

6. Unioni bullonate

6.1 Tecnologia delle unioni bullonate

6.1.1 Classificazione dei bulloni

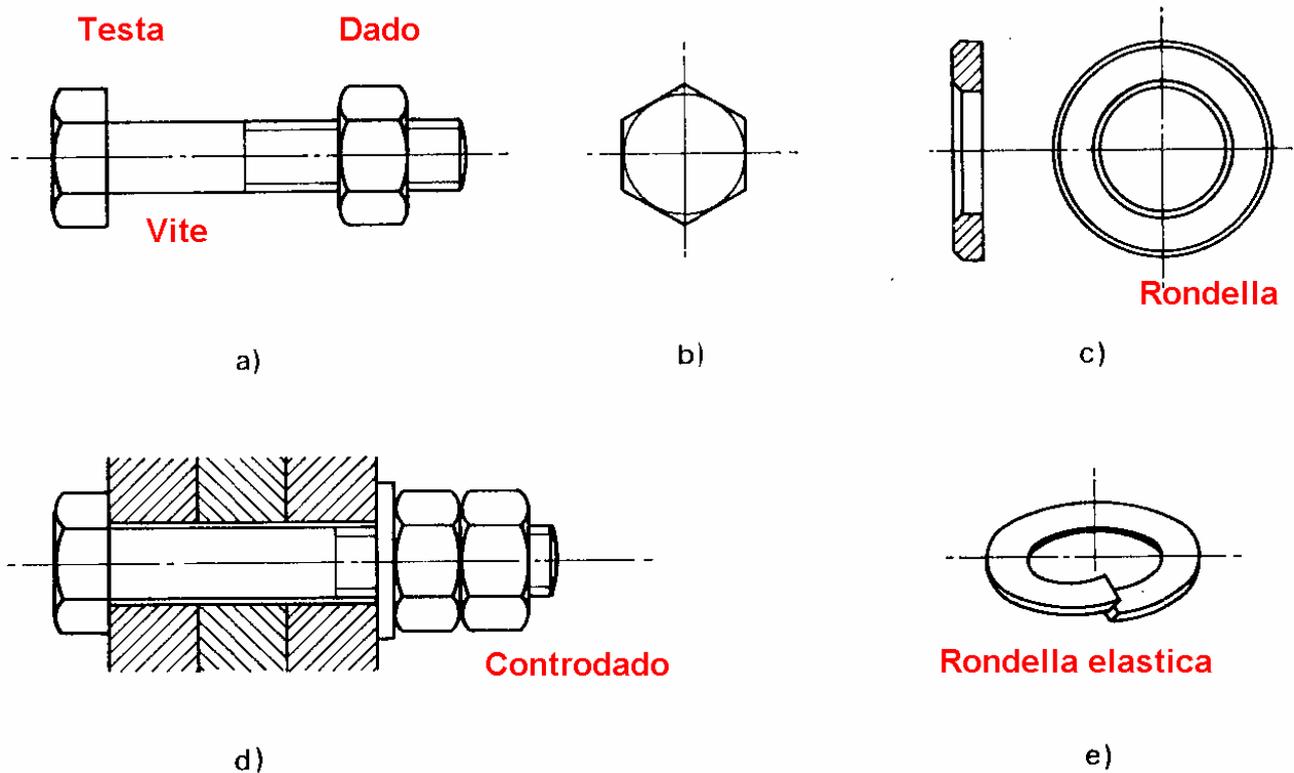


Fig. 6.1

2.5. Bulloni.

I bulloni normali [conformi per le caratteristiche dimensionali alle UNI 5727 (novembre 1988), UNI 5592 (dicembre 1968) e UNI 5591 (maggio 1965)] e quelli ad alta resistenza (conformi alle caratteristiche di cui al prospetto 4-II) devono appartenere alle sottoindicate classi delle UNI 3740, associate nel modo indicato nel prospetto 3-II.

PROSPETTO 3-II

	normali			ad alta resistenza	
Vite	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
Dado	4	5	6	8	10

Classificazione secondo D.M. 9-1-96

3.3.2. Bulloni, dadi e rosette

3.3.2.1. Generalità

- (1) Bulloni, dadi e rosette devono essere conformi alla "Norma di riferimento" 3: vedere all'appendice B.
- (2) Bulloni di classe minore di 4,6 o maggiore di 10,9 non devono essere utilizzati se non viene fatta dimostrazione, per via sperimentale, della loro accettabilità per una particolare applicazione.
- (3) I valori nominali della resistenza di snervamento f_{yb} e della resistenza a rottura per trazione f_{ub} (da impiegarsi quali valori caratteristici nei calcoli) sono dati nel prospetto 3.3.

Prospetto 3.3 - Valori nominali della resistenza allo snervamento f_{yb} e della resistenza a rottura per trazione f_{ub} per i bulloni

Classe del bullone	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8	8,8	10,9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Classificazione secondo EC3

N.B. Il primo numero $\times 100 = f_{ub}$ il secondo per il primo $= f_{yb}$
Esempio: 5.8 $\rightarrow f_{ub} = 500$ Mpa $f_{yb} = 500 \times 0.8 = 400$ Mpa

6.1.2 Geometria dei bulloni

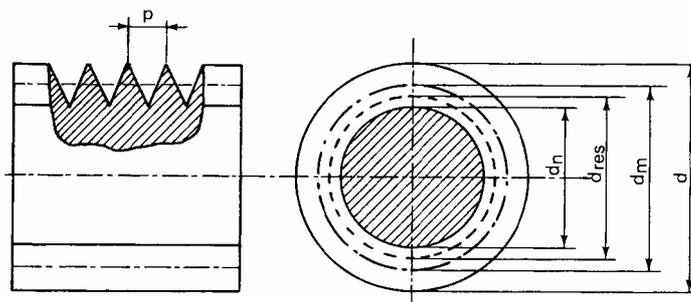


Fig. 6.5

p = passo della filettatura

d = diametro nominale del gambo

d_n = diametro del nocciolo

d_m = diametro medio

d_{res} = $(d_n + d_m)/2$ diametro della sezione resistente

A = $\pi d^2/4$ area della parte non filettata del gambo

A_{res} = $\pi d_{res}^2/4$ area resistente della parte filettata

Per filettature metriche a profilo triangolare (bulloneria "a passo grosso" usata in carpenteria e indicata con M es. bullone M20) si hanno i valori di tabella:

d	p	A _{res}	A	A _{res} /A	d	p	A _{res}	A	A _{res} /A
8	1.25	38.6	50.3	0.77	33	3.5	694	855	0.81
10	1.50	58.0	78.5	0.74	36	4.0	817	1018	0.80
12	1.75	84.3	113	0.75	39	4.0	976	1195	0.82
14	2.00	115	154	0.75	42	4.5	1120	1385	0.81
16	2.00	157	201	0.78	45	4.5	1310	1590	0.82
18	2.50	192	254	0.75	48	5.0	1470	1810	0.81
20	2.50	245	314	0.78	52	5.0	1760	2124	0.83
22	2.50	303	380	0.80	56	5.5	2030	2463	0.82
24	3.00	353	452	0.78	60	5.5	2360	2827	0.83
27	3.00	459	573	0.80	64	6.0	2680	3217	0.83
30	3.50	581	707	0.82	68	6.0	3060	3632	0.84

Fig. 6.6

Passo e area resistente

6.1.3 Tolleranze dei bulloni

Gioco foro-bullone:

$$\phi - d \leq 2 \text{ mm per } \phi \leq 24 \text{ mm}$$

$$\phi - d \leq 3 \text{ mm per } \phi > 24 \text{ mm}$$

Fori "calibrati": gioco = 0.1-0.2 mm

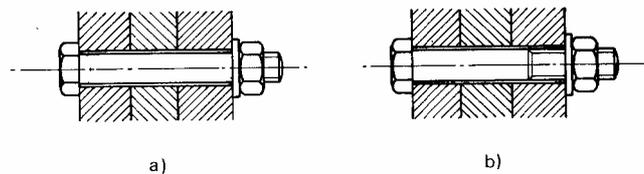


Fig. 6.7

a) la filettatura inizia nello spessore della rondella: si usa A

b) la filettatura inizia nello spessore delle piastre: si usa A_{res}

Punzonatura per $t < 25 \text{ mm}$ e $\phi > t$.

6.1.4 Interasse tra i fori

Da rispettare perché siano validi i metodi di calcolo basati sulla redistribuzione.

Valori minimi → resistenza e ingombro avvitatori

Valori massimi → compattezza per redistribuzione, instabilità piastre compresse, corrosione.

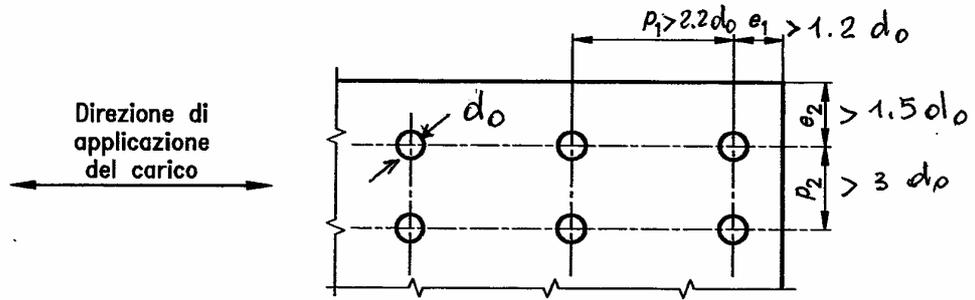


Fig. 6.5.1 - Simboli per la spaziatura dei dispositivi di giunzione

Per max resistenza a flessione: $e_1 > 3 d_o$ $p_1 > 3.75 d_o$

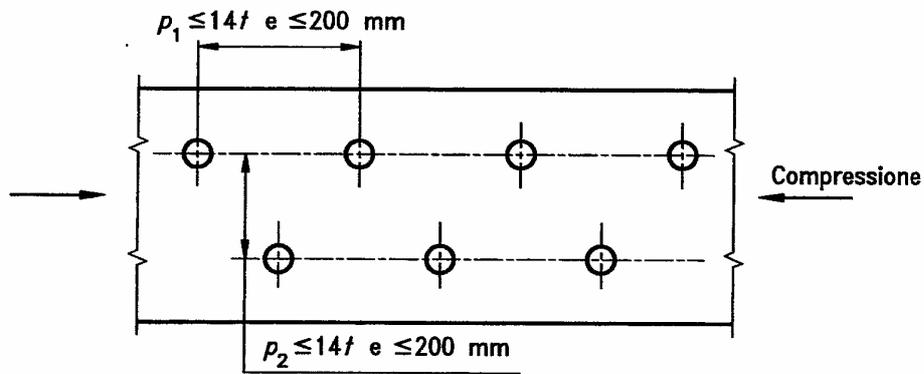


Fig. 6.5.2 - Spaziatura sfalsata - compressione

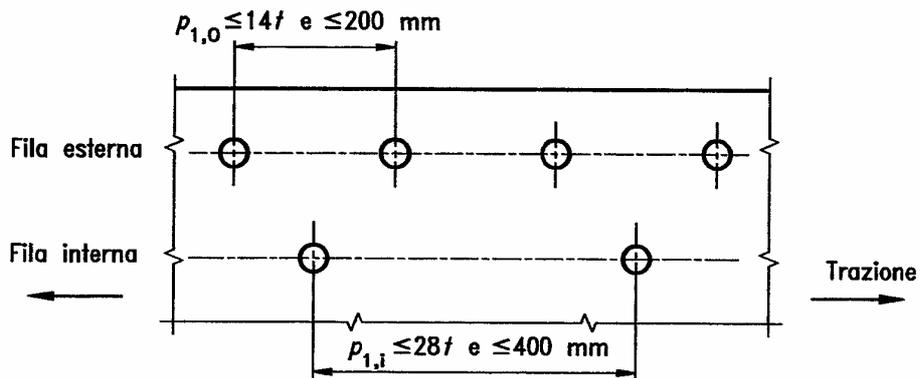


Fig. 6.5.3 - Spaziatura in componenti tesi

6.1.5 Serraggio

Il serraggio è benefico:

- ostacola lo scorrimento delle piastre (ripresa dei giochi)
- ostacola il distacco delle piastre nelle unioni a trazione

Il serraggio induce:

- pretrazione del bullone equilibrata dalla precompressione delle piastre
- torsione del bullone equilibrata dall'attrito

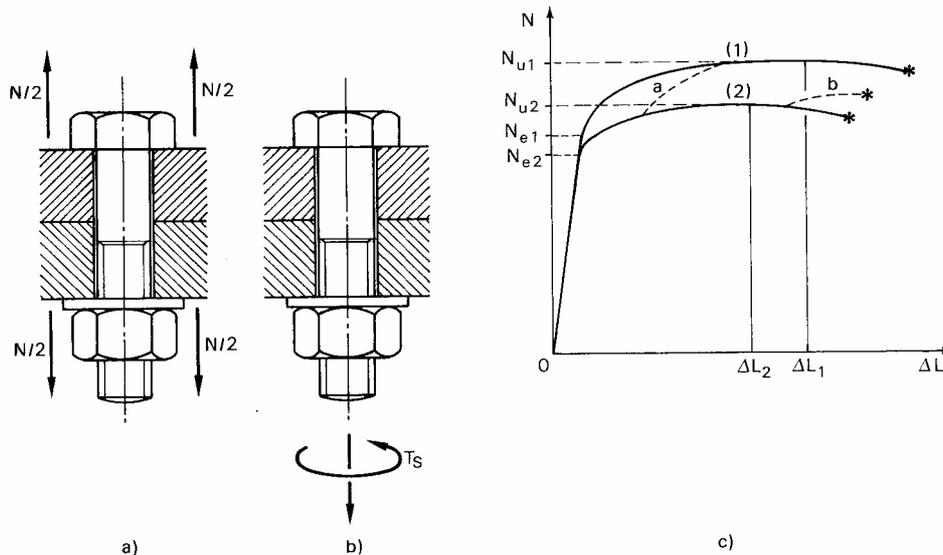


Fig. 6.9

Diagramma N-DL:

- curva 1): bullone non preteso (fig. a) al quale si applica la forza esterna N
- curva 2): diagramma durante l'applicazione del serraggio (fig. b)
- curva a): preserraggio controllato e successiva applicazione del carico esterno N
- curva b): preserraggio eccessivo

Il serraggio non diminuisce la resistenza ultima del bullone purché sia limitato e controllato.

Il serraggio dovrebbe indurre nel gambo del bullone una tensione pari a $0.8 f_y$, cioè una forza di trazione $N_S = 0.8 A_{res} f_y$. La coppia di serraggio varia con l'attrito e vale mediamente:

$$T_S = 0.2 N_S d$$

Serraggio con chiave dinamometrica

Non del tutto affidabile (variabilità attrito).

Per controllo svitare di circa 60° e riavvitare.

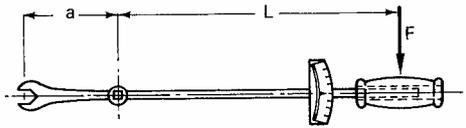


Fig. 6.10

d	T_s (N m)						N_s (kN)						d
	4.6	5.6	6.6	8.8	10.9	12.9	4.6	5.6	6.6	8.8	10.9	12.9	
10	19	26	31	51	64	76	10	13	16	26	32	38	10
12	33	44	54	89	110	132	14	18	23	37	46	55	12
14	53	71	86	142	176	211	19	25	31	51	63	75	14
16	82	111	135	221	275	330	26	35	42	69	86	103	16
18	113	152	185	304	379	453	31	42	51	84	105	126	18
20	161	216	263	431	537	643	40	54	66	108	134	161	20
22	219	293	357	587	731	875	50	67	81	133	166	199	22
24	278	373	454	746	929	1112	58	78	95	155	193	232	24
27	406	545	664	1091	1358	1626	75	101	123	202	252	301	27
30	572	767	934	1534	1910	2287	95	128	156	256	318	381	30
33	751	1008	1228	2015	2510	3005	114	153	186	305	380	455	33
36	965	1294	1576	2588	3224	3859	134	180	219	359	448	536	36
39	1248	1675	2040	3350	4172	4994	160	215	262	429	535	640	39

Fig. 6.11

Coppie di serraggio

Serraggio con controllo della rotazione del dado

Serrare fino a contatto lamiera, poi imporre una rotazione del dado di 90-120°

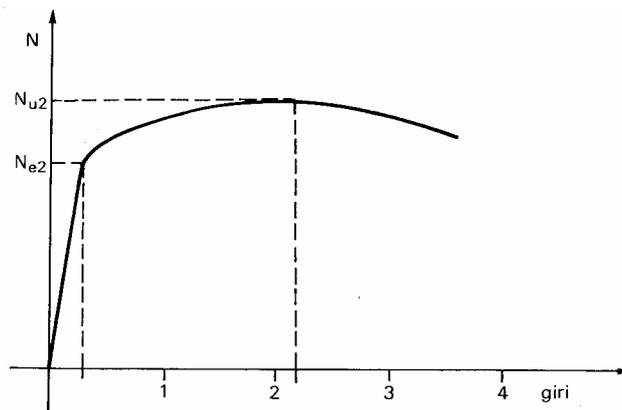


Fig. 6.12

6.2 Resistenza dell'unione bullonata

- a) unioni a taglio
- b) unioni a trazione
- c) azioni combinate

6.2.1 Unioni a taglio



Fig. 6.13

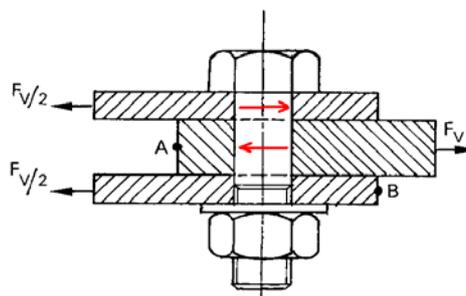


Fig. 6.14

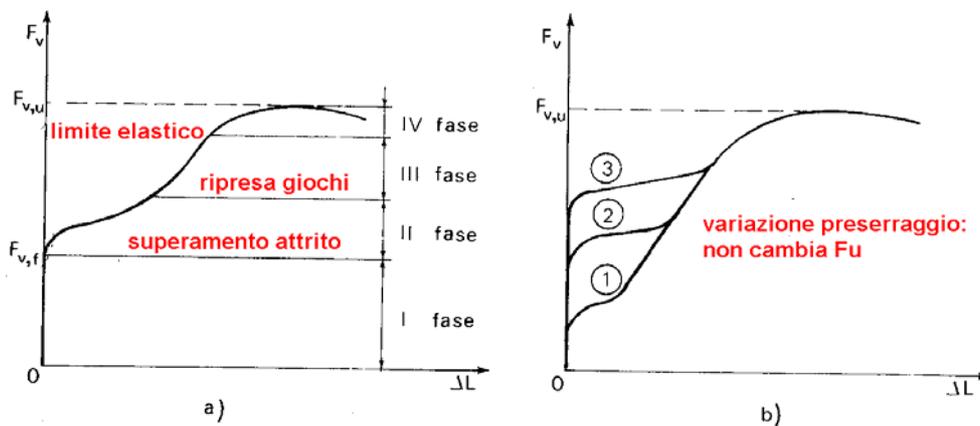


Fig. 6.15

6.2.1.1 Stato limite di servizio

Normalmente si controlla che non sia superata la resistenza per attrito (bulloni 8.8 e 10.9)

6.5.8. Bulloni ad alta resistenza nei collegamenti ad attrito

6.5.8.1. Resistenza allo scorrimento

- (1) La resistenza di progetto allo scorrimento di un bullone ad alta resistenza precaricato deve essere assunta pari a:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{Ms}} F_{p,Cd} \quad [6.7]$$

dove: $F_{p,Cd}$ è la forza di progetto di precarico definita in 6.5.8.2;

μ è il coefficiente di attrito, vedere 6.5.8.3;

n è il numero delle superfici di scorrimento.

- (2) Il valore di k_s deve essere determinato come segue:

◇ quando i fori in tutti i piatti hanno gioco foro-bullone "normale", come specificato in 7.5.2(1):

$$k_s = 1,0$$

◇ per fori maggiorati, come specificato in 7.5.2(6), o per fori ad asola corta, come specificato in 7.5.2(9):

$$k_s = 0,85$$

◇ per fori ad asola lunga, come specificato in 7.5.2(10):

$$k_s = 0,7$$

- (3) Per bulloni disposti in fori aventi il gioco foro-bullone "normale" e per bulloni in fori asolati con l'asse dell'asola perpendicolare alla direzione di applicazione del carico, il coefficiente parziale di sicurezza γ_{Ms} per la resistenza allo scorrimento deve essere preso pari a:

$$\gamma_{Ms,ult} = 1,25 \text{ per lo stato limite ultimo;}$$

$$\gamma_{Ms,ser} = 1,10 \text{ per lo stato limite di servizio.}$$

- (4) I collegamenti con bulloni in fori maggiorati o in fori asolati con l'asse dell'asola parallelo alla direzione di applicazione del carico devono essere calcolati come appartenenti alla categoria C, resistenti allo scorrimento allo stato limite ultimo.

In questo caso il coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza allo scorrimento deve essere preso pari a:

$$\gamma_{Ms,ult} = 1,40$$

6.5.8.3. Coefficiente di attrito

(1) Il valore di progetto del coefficiente di attrito μ dipende dalla classe del trattamento superficiale specificata come indicato nella "Norma di riferimento" 8. Il valore di μ deve essere preso come segue:

$\mu = 0,50$ per superfici di classe A;

$\mu = 0,40$ per superfici di classe B;

$\mu = 0,30$ per superfici di classe C;

$\mu = 0,20$ per superfici di classe D.

(2) La classificazione di ogni trattamento superficiale deve essere basata su prove su campioni rappresentativi delle superfici impiegate nella struttura, utilizzando la procedura descritta nella "Norma di riferimento" 8.

(3) Qualora le superfici di contatto siano state trattate in conformità alla "Norma di riferimento" 8, i seguenti trattamenti superficiali possono essere classificati senza ulteriore sperimentazione.

Nella classe A: - superfici sabbiolate meccanicamente o a graniglia, esenti da incrostazioni di ruggine e da vaiolature;

- superfici sabbiolate meccanicamente o a graniglia e metallizzate a spruzzo con alluminio;

- superfici sabbiolate meccanicamente o a graniglia e metallizzate a spruzzo con una vernice a base di zinco certificata per assicurare un coefficiente di attrito non minore di 0,5.

Nella classe B: - superfici sabbiolate meccanicamente o a graniglia e verniciate con silicato di zinco alcalino applicando uno spessore dello strato di 50-80 μm .

Nella classe C: - superfici pulite mediante spazzolatura o alla fiamma, esenti da incrostazioni di ruggine.

Nella classe D: - superfici non trattate.

6.2.1.2 Stato limite ultimo

- rottura per taglio del bullone (fig. a)
- rottura per rifollamento della lamiera (fig. b)
- rottura per taglio della lamiera (fig. c)
- rottura per trazione della lamiera (fig. d)

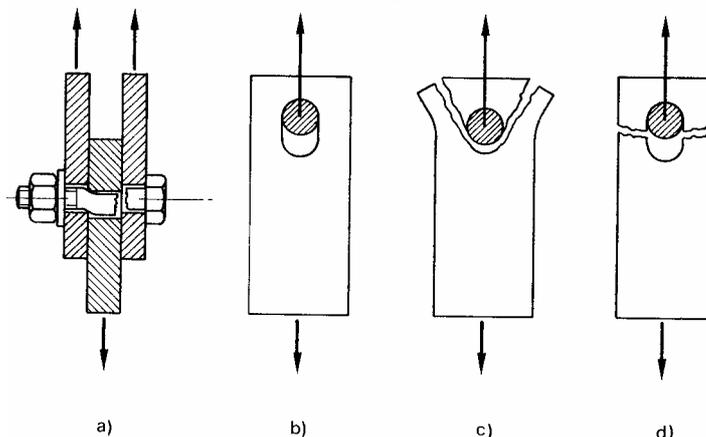


Fig. 6.19

Per evitare rotture fragili (fig a) in strutture iperstatiche è preferibile il comportamento b)

pag. 144 UNI ENV 1993-1-1

Prospetto 6.5.2 - Categorie di collegamenti bullonati

Collegamenti sollecitati a taglio		
Categoria	Criterio	Note
A	$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$	Non è richiesto precarico.
A taglio	$F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$	Tutte le classi da 4.6 a 10.9.
B	$F_{v,Sd,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$	Bulloni ad alta resistenza precaricati.
Ad attrito resistente allo stato limite di servizio	$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$	Assenza di scorrimento allo stato limite di servizio.
	$F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$	
C	$F_{v,Sd} \leq F_{vs,Rd}$	Bulloni ad alta resistenza precaricati.
Ad attrito resistente allo stato limite ultimo	$F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$	Assenza di scorrimento allo stato limite ultimo.
Collegamenti caricati a trazione		
Categoria	Criterio	Note
D	$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$	Non è richiesto precarico.
Non precaricati		Tutte le classi da 4.6 a 10.9.
E	$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$	Bulloni ad alta resistenza precaricati.
Precaricati		
<p>Simbologia:</p> <p>$F_{v,Sd,ser}$ = Forza di progetto a taglio per ogni bullone allo stato limite di servizio</p> <p>$F_{v,Sd}$ = Forza di progetto a taglio per ogni bullone allo stato limite ultimo</p> <p>$F_{v,Rd}$ = Resistenza di progetto a taglio di un bullone</p> <p>$F_{b,Rd}$ = Resistenza di progetto a rifollamento di un bullone</p> <p>$F_{s,Rd,ser}$ = Resistenza di progetto allo scorrimento di un bullone allo stato limite di servizio</p> <p>$F_{s,Rd}$ = Resistenza di progetto allo scorrimento di un bullone allo stato limite ultimo</p> <p>$F_{t,Sd}$ = Forza di progetto a trazione per ogni bullone allo stato limite ultimo</p> <p>$F_{t,Rd}$ = Resistenza di progetto a trazione di un bullone</p>		

Prospetto 6.5.3 - Resistenza di progetto dei bulloni

Resistenza a taglio per piano di taglio:

se il piano di taglio passa attraverso la porzione filettata del bullone:

◇ per classi di resistenza 4.6, 5.6 e 8.8:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}}$$

◇ per classi di resistenza 4.8, 5.8 e 10.9: **6.8**

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}}$$

se il piano di taglio passa attraverso la porzione non filettata del bullone:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A}{\gamma_{Mb}}$$

Resistenza a rifollamento: *)

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{Mb}}$$

dove: α è il minore fra:

$$\frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0}, \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u} \text{ oppure } 1,0$$

Resistenza a trazione:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}}$$

- A è l'area della sezione lorda del bullone;
- A_s è l'area sollecitata a trazione del bullone;
- d è il diametro del bullone;
- d₀ è il diametro del foro.

*) Vedere pure il prospetto 6.5.4 per i valori della resistenza di progetto a rifollamento basati sul diametro del bullone.

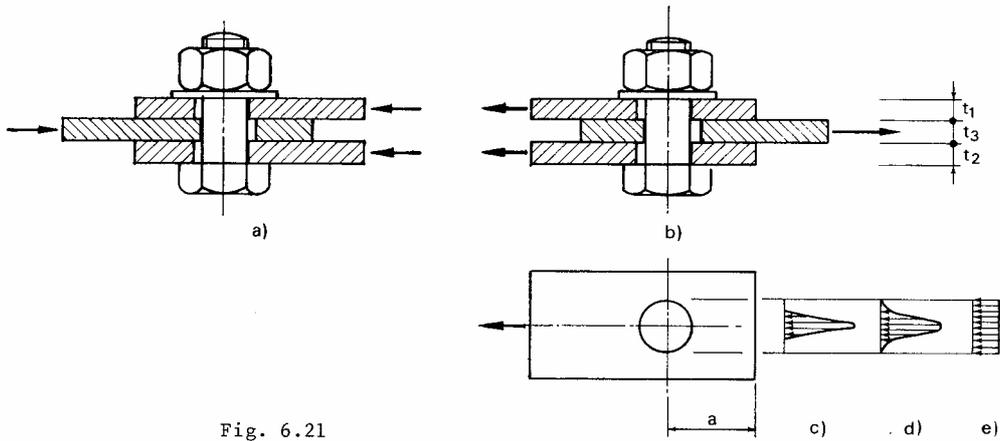


Fig. 6.21

Rifollamento

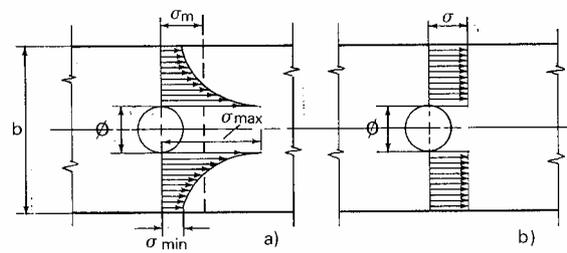


Fig. 6.23

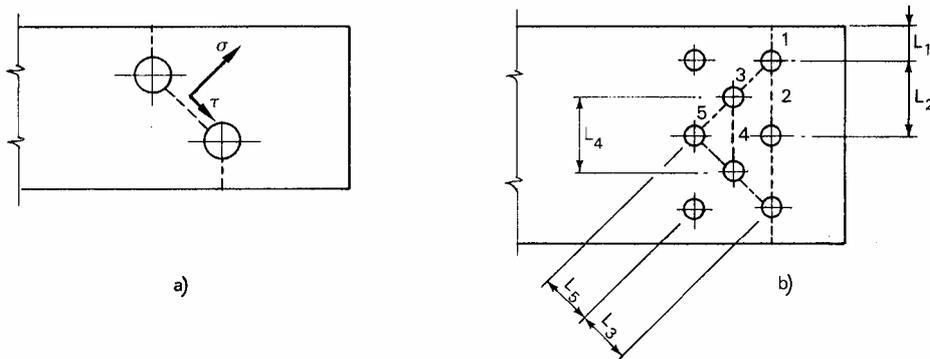


Fig. 6.24

Trazione della lamiera (rottura sezione netta)

Per la resistenza delle sezioni nette vedi Lezione 07

6.2.2 Unioni a trazione

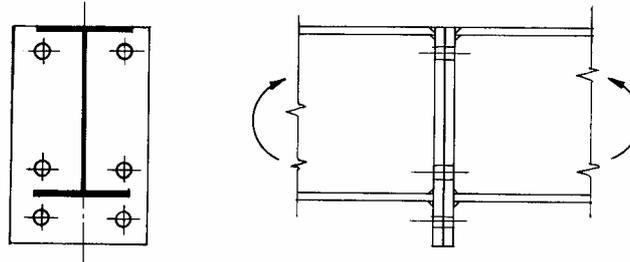


Fig. 6.26

Il precarico del bullone non varia la sua resistenza ultima. Infatti dopo il distacco delle lamiere il bullone è soggetto alla sola forza esterna F_N .

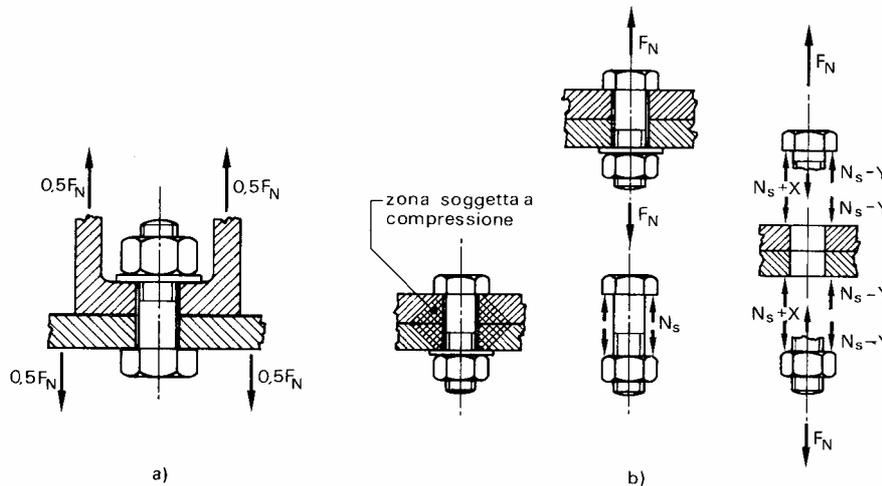


Fig. 6.27

Prima del distacco delle lamiere, la forza esterna F_N determina un incremento X del tiro nel gambo e una diminuzione Y della compressione nelle lamiere.

$$F_N = X + Y$$

Il bullone si allunga di ΔL_b

$$\Delta L_b = X / K_b \quad \text{con} \quad K_b = E A_b / L_b$$

Le lamiere si allungano di ΔL_L

$$\Delta L_L = Y / K_L \quad \text{con} \quad K_L > 10 K_b$$

Essendo $\Delta L_L = \Delta L_b$ si ha:

$$Y = (K_L / K_b) X > 10 X$$

Si ha quindi:

$$X = F_N - Y = F_N - 10 X \quad \rightarrow \quad X < F_N / 11 \quad \rightarrow \quad Y > 10/11 F_N$$

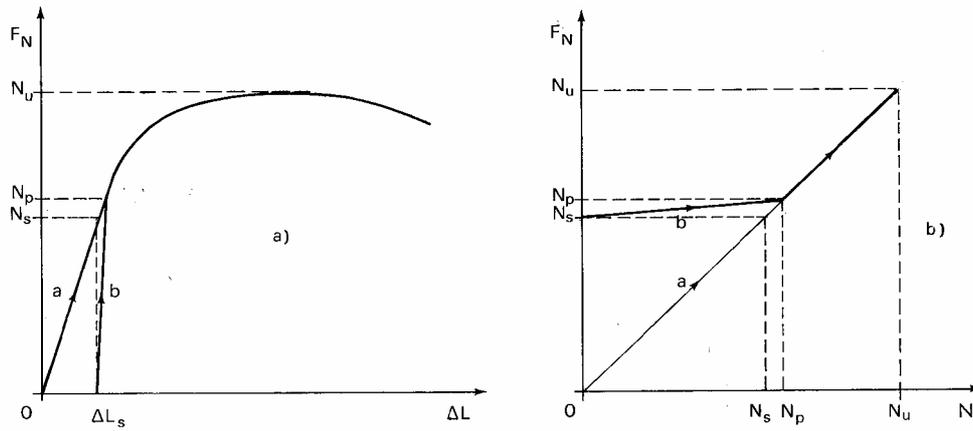


Fig. 6.28

Comportamento bullone a) non precaricato b) precaricato

6.2.2.1 Stato limite di servizio

Controllare, se necessario, la decompressione.

6.2.2.1 Stato limite ultimo

Vedi EC3. Tener conto dell'effetto leva.

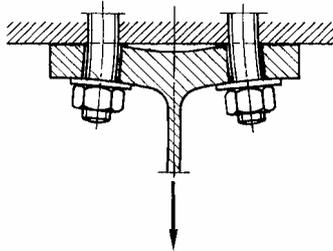


Fig. 6.29

Verifica per strappo della lamiera (raramente per lamiere sottili)

- (4) La resistenza di progetto a trazione del complesso bullone-piatto $B_{t,Rd}$ deve essere assunta pari al valore minore fra la resistenza di progetto a trazione $F_{t,Rd}$ indicata nel prospetto 6.5.3 e la resistenza di progetto $B_{p,Rd}$ a punzonamento della testa del bullone e del dado, ottenuta dall'equazione:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{Mb} \quad [6.5]$$

dove: t_p è lo spessore del piatto sotto la testa del bullone o del dado;

d_m è il valore minore fra il valore medio della distanza misurata fra i punti e fra le superfici piane della testa del bullone oppure del dado.

6.2.3 Unioni a trazione e taglio

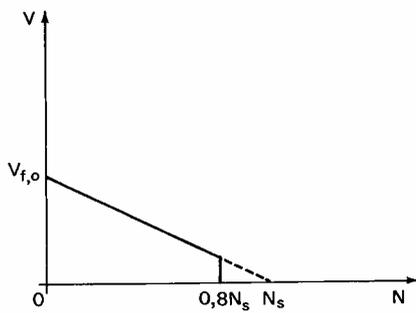


Fig. 6.31

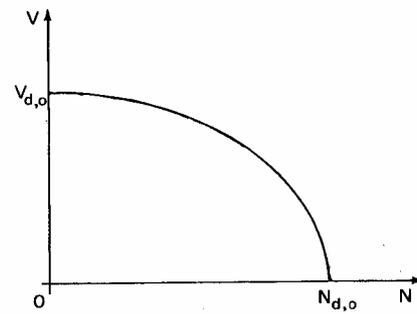


Fig. 6.32

6.2.3.1 Stato limite di servizio

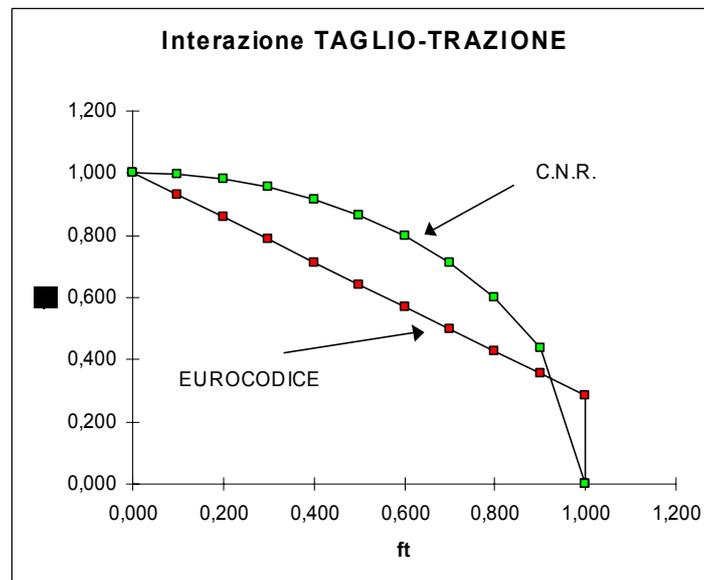
Il taglio trasmissibile per attrito diminuisce con la trazione esterna (fig 6.31)

6.2.3.2 Stato limite ultimo

Varie formule di interazione

Ellisse CNR 10011 (Fig. 6.32):
$$\left(\frac{V}{V_{do}}\right)^2 + \left(\frac{N}{N_{do}}\right)^2 \leq 1$$

EC3
$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1.4F_{t,Rd}} \leq 1.0$$



(5) I bulloni soggetti alla combinazione di taglio e trazione devono inoltre soddisfare la seguente equazione:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

[6.6]

6.3 Effetti delle caratteristiche di sollecitazione e verifiche

6.3.1 Metodi di verifica

Metodi elastici

Metodi plastici

6.5.4. Distribuzione delle forze fra i dispositivi di giunzione

- (1) La distribuzione delle forze interne fra i dispositivi di giunzione allo stato limite ultimo deve essere proporzionale alla distanza dal centro di rotazione [vedere la fig. 6.5.7(a)] nei seguenti casi:
 - ◊ collegamenti resistenti ad attrito di categoria C;
 - ◊ altri collegamenti a taglio dove la resistenza di progetto a taglio $F_{v,Rd}$ di un dispositivo di giunzione è inferiore alla resistenza di progetto a rifollamento $F_{b,Rd}$.
- (2) Negli altri casi la distribuzione delle forze interne fra i dispositivi di giunzione allo stato limite ultimo può essere o come indicato in (1) o altrimenti plastica: vedere la fig. 6.5.7. Può essere ipotizzata ogni ragionevole distribuzione purché essa soddisfi i requisiti indicati in 6.1.4.
- (3) In un giunto a sovrapposizione, si deve assumere per ciascun dispositivo di giunzione la stessa resistenza al rifollamento in ogni particolare direzione.

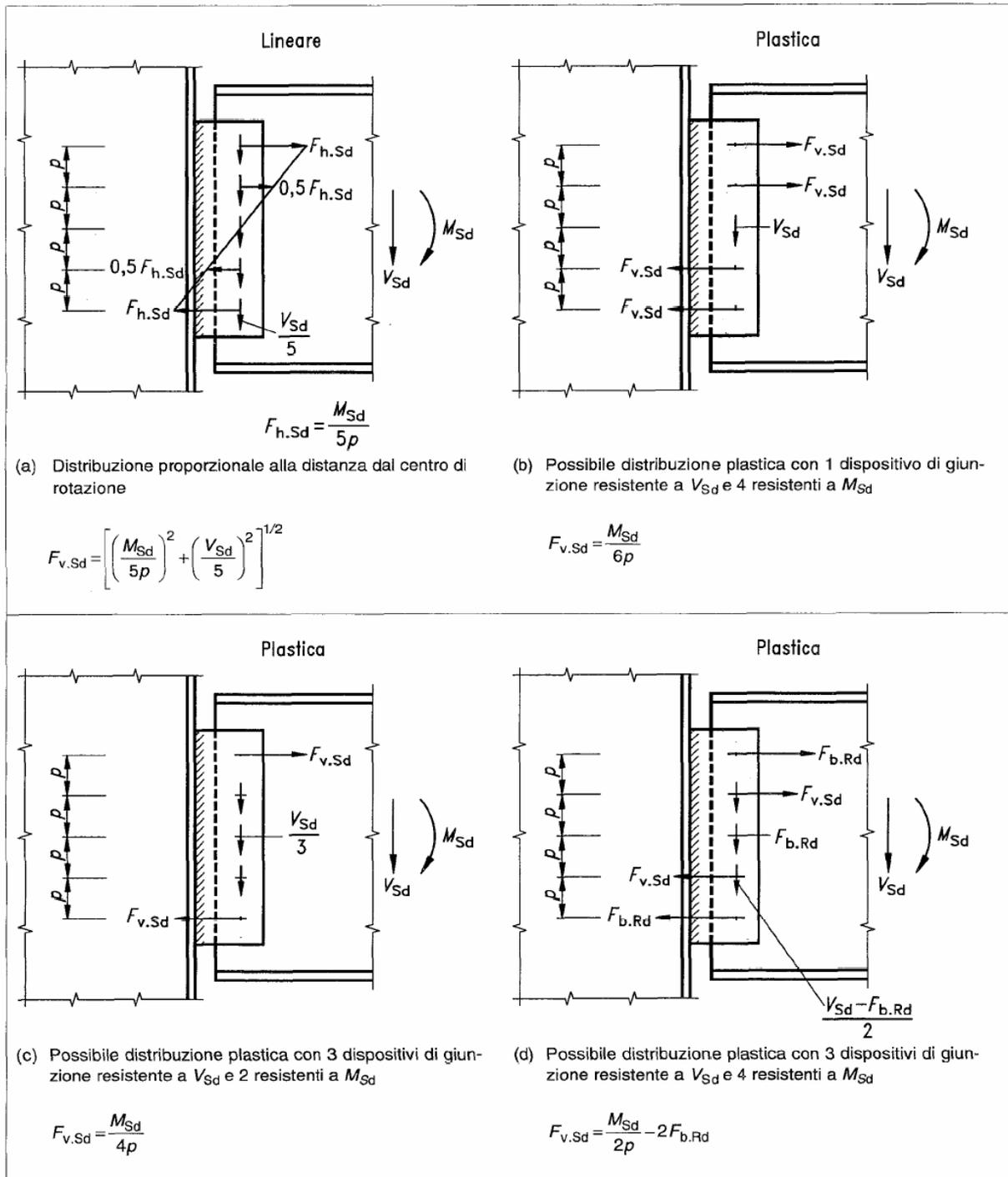


Fig. 6.5.7 - Distribuzione delle forze fra i dispositivi di giunzione

- Fig. (a): $M_{Sd} = F_{h,Sd} \cdot 4p + F_{h,Sd}/2 \cdot 2p \rightarrow F_{h,Sd} = M_{Sd}/5p$
 Il bullone più esterno è soggetto anche alla forza verticale $V_{Sd}/5$ e quindi alla risultante inclinata $F_{v,Sd}$ indicata dalla formula.
- Fig. (b): Oltre ai bulloni esterni va verificato il bullone centrale soggetto a V_{Sd}

Fig. (c): Oltre ai bulloni esterni vanno verificato i bulloni centrali soggetti a $V_{Sd}/3$

Fig. (d): I bulloni più esterni lavorano alla massima resistenza $F_{b,Rd}$. I bulloni della seconda fila devono quindi portare la quota residua di M_{Sd} :

$$M_{Sd} = F_{b,Rd} \cdot 4p + F_{v,Sd} \cdot 2p \rightarrow F_{v,Sd} = M_{Sd} / (2p) - F_{b,Rd} \cdot 4$$

e sono inoltre soggetti alla quota di taglio $(V_{Sd} - F_{b,Rd})/2$ che non è portata dal bullone centrale.

Le unioni bullonate possono essere sollecitate in due modi diversi:

- sollecitazione di taglio e torsione che agisce nel piano della lamiera impegnando a taglio i gambi (Fig. a)
- sollecitazione assiale e flettente che agisce in un piano parallelo al gambo impegnandolo a trazione (Fig. b)

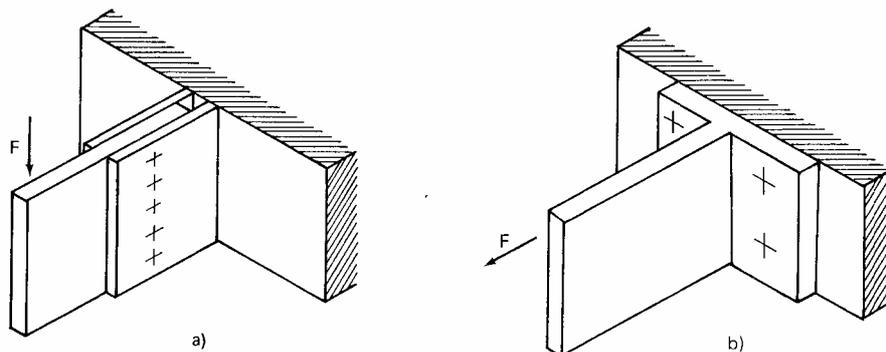


Fig. 6.35

6.3.2 Sollecitazione di taglio e torsione

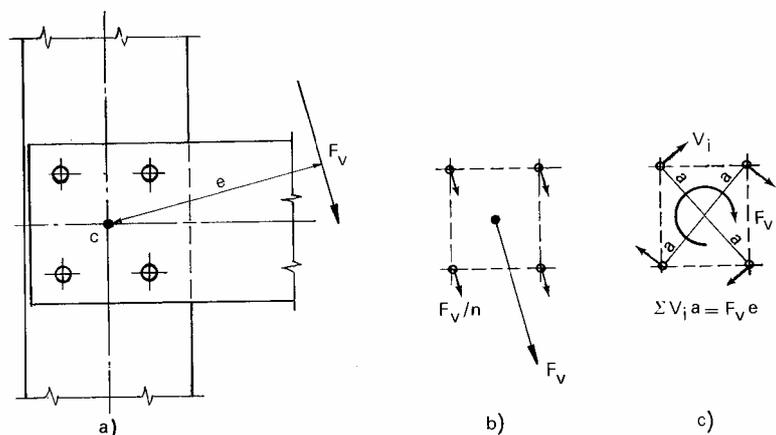


Fig. 6.36

Si possono mutuare i metodi esposti per le saldature.

- Metodo del momento di inerzia polare

Si trasporta la forza F_v nel baricentro della bullonatura; il taglio impegna in egual misura tutti i bulloni, mentre il momento torcente ($T = F_v \cdot e$) impegna i bulloni proporzionalmente alla distanza dal baricentro.

- Metodo delle due forze

Il nome è improprio; si dividono i compiti come illustrato nel prospetto dell'EC3 sopra riportato. Nel caso di Fig. 6.36 è evidente che non conviene dividere i compiti.

6.3.3 Sollecitazione di trazione e flessione

La ripartizione delle sollecitazioni dipende dalla rigidità della flangia.

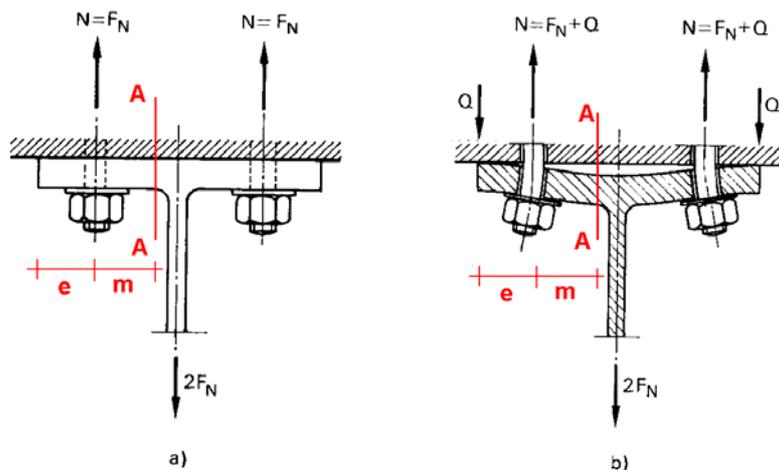


Fig. 6.40

a) $M_A = F_N \cdot m$

b) $M_A = (F_N + Q) \cdot m - Q(e + m) = F_N \cdot m - Q \cdot e$

Nel caso b) i bulloni sono più sollecitati e la flangia è meno sollecitata. In entrambi i casi è opportuno che la resistenza dei bulloni sia superiore a quella della flangia per evitare rotture fragili.

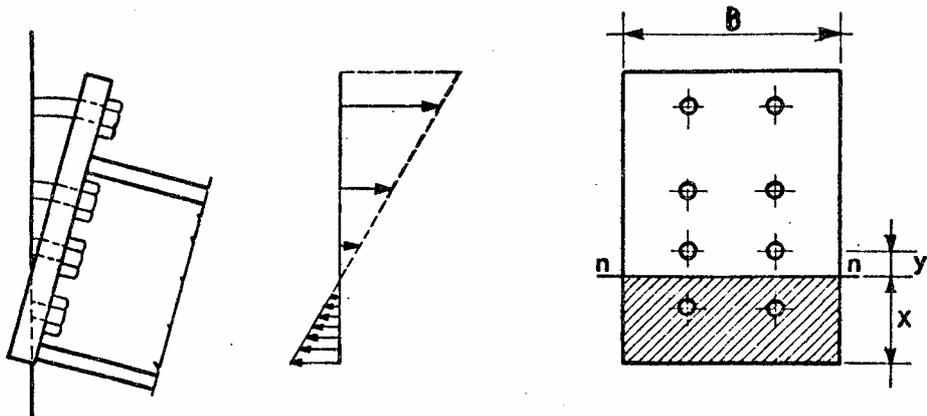
6.5.9. Forze per effetto leva

- (1) Quando i dispositivi di giunzione devono sopportare una forza di trazione, il loro dimensionamento deve essere tale da poter resistere anche alla forza addizionale dovuta all'effetto leva, qualora ciò si verifichi: vedere fig. 6.5.8.
- (2) Le forze per effetto leva dipendono dalla rigidità reciproca e dalle proporzioni geometriche delle parti costituenti il collegamento: vedere la fig. 6.5.9.
- (3) Qualora nel progetto delle parti si tenga conto del vantaggio risultante dalla forza per effetto leva, allora tale forza per effetto leva deve essere determinata attraverso un'adeguata analisi analoga a quella incorporata nelle regole applicative fornite nell'appendice J per i collegamenti trave-colonna.

Calcolo elastico

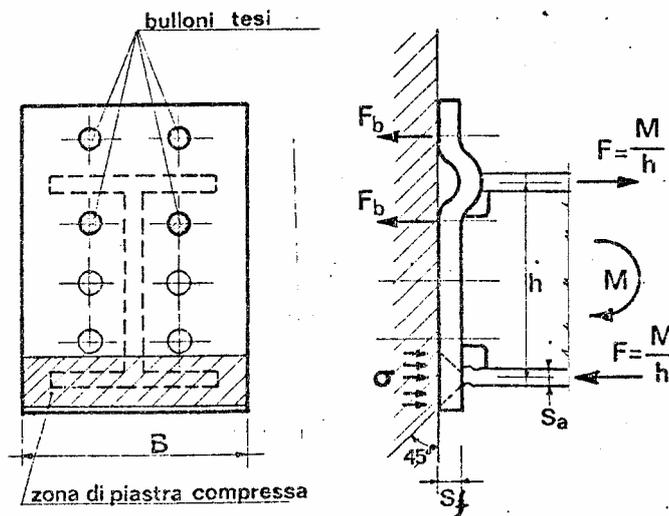
Si considera la flangia infinitamente rigida (conservazione delle sezioni piane). Il calcolo delle tensioni nei bulloni è analogo al calcolo delle tensioni nelle barre di una sezione in c.a., ponendo $n=1$.

Si deve verificare anche la flangia soggetta alla flessione indotta dalle forze trasmesse dai bulloni e dalle pressioni di contatto.



Calcolo plastico

In presenza di flessione semplice si affida M alle ali e V all'anima. I bulloni vicini alle ali portano il tiro $F=M/h$, gli altri bulloni portano il taglio.



Metodi di calcolo più sofisticati verranno illustrati per i giunti trave-colonna.

6.5.2.2. Resistenza di progetto a rottura per taglio

(1) Il meccanismo di collasso "block shear" in una serie di fori per dispositivi di giunzione vicini all'estremità dell'anima di una trave o di una squadretta (vedere fig. 6.5.5) deve essere prevenuto mediante un'opportuna spaziatura dei fori. Questo tipo di collasso consiste generalmente in una rottura a trazione, lungo la linea dei fori, sulla superficie tensionata del gruppo di fori e in uno snervamento a taglio nella sezione lorda, in corrispondenza della fila di fori, lungo la faccia sollecitata a taglio dei fori stessi (vedere fig. 6.5.5).

(2) Il valore di progetto $V_{\text{eff.Rd}}$ della resistenza effettiva a rottura per meccanismo tipo "block shear" deve essere assunta pari a:

$$V_{\text{eff.Rd}} = \left(f_y / \sqrt{3} \right) A_{\text{v,eff}} / \gamma_{\text{M0}} \quad [6.1]$$

dove: $A_{\text{v,eff}}$ è l'area efficace a taglio nel meccanismo "block shear".

(3) L'area efficace a taglio nel meccanismo "block shear" $A_{\text{v,eff}}$ deve essere determinata nel modo seguente:

$$A_{\text{v,eff}} = t \cdot L_{\text{v,eff}}$$

dove: $L_{\text{v,eff}} = L_v + L_1 + L_2$ con la limitazione $L_{\text{v,eff}} \leq L_3$

nella quale:

$$L_1 = a_1 \quad \text{con la limitazione} \quad L_1 \leq 5 \cdot d$$

$$L_2 = (a_2 - k d_{0,t}) (f_u / f_y)$$

$$L_3 = L_v + a_1 + a_3 \quad \text{con la limitazione} \quad L_3 \leq (L_v + a_1 + a_3 - n d_{0,v}) (f_u / f_y)$$

dove: a_1, a_2, a_3 e L_v sono indicate in fig. 6.5.5;

d è il diametro nominale del dispositivo di giunzione;

$d_{0,t}$ è la larghezza della superficie trazionata del foro, in genere il suo diametro, ma per fori asolati orizzontali si deve considerare la lunghezza dell'asola;

$d_{0,v}$ è la larghezza della superficie del foro soggetta a taglio, in genere il diametro del foro, ma per fori asolati verticali si deve considerare la lunghezza dell'asola;

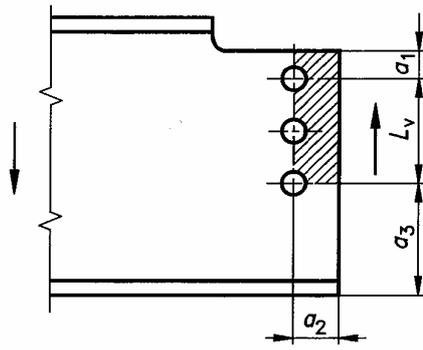
n è il numero dei fori per dispositivi di giunzione nella superficie soggetta a taglio

t è lo spessore dell'anima o della squadretta;

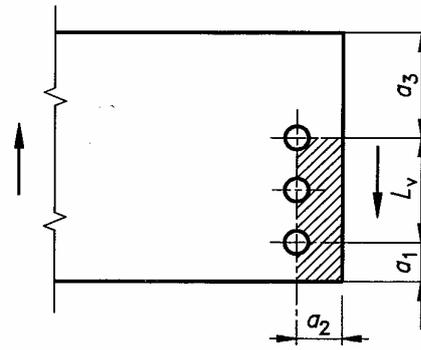
k è un coefficiente con i seguenti valori:

◇ per una fila di bulloni: $k = 0,5$;

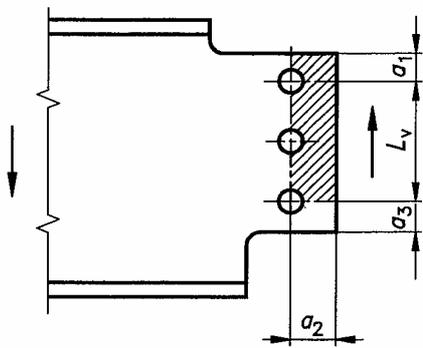
◇ per due file di bulloni: $k = 2,5$.



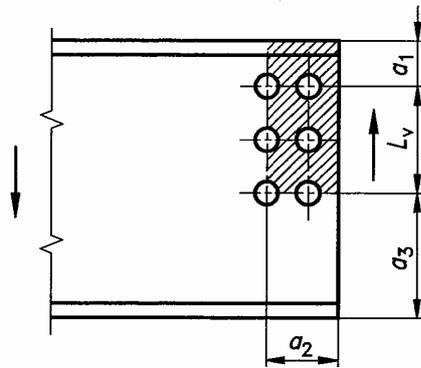
Estremità morsesata



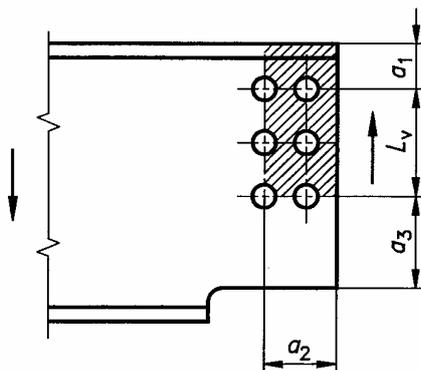
Estremità semplice



Estremità con doppia morsesatura



Estremità semplice



Estremità morsesata

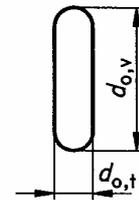
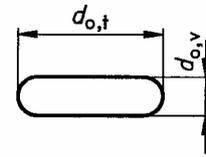
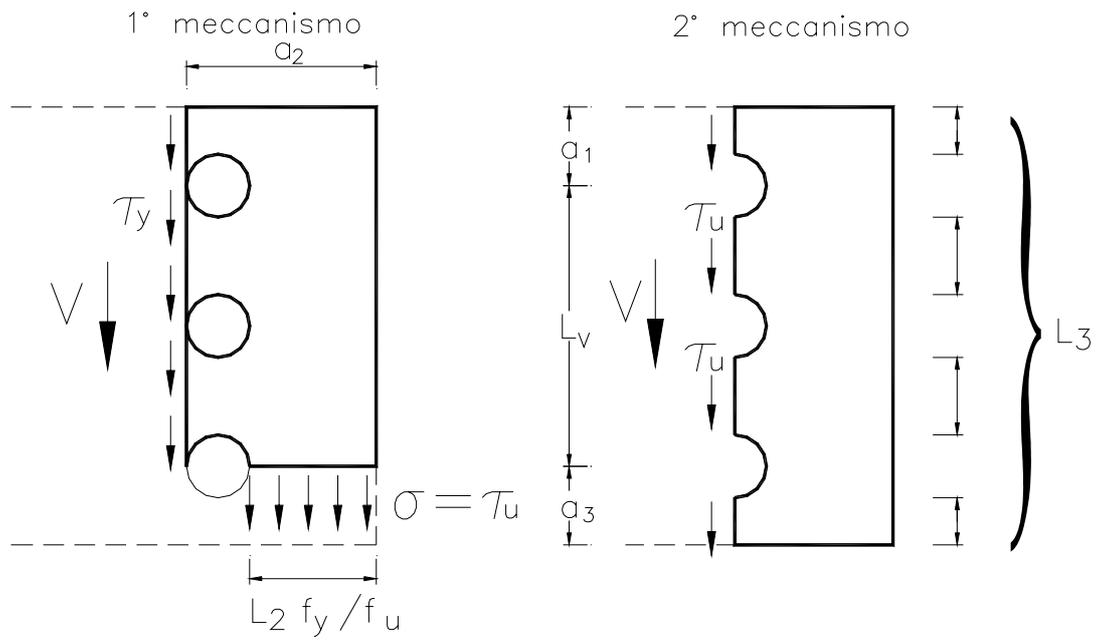


Fig. 6.5.5 - Area efficace a taglio nel meccanismo "block shear"



Meccanismo "block shear"