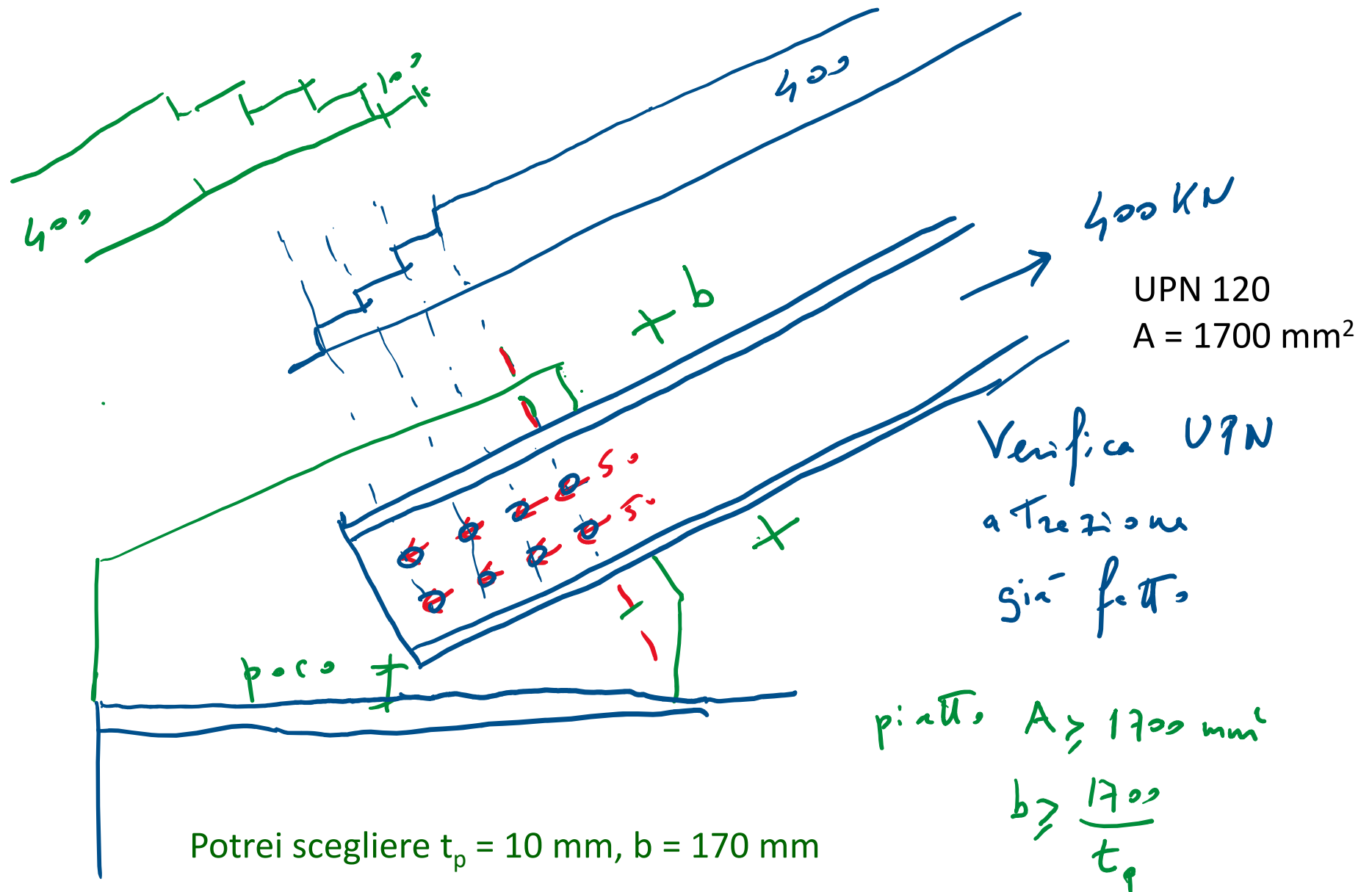
$$\frac{e_1}{3 d_0} \geq 0.461 \rightarrow e_1 \geq 0.461 \times 3 d_0 = 1.38 d_0 = 26.3 \text{ mm}$$

- Posso assumere

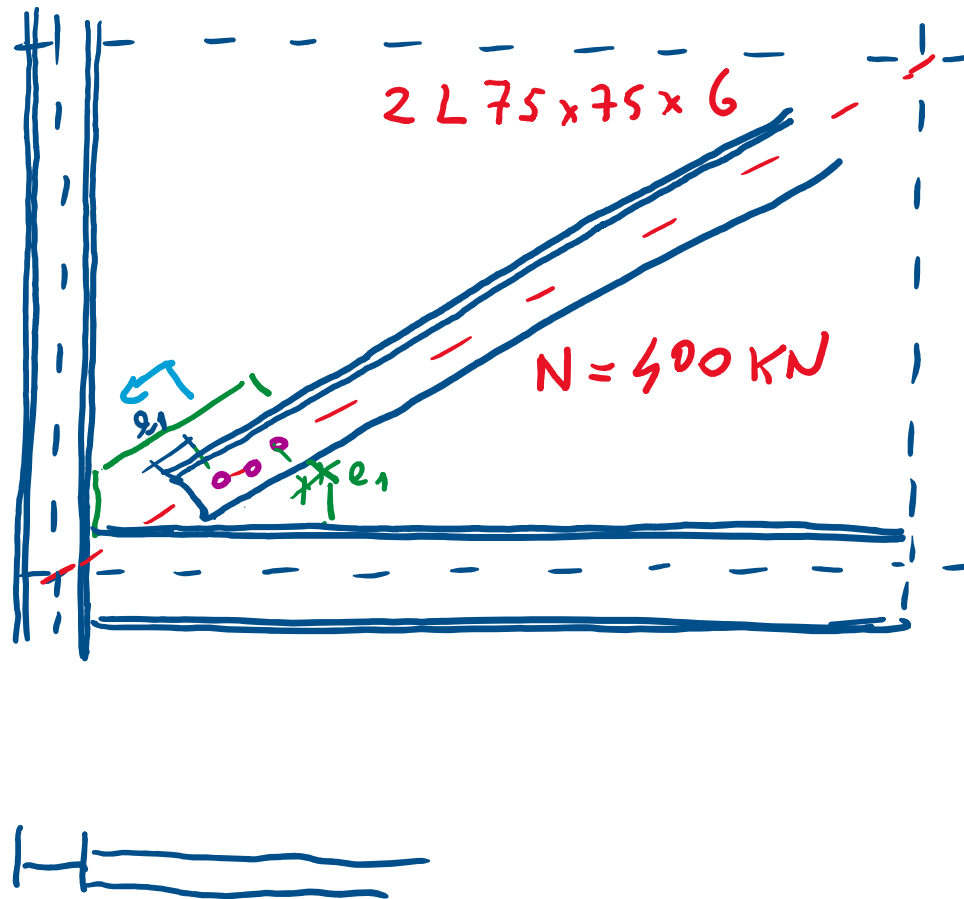
$$p_1 = 45 \text{ mm}$$

$$e_1 = 30 \text{ mm}$$

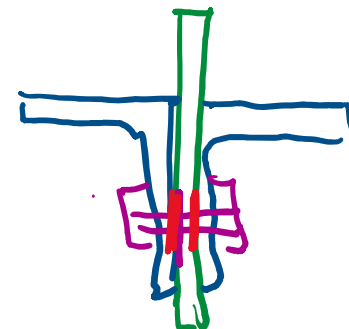
Verifica del piatto



Controvento nella struttura in acciaio

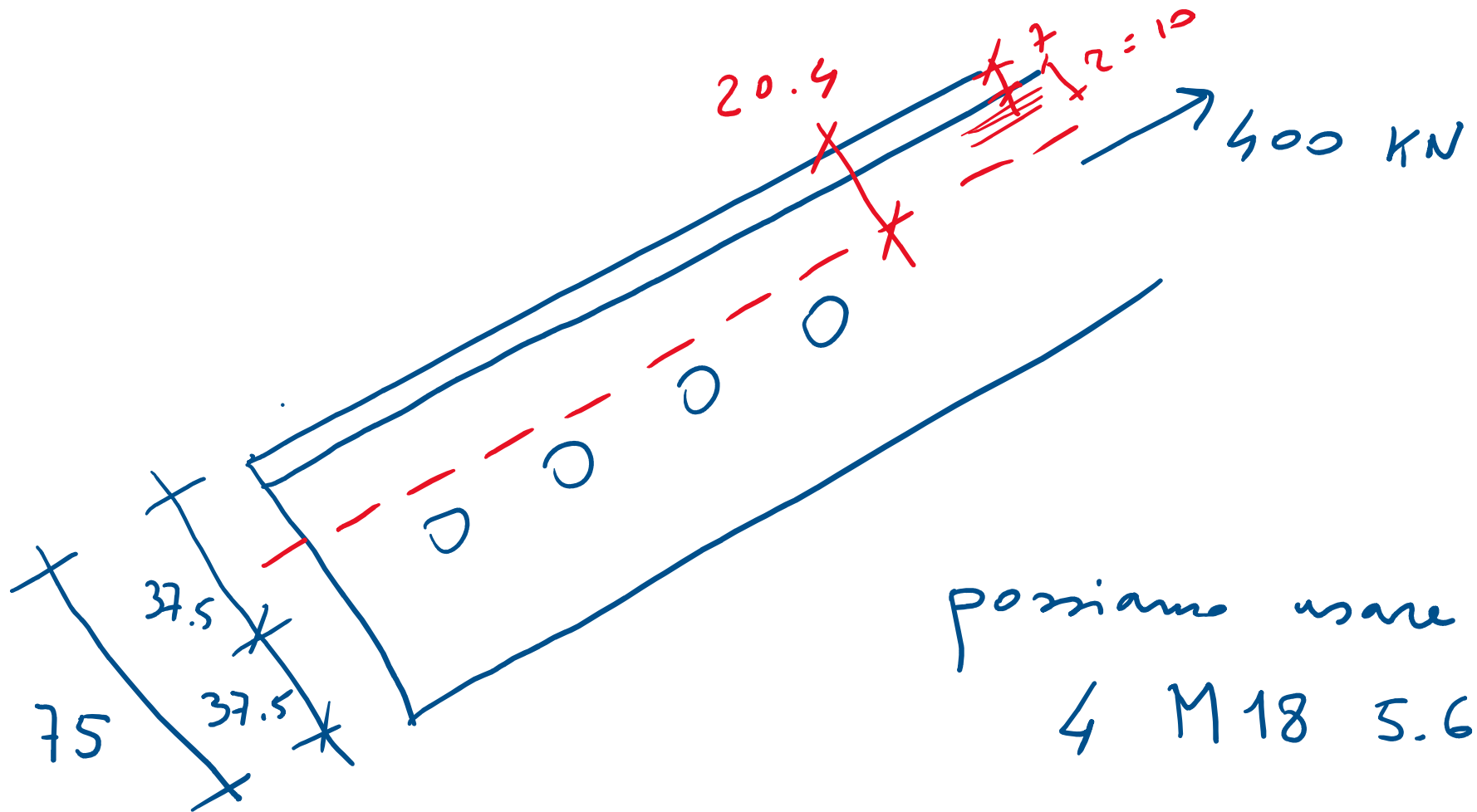


1 bulloni
lavorano a taglio
in quante sezioni?
2



Controvento

costituito da coppia di angolari



possiamo usare
4 M18 5.6

perché agisce lavoro
in due sezioni

