

Unioni bullonate

1 Tecnologia delle unioni bullonate

1.1 Classificazione dei bulloni

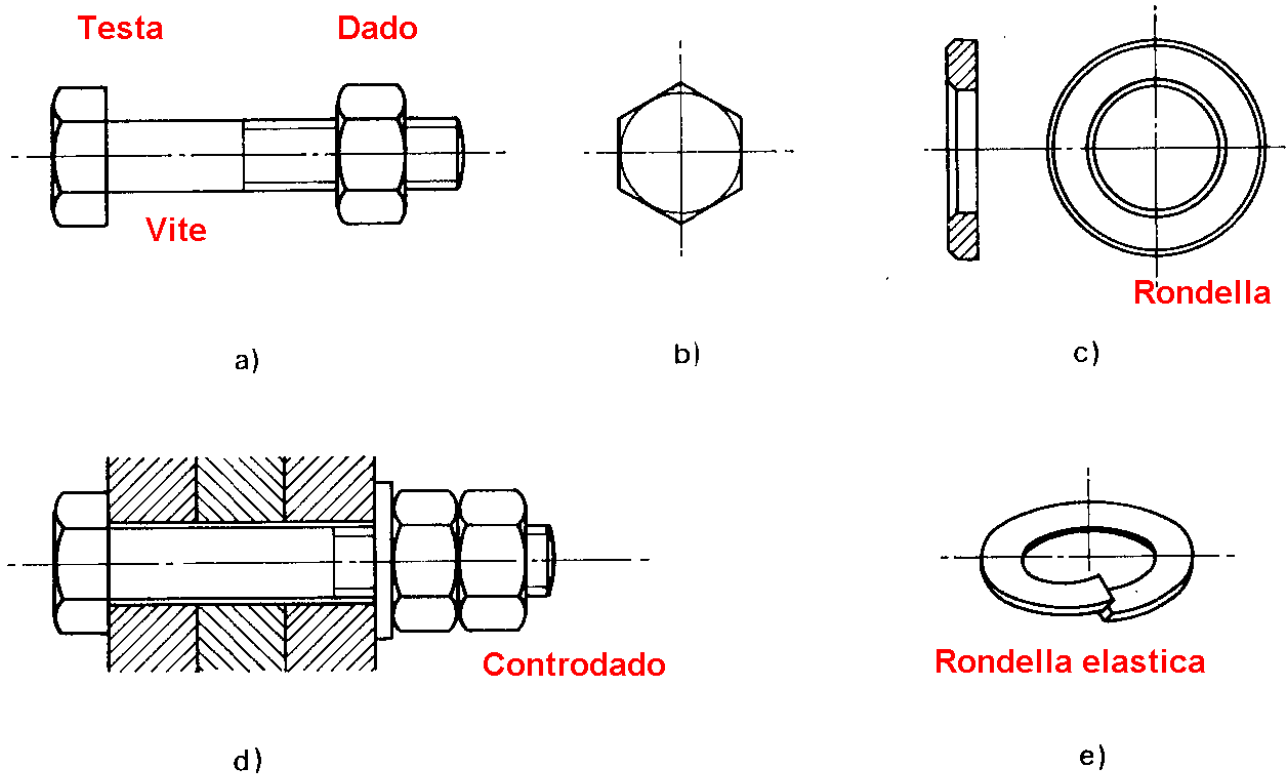


Fig. 6.1

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

Classificazione secondo CNR 10011 [#4.13]

Stato limite ultimo

Classe vite	f_t N/mm ²	f_y N/mm ²	$f_{k,N}$ N/mm ²	$f_{d,N}$ N/mm ²	$f_{d,v}$ N/mm ²
4.6	400	240	240	240	170
5.6	500	300	300	300	212
6.6	600	360	360	360	255
8.8	800	640	560	560	396
10.9	1000	900	700	700	495

$f_{k,N}$ è assunto pari al minore dei due valori $f_{k,N} = 0,7 f_t$, $f_{k,N} = f_y$ essendo f_t ed f_y le tensioni di rottura e di snervamento secondo UNI 3740;

$f_{d,N} = f_{k,N}$ resistenza di progetto a trazione;

$f_{d,v} = f_{k,N} / \sqrt{2}$ resistenza di progetto a taglio.

Tensioni ammissibili

Classe vite	f_t N/mm ²	f_y N/mm ²	$f_{k,N}$ N/mm ²	$\sigma_{b,adm}$ N/mm ²	$\tau_{b,adm}$ N/mm ²
4.6	400	240	240	160	113
5.6	500	300	300	200	141
6.6	600	360	360	240	170
8.8	800	640	560	373	264
10.9	1000	900	700	467	330

$f_{k,N}$ è assunto pari al minore dei due valori $f_{k,N} = 0,7 f_t$, $f_{k,N} = f_y$ essendo f_t ed f_y le tensioni di rottura e di snervamento secondo UNI 3740;

$\sigma_{b,adm}$, $\tau_{b,adm}$ tensioni ammissibili a trazione ed a taglio.

- N.B. Il primo numero x 100 = f_t il secondo per il primo = f_y
 Esempio: 5.6 → $f_t = 500$ MPa $f_y = 500 \times 0.6 = 300$ MPa
 tensione caratteristica: $f_{k,N}: \min(f_y; 0.7 f_t) = 300$ MPa
 resistenza di progetto a trazione: $f_{d,N} = f_{k,N} = 300$ MPa
 resistenza di progetto a taglio: $f_{d,v} = f_{d,N} / 2^{0.5} = 212$ MPa
 tensione ammissibile a trazione: $\sigma_{b,adm} = f_{d,N} / 1.5 = 200$ MPa

1.2 Geometria dei bulloni

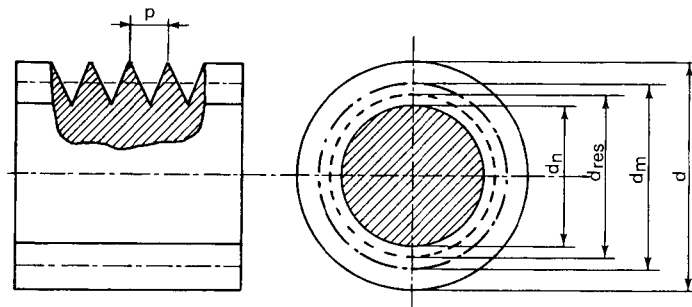


Fig. 6.5

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 ($A_{res}=0.75\div 0.84 A$).

1.3 Tolleranze dei bulloni [CNR 10011 #5.3.2]

Gioco foro-bullone

ϕ - $d \leq 2$ mm per $\phi \leq 24$ mm

ϕ - $d > 2$ mm per $\phi > 24$ mm

Fori “calibrati”: gioco = 0.1-0.2 mm

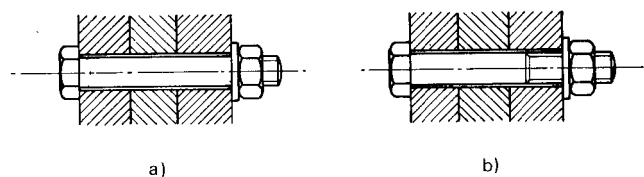


Fig. 6.7

- a) la filettatura inizia nello spessore della rondella: si usa A
 b) la filettatura inizia nello spessore delle piastre: si usa A_{res}

1.4 Interasse tra i fori [CNR 10011 #5.3.3]

Da rispettare perché siano validi i metodi di calcolo basati sulla redistribuzione (vd. in seguito cap.3).

Valori minimi → resistenza e ingombro avvitatori

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

5.3.3. Interasse e distanza dai margini

Per l'applicabilità dei criteri di verifica indicati ai successivi punti, con riferimento alla fig. 5-5, indicato con t_{min} il minore degli spessori degli elementi collegati deve risultare:

— interasse fori in direzione della forza

elementi compressi $15 t_{min} \geq p \geq 3 d$

elementi tesi $25 t_{min} \geq p \geq 3 d$

— distanza fori dal bordo libero in

direzione della forza $a \geq 2 d$

bordo non irrigidito $a \leq 6 t_{min}$

bordo irrigidito $a \leq 9 t_{min}$

— distanza fori dal bordo libero in

direzione perpendicolare alla forza $a_1 \geq 1,5 d$

bordo non irrigidito $a_1 \leq 6 t_{min}$

bordo irrigidito $a_1 \leq 9 t_{min}$

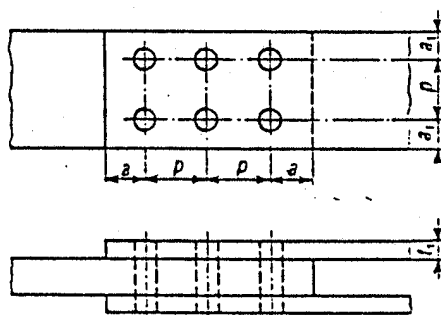


Fig. 5-5

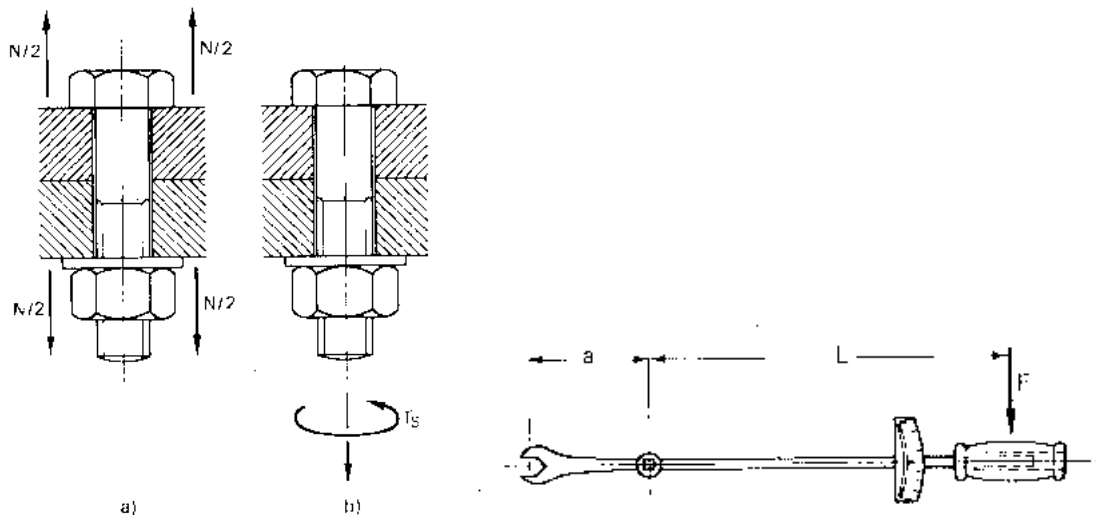
1.5 Serraggio

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



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.

d	T_S (N m)						d
	4.6	5.6	6.6	8.8	10.9	12.9	
10	19	26	31	51	64	76	10
12	33	44	54	89	110	132	12
14	53	71	86	142	176	211	14
16	82	111	135	221	275	330	16
18	113	152	185	304	379	453	18
20	161	216	263	431	537	643	20
22	219	293	357	587	731	875	22
24	278	373	454	746	929	1112	24
27	406	545	664	1091	1358	1626	27
30	572	767	934	1534	1910	2287	30
33	751	1008	1228	2015	2510	3005	33
36	965	1294	1576	2588	3224	3859	36
39	1248	1675	2040	3350	4172	4994	39

N_S (kN)						d
4.6	5.6	6.6	8.8	10.9	12.9	
10	13	16	26	32	38	10
14	18	23	37	46	55	12
19	25	31	51	63	75	14
26	35	42	69	86	103	16
31	42	51	84	105	126	18
40	54	66	108	134	161	20
50	67	81	133	166	199	22
58	78	95	155	193	232	24
75	101	123	202	252	301	27
95	128	156	256	318	381	30
114	153	186	305	380	455	33
134	180	219	359	448	536	36
160	215	262	429	535	640	39

Fig. 6.11

Coppie di serraggio

2 Resistenza dell'unione bullonata

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

2.1 Unioni a taglio



Fig. 6.13

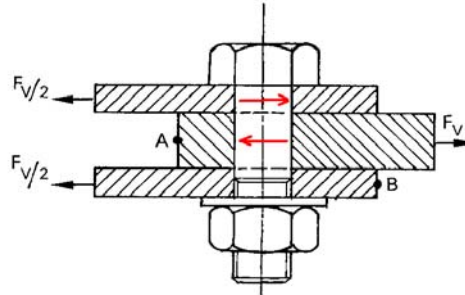


Fig. 6.14

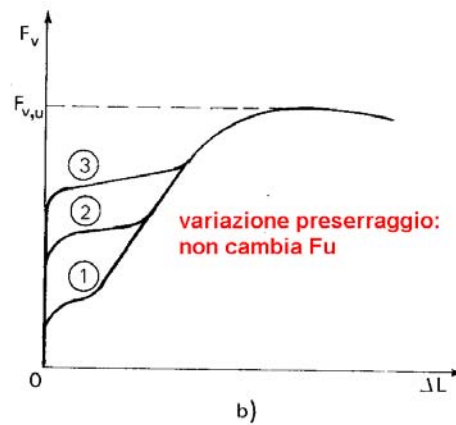
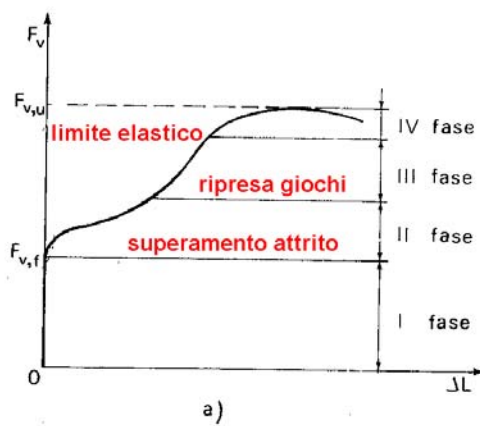
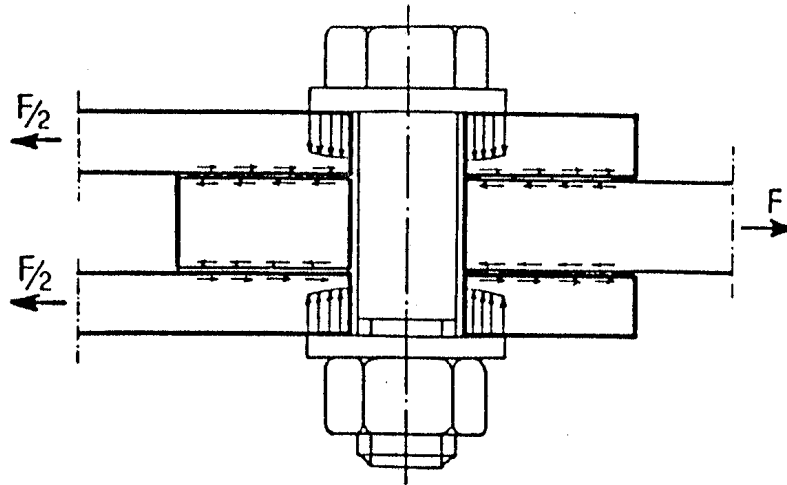


Fig. 6.15

2.1.1 Stato limite di servizio

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



$$\frac{F}{n} \leq \frac{\mu \cdot N_s}{1.5}$$

essendo:

- n: numero delle superfici di scorrimento
- μ : coefficiente di attrito (<0.5)
 - 0.30 per superfici non particolarmente trattate
 - 0.40 per superfici sabbiate

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)

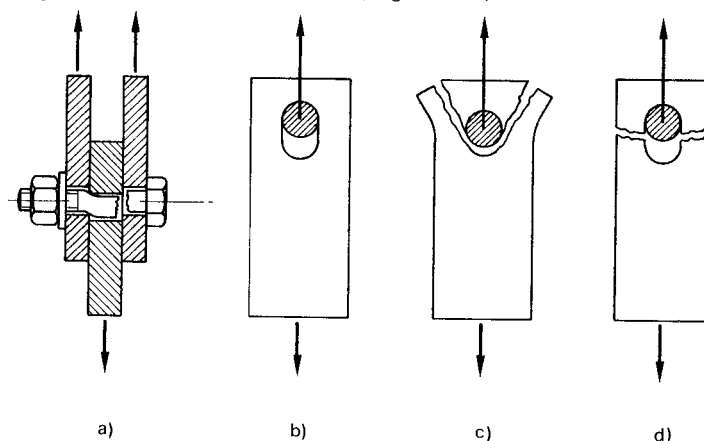


Fig. 6.19

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

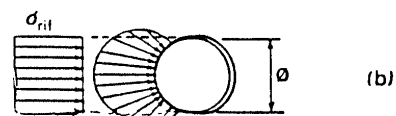
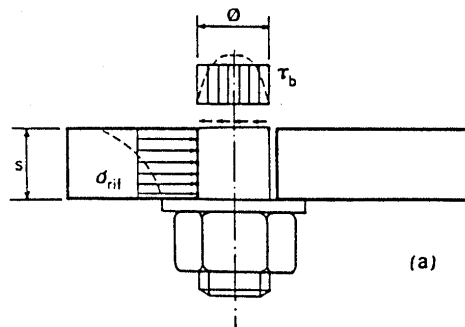
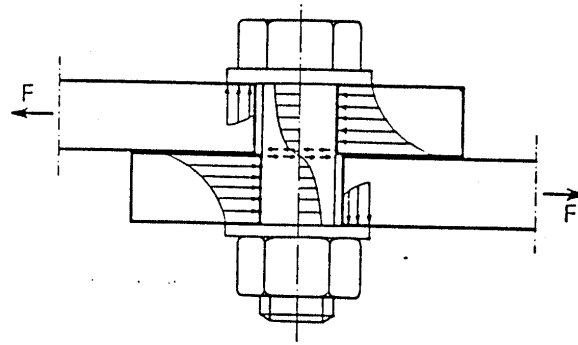
Verifica a taglio del bullone:

$\tau = V/A < \tau_{b,adm}$ se il gambo è a contatto con le piastre del giunto

$\tau = V/A_{res} < \tau_{b,adm}$ se la parte filettata è a contatto con le piastre del giunto

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

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



Verifica a rifollamento:

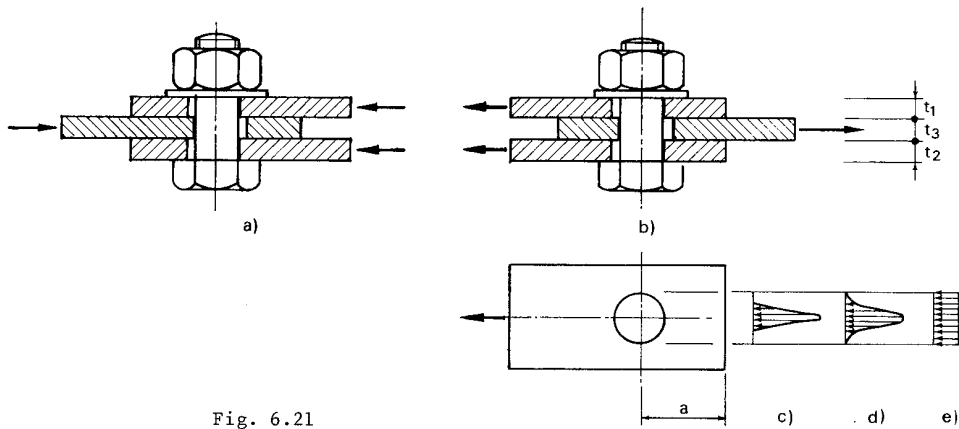


Fig. 6.21

$$\sigma_{rif} = \frac{F_i}{d t} \leq \alpha \sigma_{adm}$$

essendo :

F_i forza agente sul piatto

d diametro del bullone

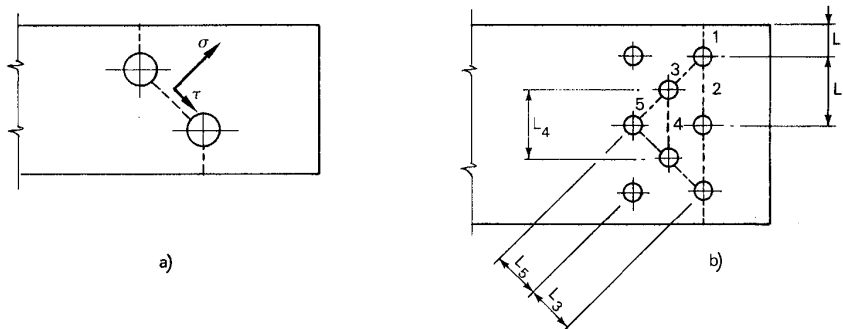
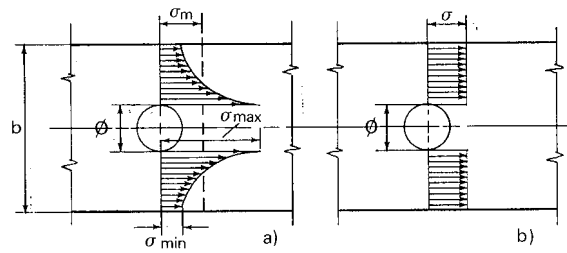
t spessore del piatto

σ_{adm} tensione ammissibile del materiale base

$\alpha = a / d$

a distanza del centro del foro dall'estremità del piatto nella direzione della forza
(vd. par. 1.4)

Verifica delle sezioni forate (trazione della lamiera - rottura sezione netta)



2.2 Unioni a trazione

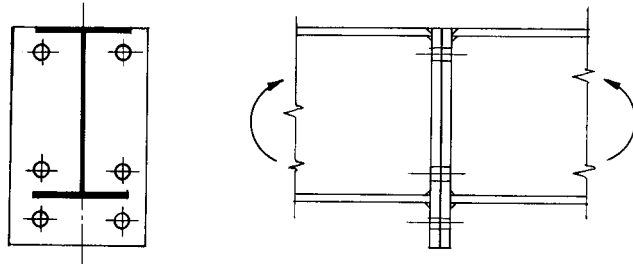


Fig. 6.26

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 .

2.2.1 Stato limite di servizio

Controllare, se necessario, la decompressione.

2.2.2 Stato limite ultimo

Verifica a trazione del bullone

Verifica a flessione della flangia

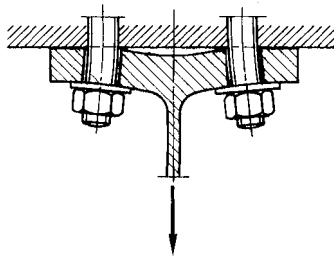


Fig. 6.29

2.3 Unioni a trazione e taglio

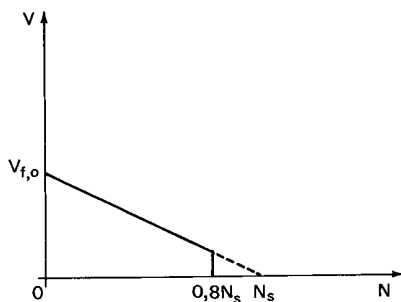


Fig. 6.31

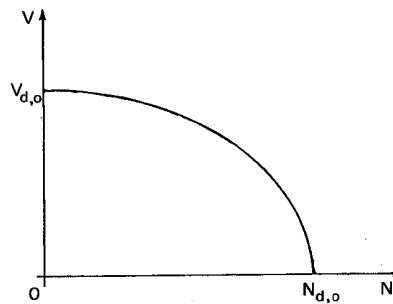


Fig. 6.32

2.3.1 Stato limite di servizio

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

2.3.2 Stato limite ultimo

Varie formule di interazione

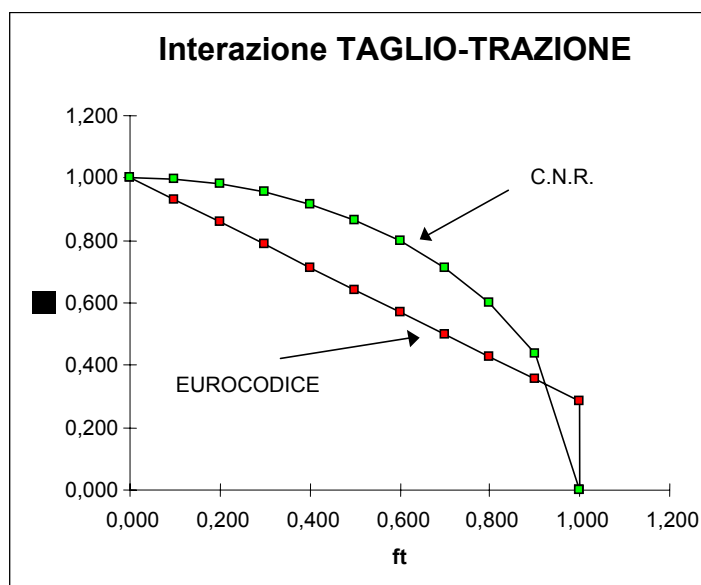
Ellisse CNR 10011 (# 5.3.4):

$$(a) \quad \left(\frac{\tau}{f_{d.V}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma}{f_{d.N}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{stati limite}$$

$$(b) \quad \left(\frac{\tau}{\tau_{b.adm}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma}{\sigma_{b.adm}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{tensioni ammissibili}$$

ed essendo $\tau_{b.adm} = \frac{\sigma_{b.adm}}{\sqrt{2}}$ la relazione (b) può essere scritta anche nella forma (b'):

$$(b') \quad \sqrt{\sigma^2 + 2 \tau^2} \leq \sigma_{b.adm}$$



3 Effetti delle caratteristiche di sollecitazione e verifiche

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)

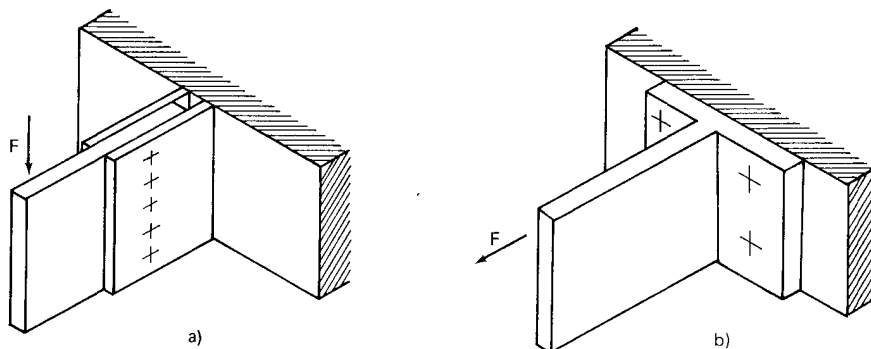


Fig. 6.35

3.1 Sollecitazione di taglio e torsione

Ipotesi semplificative: l'unione è costituita da

- lamiere infinitamente rigide
- e da bulloni perfettamente elastici.

Sotto queste ipotesi lo spostamento relativo di ogni bullone e quindi il suo scorrimento angolare è

- costante per effetto dell'azione tagliante (F_V)
- proporzionale alla distanza dal baricentro per effetto del momento torcente ($T=F_V e$)

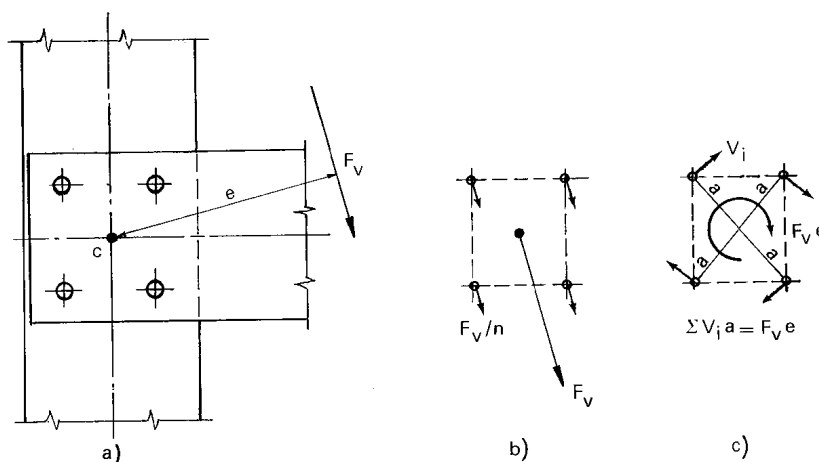


Fig. 6.36

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.

$$V_{F,i} = \frac{F_V}{n n_V} \quad \text{effetto della forza di taglio}$$

$$V_{F,i} = \frac{T a_i}{n_V \sum_i a_i^2} \quad \text{effetto del momento torcente}$$

essendo

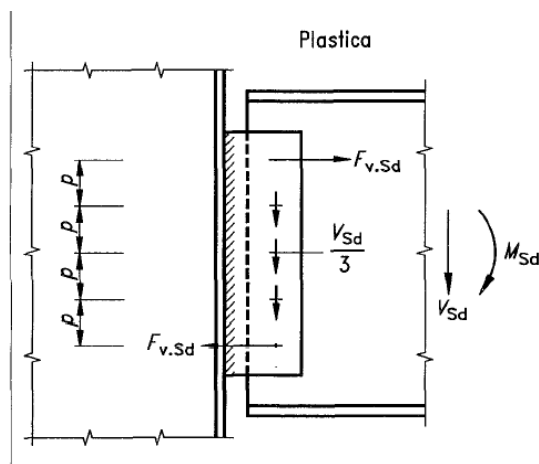
a_i la distanza del i -esimo bullone dal baricentro della bullonatura

n il numero dei bulloni

n_V il numero delle sezioni resistenti per ciascun bullone

Per la verifica della bullonatura bisogna sommare vettorialmente i due contributi, del taglio e del momento torcente.

- Metodo delle due forze (soluzione equilibrata). Il nome è improprio; si dividono i compiti come illustrato nella figura seguente. Nel caso di Fig. 6.36 è evidente che non conviene dividere i compiti.



$$F_{V,Sd} = M_{Sd} / (4 p)$$

Si ipotizzano delle plasticizzazioni locali attorno ai fori per distribuire gli sforzi sui bulloni.

