

**Corso di Laurea in
Ingegneria Gestionale dei Progetti e delle Infrastrutture**

**Corso di
Gestione e Manutenzione delle Strutture
A.A. 2020-21**

Lezione n. 14a – 17/05/2021

COLLEGAMENTI BULLONATI – PARTE 2



Prof. Ing. Emidio Nigro
Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
Università di Napoli "Federico II"

E-mail: emidio.nigro@unina.it



UNIONI BULLONATE

RESISTENZA A TRAZIONE E A TAGLIO-TRAZIONE

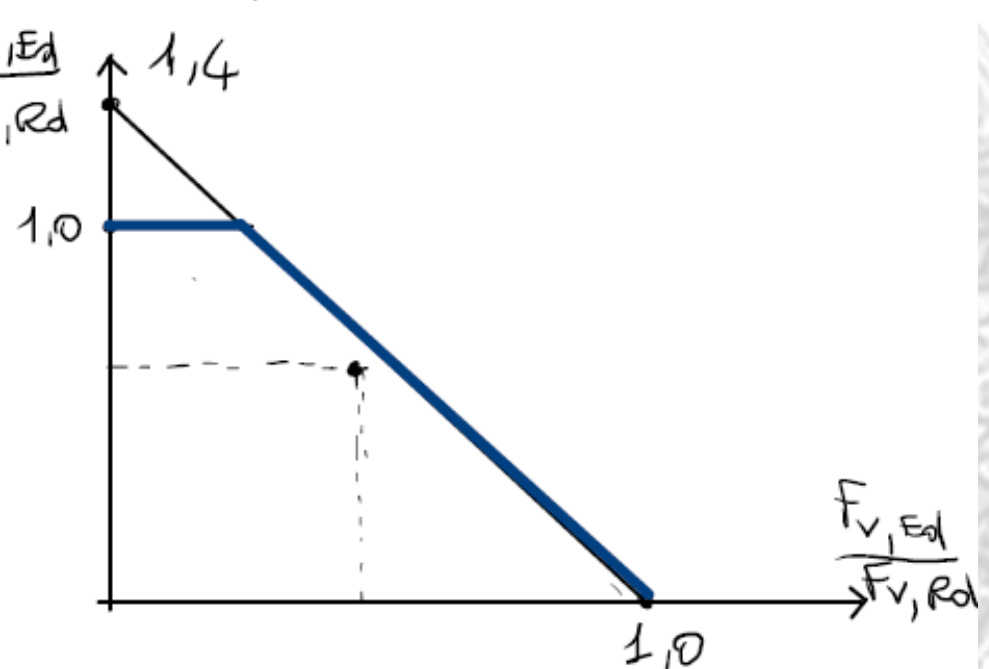
LEZIONE GMS DEL 13/05/2020

RESISTENZA A TRAZIONE DEI BULLONI

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd} = 0,9 \frac{A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2} = 1,25}$$

TAGLIO - TRAZIONE: $F_{v,Ed}$, $F_{t,Ed}$

$$\begin{cases} \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \\ \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \end{cases}$$



UNIONI BULLONATE

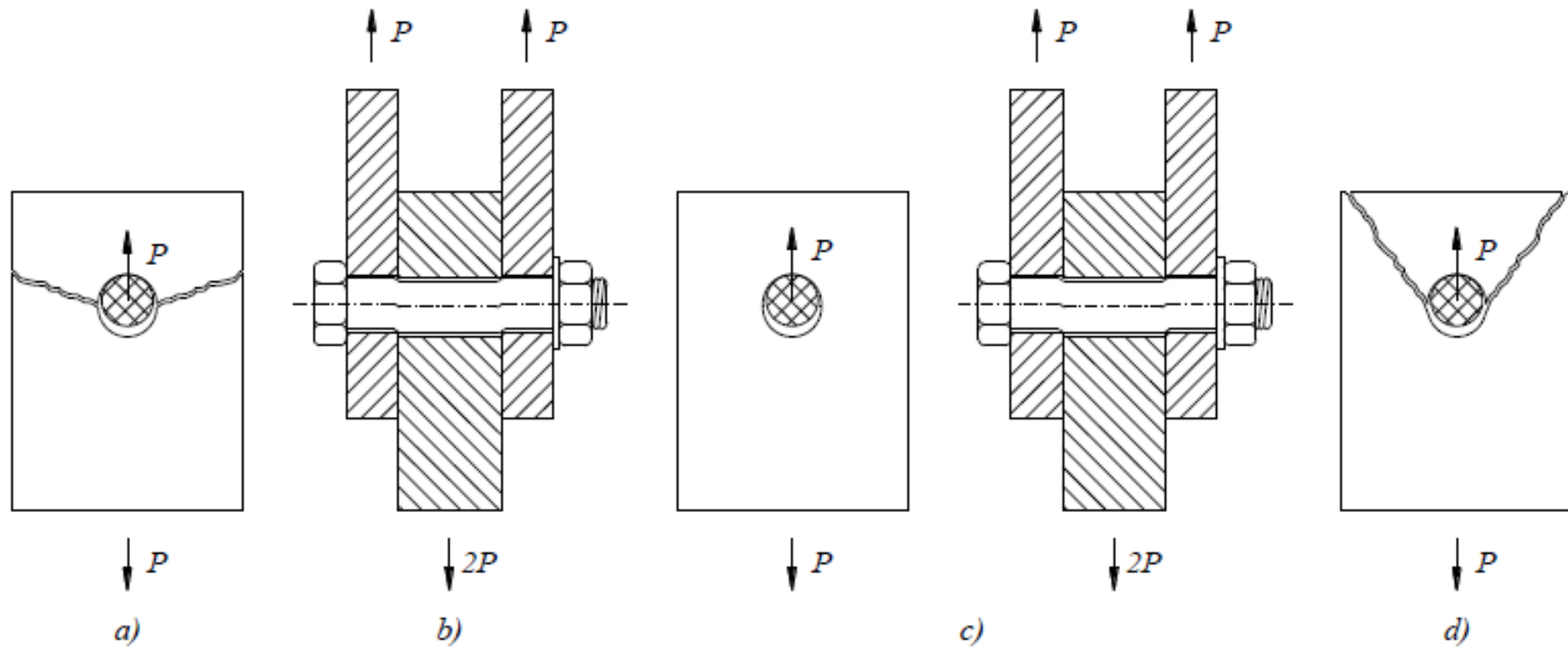


Fig. 3.4 : Vari comportamenti a collasso di un giunto bullonato.

UNIONI BULLONATE

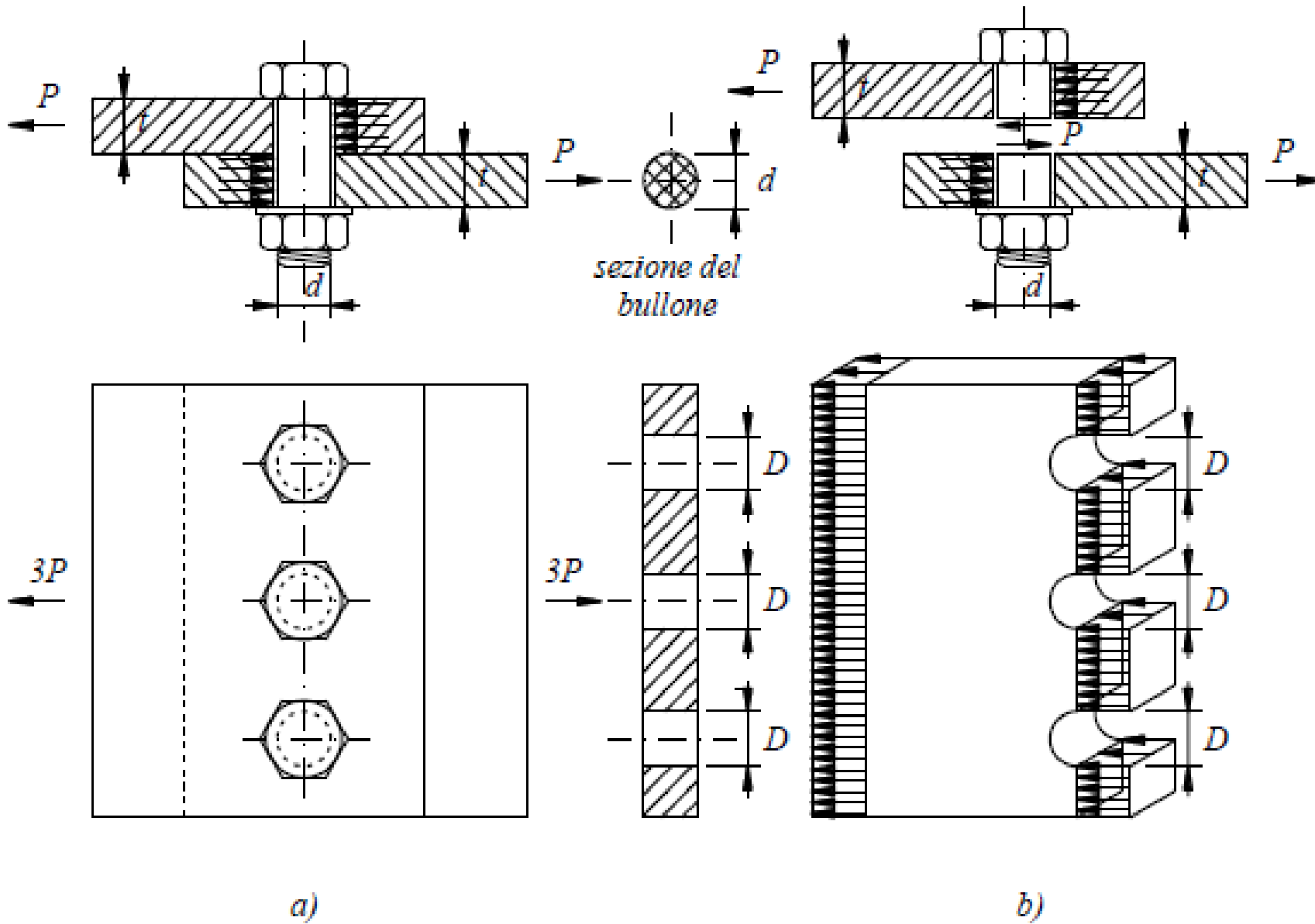
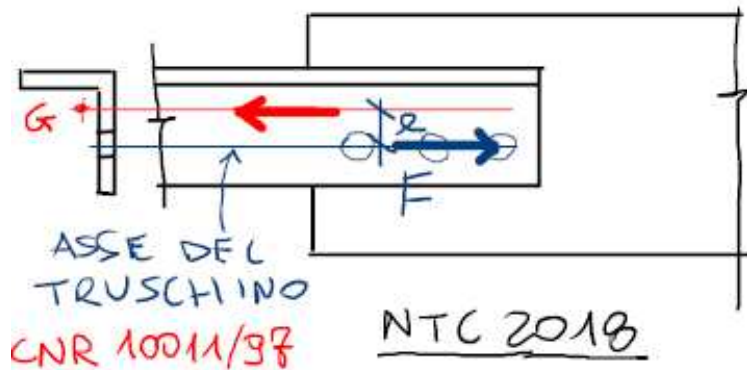


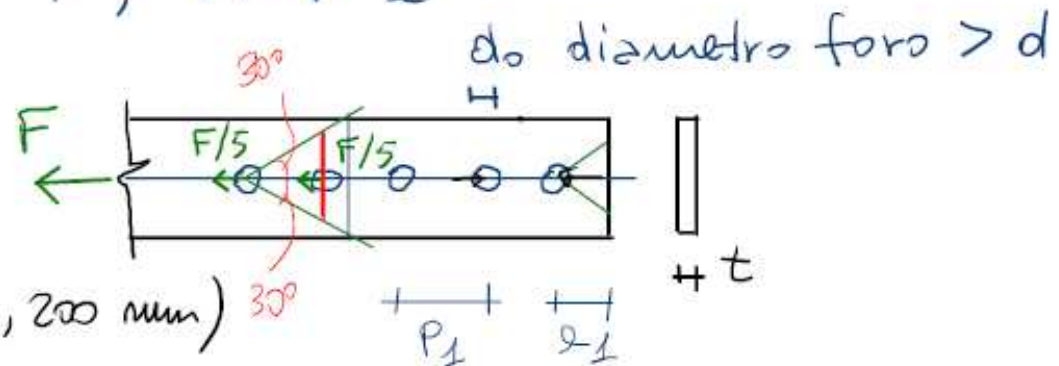
Fig.3.5: Verifica di un giunto bullonato con sollecitazioni uguali nei bulloni.

UNIONI BULLONATE - RIEPILOGO VERIFICHE

- VERIFICA BULLONE (TAGLIO, TRAZIONE)
- VERIFICA STRAPPO LAMIERA → LIMITI DIMENSIONALI
- VERIFICA DI RIFOLLAMENTO
- VERIFICA LAMIERA (SEZIONI INDEBOLITE)
- VERIFICA DI PUNZONAMENTO DELLA LAMIERA
- VERIFICA AD ATTRITO (BULLONE - LAMIERA)



$$F, M = F \cdot e$$



$$(3d) \quad 2,2 d_0 \leq P_1 \leq \min(14t, 200 \text{ mm})$$

$$(3d) \quad 2,4 d_0 \leq P_2 \leq \dots$$

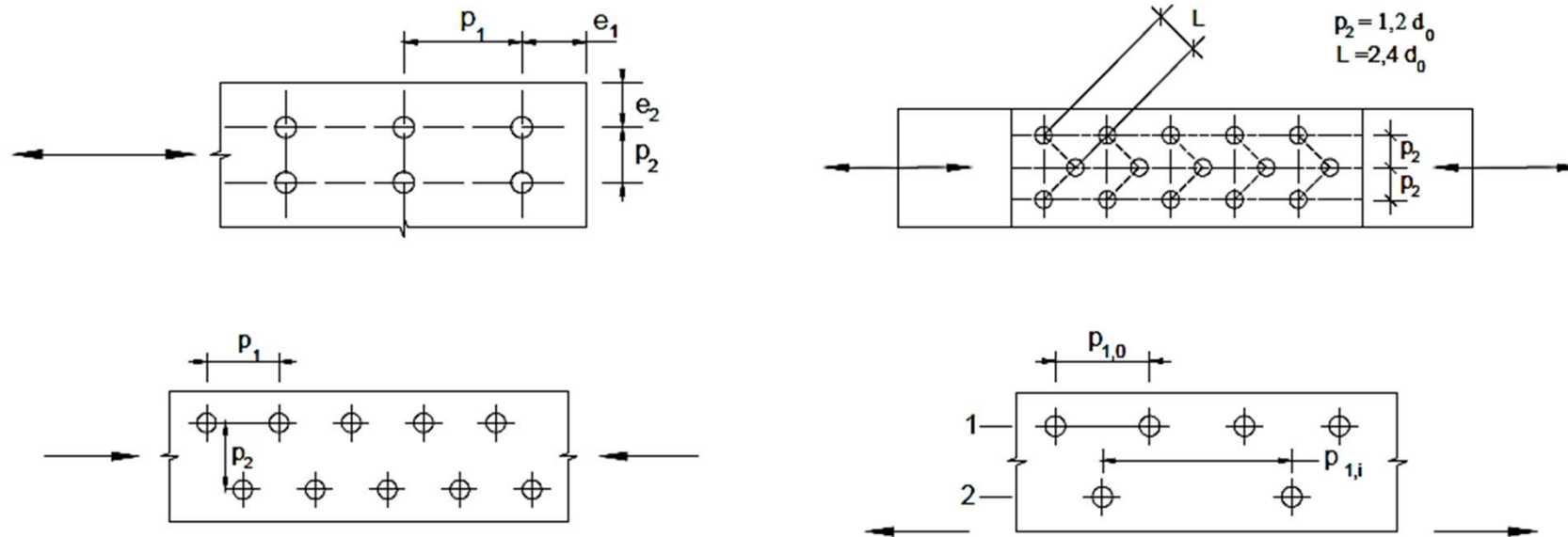
$$\text{INSTABILITA': } \frac{P_1}{t} \leq 9 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

NO
⇒

VERIFICA INSTABILITA' $l_0 = 0,6 P_1$



BULLONATURE - LIMITI DIMENSIONALI



Tab. 4.2.XVIII - Posizione dei fori per unioni bullonate e chiodate.

Distanze e interassi (Fig. 4.2.5)	Minimo	Massimo		
		Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni di elementi in acciaio resistente alla corrosione (UNI EN10025-5)
e_1	$1,2 d_0$	$4t+40 \text{ mm}$	-	$\max(8t;12 \text{ mm})$
e_2	$1,2 d_0$	$4t+40 \text{ mm}$	-	$\max(8t;125 \text{ mm})$
p_1	$2,2 d_0$	$\min(14t;200 \text{ mm})$	$\min(14t;200 \text{ mm})$	$\min(14t;175 \text{ mm})$
$P_{1,0}$	-	$\min(14t;200 \text{ mm})$	-	-
$P_{1,i}$	-	$\min(28t;400 \text{ mm})$	-	-
p_2	$2,4 d_0$	$\min(14t;200 \text{ mm})$	$\min(14t;200 \text{ mm})$	$\min(14t;175 \text{ mm})$

L'instabilità locale del piatto posto tra i bulloni/chiodi non deve essere considerata se $(p_1/t) < [9(235/f_y)^{0.5}]$: in caso contrario si assumerà una lunghezza di libera inflessione pari a $0.6 \cdot p_1$.

t è lo spessore minimo degli elementi esterni collegati.

UNIONI BULLONATE - VERIFICA A RIFOLLAMENTO

CNR10011

NTC 2018

(2,0 d) $1,2 d_0 \leq e_1 \leq 4t + 40 \text{ mm}$ BORDO

(1,5 d) $1,2 d_0 \leq e_2 \leq 4t + 40 \text{ mm}$ MARGINE

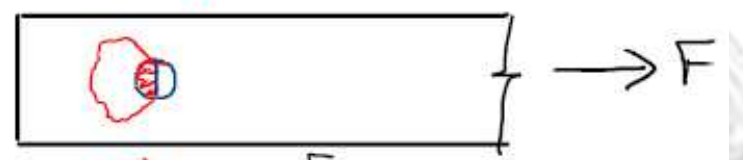
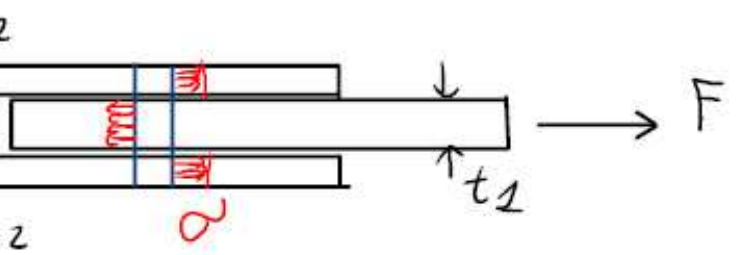
VERIFICA DI RIFOLLAMENTO

UNIERA

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd} = \frac{K \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$\alpha \leq 1$, $K \leq 2,5$, $t = \min(t_1, 2t_2)$

$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{tbk}}{f_{tk}}; 1\right)$ BULLONE BORDO



$\sigma_{rif} = \frac{F_v}{d \cdot t} \geq f_{tk}$

$\Rightarrow e_1 \geq 3d_0$

$\alpha = \min\left(\frac{P_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{tbk}}{f_{tk}}; 1\right)$ BULLONI INTERNI

$\Rightarrow P_1 \geq 3,75 d_0$

UNIONI BULLONATE – VERIFICA A RIFOLLAMENTO

La resistenza di progetto a rifollamento $F_{b,Rd}$ del piatto dell'unione, bullonata o chiodata, può essere assunta pari a

$$F_{b,Rd} = k \alpha f_{tk} d t / \gamma_{M2} \quad [4.2.67]$$

dove:

d è il diametro nominale del gambo del bullone,

t è lo spessore della piastra collegata,

f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura del materiale della piastra collegata,

$\alpha = \min \{e_1 / (3 d_0) ; f_{tbk} / f_{tk} ; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione del carico applicato,

$\alpha = \min \{p_1 / (3 d_0) - 0,25 ; f_{tbk} / f_{tk} ; 1\}$ per bulloni interni nella direzione del carico applicato,

$k = \min \{2,8 e_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato,

$k = \min \{1,4 p_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni interni nella direzione perpendicolare al carico applicato,

essendo e_1 , e_2 , p_1 e p_2 indicati in Fig. 4.2.5 e d_0 il diametro nominale del foro di alloggiamento del bullone.



**Corso di Laurea in
Ingegneria Gestionale dei Progetti e delle Infrastrutture**

**Corso di
Gestione e Manutenzione delle Strutture
A.A. 2020-21**

Lezione n. 14b – 17/05/2020

COLLEGAMENTI BULLONATI – PARTE 3



Prof. Ing. Emidio Nigro
Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
Università di Napoli "Federico II"

E-mail: emidio.nigro@unina.it

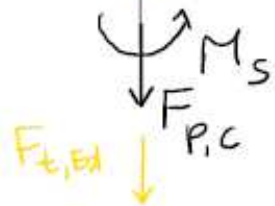
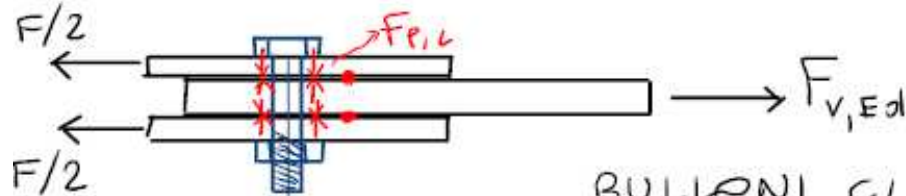


UNIONI A TAGLIO PER ATTRITO

LEZIONE DI GMS DEL 18/05/2020

• COMPLETAMENTO DELLE UNIONI BULLONATE

- VERIFICA AD ATTRITO



BULLONI CL. 8,8 e 10.9

$$F_{p,c} = \frac{0,7 \cdot A_{es} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2} (= 1,10)}$$

FORZA DI PRECARICO

$$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd} = \frac{n \mu F_{p,c}}{\gamma_{M3} (= 1,25)}$$

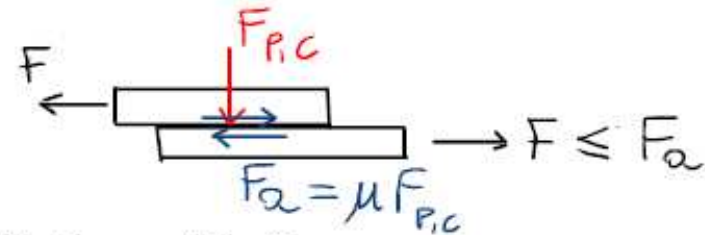
RESISTENZA AD ATTRITO

n = numero superfici a contatto (piedi di taglio)

$$\mu = 0,2 \div 0,5$$

$$F_{s,Rd} = \frac{n \mu (F_{p,c} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}}$$

← in presenza di trazione $F_{t,Ed}$



$$F \leq F_a$$

$$F_a = \mu F_{p,c}$$



UNIONI A TAGLIO PER ATTRITO

Unioni a taglio per attrito con bulloni ad alta resistenza

La resistenza di progetto allo scorrimento $F_{s,Rd}$ di un bullone di classe 8.8 o 10.9 precaricato può essere assunta pari a:

$$F_{s,Rd} = n \mu F_{p,Cd} / \gamma_{M3} \quad [4.2.72]$$

dove:

n è il numero delle superfici di attrito,

μ è il coefficiente di attrito,

$F_{p,Cd}$ è la forza di precarico del bullone data dalla espressione [4.2.62] che, in caso di serraggio controllato, può essere assunta pari a $0,7 f_{tbk} A_{res}$, invece che pari a $0,7 f_{tbk} A_{res} / \gamma_{M7}$.

Il coefficiente di attrito tra le piastre μ a contatto nelle unioni "precaricate" è in genere assunto pari a:

- | | |
|-------------|--|
| $\mu = 0,5$ | – superfici sabbiate meccanicamente o a graniglia, esenti da incrostazioni di ruggine e da vaiolature; |
| $\mu = 0,4$ | – superfici sabbiate meccanicamente o a graniglia, e verniciate a spruzzo con prodotti a base di alluminio o di zinco. |
| $\mu = 0,3$ | – superfici sabbiate meccanicamente o a graniglia, e verniciate con silicato di zinco alcalino applicando uno spessore dello strato di 50-80 μm ; |
| $\mu = 0,2$ | – superfici pulite mediante spazzolatura o alla fiamma, esenti da incrostazioni di ruggine; |
| | – superfici non trattate. |

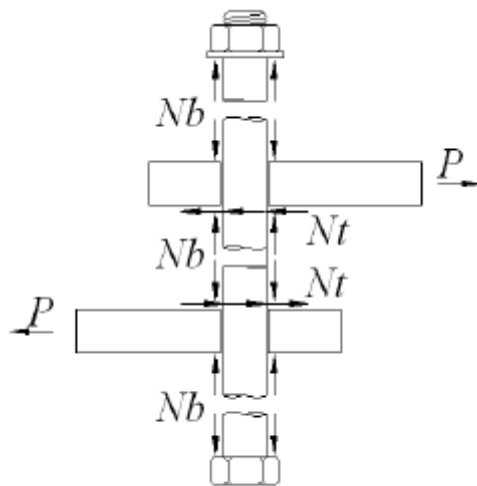


Fig.3.2: Unione ad attrito.

UNIONI A TRAZIONE - VERIFICA A PUNZONAMENTO

La resistenza di progetto a trazione degli elementi di connessione $F_{t,Rd}$ può essere assunta pari a:

$$F_{t,Rd} = 0,9 f_{tbk} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ per i bulloni;} \quad [4.2.68]$$

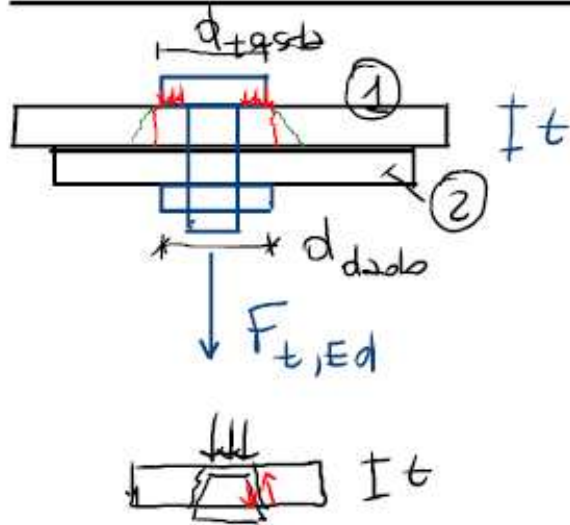
$$F_{t,Rd} = 0,6 f_{tk} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ per i chiodi.} \quad [4.2.69]$$

Inoltre, nelle unioni bullonate soggette a trazione è necessario verificare la piastra a punzonamento; ciò non è richiesto per le unioni chiodate. La resistenza di progetto a punzonamento del piatto collegato è pari a

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_{tk} / \gamma_{M2}; \quad [4.2.70]$$

dove d_m è il minimo tra il diametro del dado e il diametro medio della testa del bullone; t_p è lo spessore del piatto e f_{tk} è la tensione di rottura dell'acciaio del piatto.

• VERIFICA DI PUNZONAMENTO DELLE PIASTRE



$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t f_{tk}}{\gamma_{M2} (=1,25)}$$

↑
punching

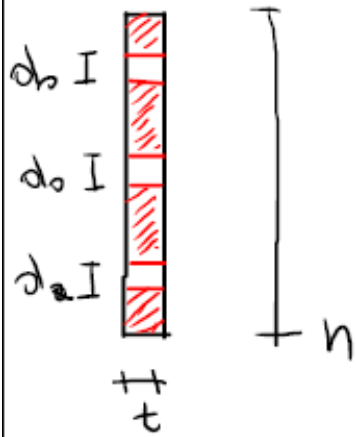
$d_m = d$ minimum tra testa e dado

UNIONI A TAGLIO e UNIONI A TRAZIONE

La resistenza di progetto complessiva della singola unione a taglio è perciò data da $\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})$, mentre la resistenza di progetto della singola unione a trazione è ottenuta come $\min(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$.

UNIONI A TRAZIONE - VERIFICA LAMIERE

- VERIFICA LAMIERE (SEZIONI INDEBOLITE DAI FORI)



$$A_m = t \cdot h - 3d_o \rightarrow N_{U,Rd} = \frac{0,8 A_m f_{tk}}{\gamma_{M2} (= 1,25)}$$

GERARCHIA RESISTENZE (PROG. SISMICA)

$$N_{U,Rd} \geq N_{t,Rd} \Rightarrow \frac{0,8 A_m f_{tk}}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

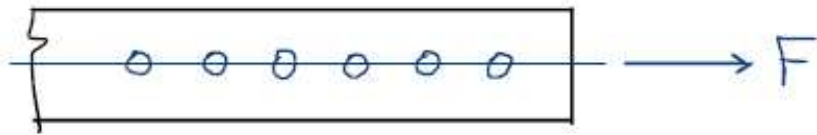
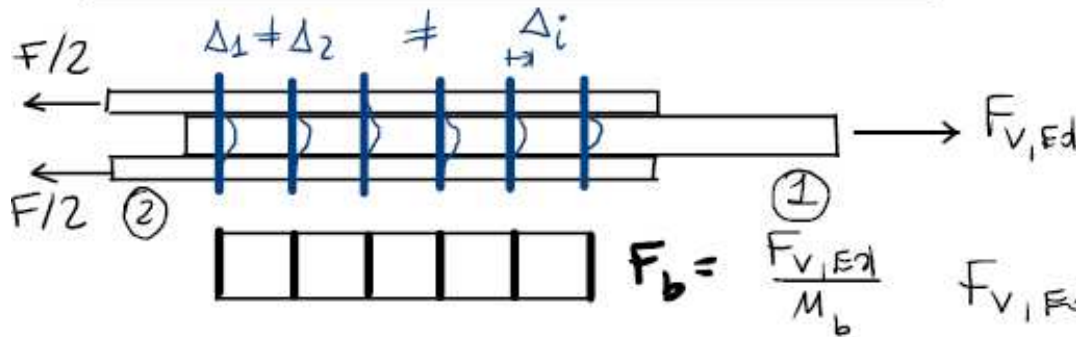
ACCIAI NORMALI $\Rightarrow A_m \geq 0,88 A$



UNIONI BULLONATE A TAGLIO

Calcolo azioni sui bulloni

SOLLECITAZIONI NEI BULLONI



$$F_i = K_i \cdot \Delta = \left(\frac{K_i}{\sum_1^{M_b} i K_i} \right) \cdot F_{v,Ed} = \rho_i \cdot F_{v,Ed}$$

$\rho_i =$ COEFFICIENTE DI RIPARTIZIONE
 $=$ BULLONI UGUALI
 $(K_i = K)$

$$\rho_i = \frac{K}{M_b \cdot K} = \frac{1}{M_b}$$

CALCOLO ELASTICO

Δ_i
 $F_i = K_i \cdot \Delta_i$
 AZIONE SUL BULLONE I-MO

$$F_{v,Ed} = \sum_1^{M_b} i F_i = \sum_1^{M_b} i K_i \Delta_i$$

PIASTRE INFINITAMENTE RIGIDE NEL PIANO

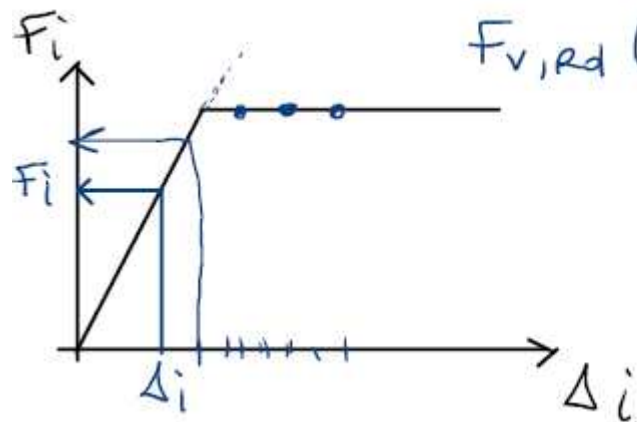
$\Delta_i \equiv \Delta$
 $F_{v,Ed} = \left(\sum_1^{M_b} i K_i \right) \cdot \Delta \Rightarrow \Delta = \frac{F_{v,Ed}}{\sum_1^{M_b} i K_i}$

$F_{v,Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{M_b}$

CALCOLO ELASTICO
 PIASTRE RIGIDE
 BULLONI UGUALI

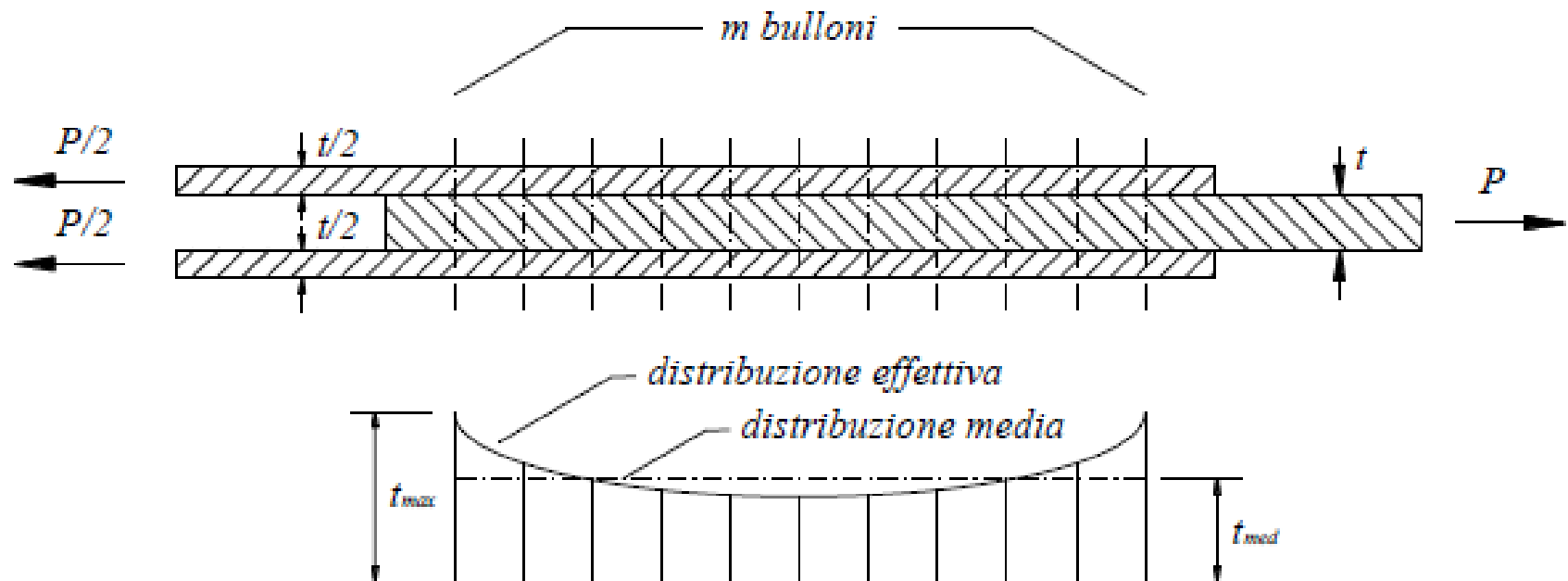
UNIONI BULLONATE A TAGLIO

Calcolo azioni sui bulloni

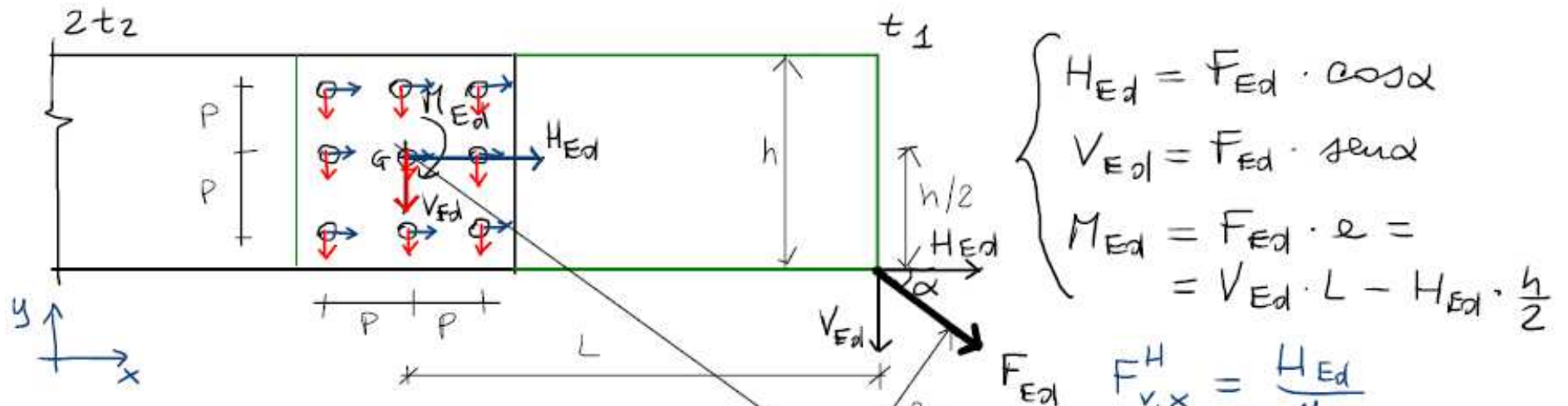


CALCOLO PLASTICO

$$F_{V,Ed,Bull} \equiv F_{V,Rd,Bullone}$$



ESEMPIO DI CALCOLO DI UNIONI BULLONATE (Bullonatura soggetta a taglio)

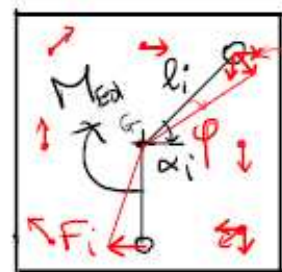


$$\begin{cases} H_{Ed} = F_{Ed} \cdot \cos \alpha \\ V_{Ed} = F_{Ed} \cdot \sin \alpha \\ M_{Ed} = F_{Ed} \cdot e = \\ = V_{Ed} \cdot L - H_{Ed} \cdot \frac{h}{2} \end{cases}$$

$$F_{v,x}^H = \frac{H_{Ed}}{M_b}$$

$$F_{v,y}^V = \frac{V_{Ed}}{M_b}$$

ROTAZIONE RIGIDA E PICCOLI SPOSTAMENTI



$$\Delta_i = \varphi \cdot l_i \Rightarrow F_i = k_i \cdot \Delta_i = k_i \cdot l_i \cdot \varphi$$

$$M_{Ed} = \sum_{i=1}^{M_b} F_i \cdot l_i = \left(\sum_{i=1}^{M_b} k_i \cdot l_i^2 \right) \cdot \varphi \Rightarrow \varphi = \frac{M_{Ed}}{\sum_{i=1}^{M_b} k_i \cdot l_i^2}$$

$$F_{v,i} = k_i \cdot l_i \cdot \varphi = M_{Ed} \cdot \frac{k_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^{M_b} k_i \cdot l_i^2} = M_{Ed} \cdot \frac{l_i}{\sum_{i=1}^{M_b} l_i^2}$$

$$\begin{cases} F_{v,x,i}^M = F_{v,i} \cdot \sin \alpha_i \\ F_{v,y,i}^M = F_{v,i} \cdot \cos \alpha_i \end{cases}$$

$$F_{v,i}^{tot} = \sqrt{(F_{v,x}^H + F_{v,x,i}^M)^2 + (F_{v,y}^V + F_{v,y,i}^M)^2} \leq F_{v,Rd}$$

UNIONI BULLONATE A TAGLIO E TRAZIONE

Calcolo sollecitazioni nei bulloni

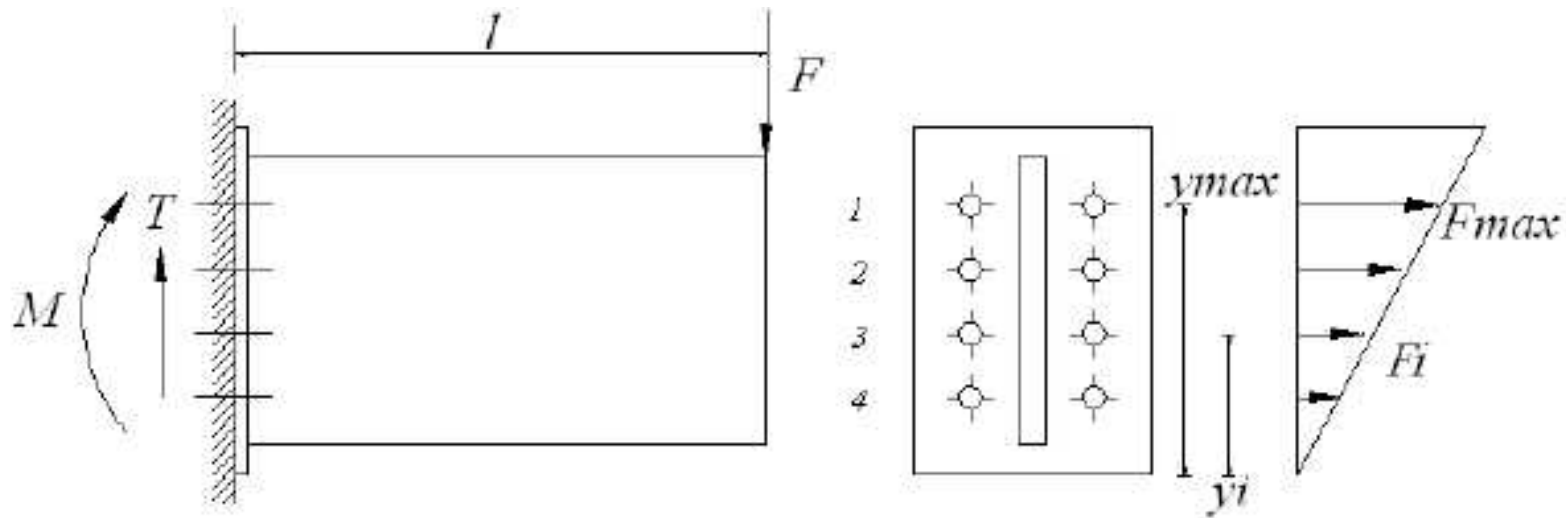


Fig.3.10: Giunto sollecitato da momento e taglio.

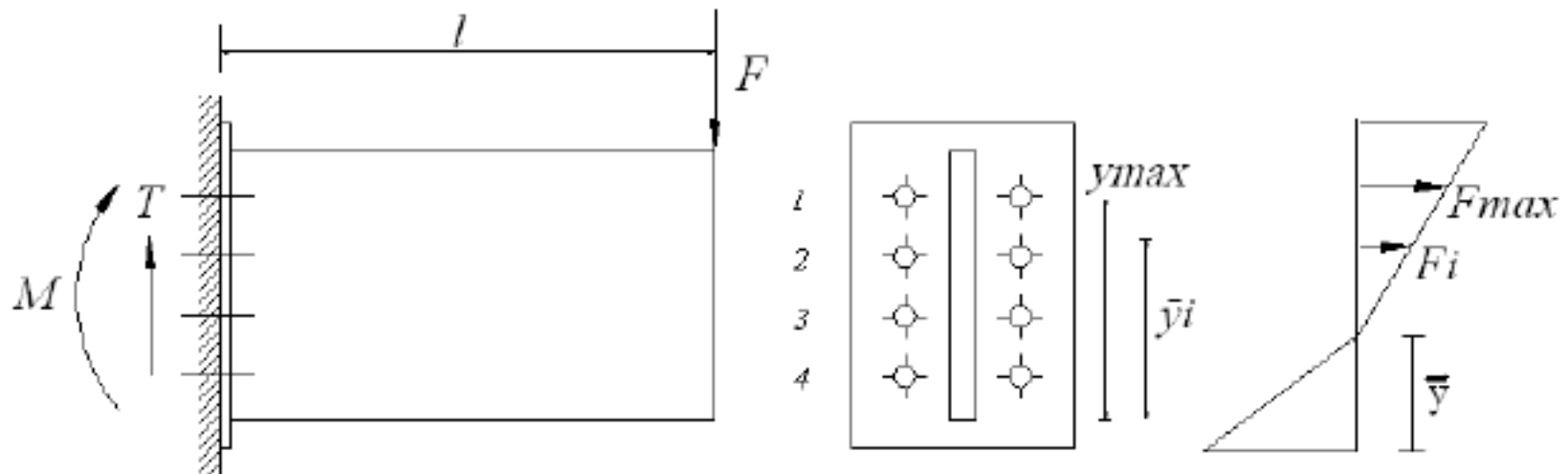


Fig.3.11: Flangia con zona compressa di dimensioni finite.