

SCELTA E VERIFICA DEI BULLONI

1) METODI DI COLLEGAMENTO

1.1. Generalità

Le strutture in acciaio sono normalmente costituite da componenti elementari quali le lamiere ed i profilati prodotti dalla siderurgia: oltre che con materiali diversi per caratteristiche meccaniche e chimiche, le prime vengono prodotte in diversi spessori, i secondi vengono prodotti in varie forme e dimensioni per rispondere alle svariate esigenze del progettista.

Tali componenti, al fine di costituire l'intero manufatto che si desidera realizzare, devono essere collegati fra loro in modo da trasmettere da una membratura all'altra le sollecitazioni derivanti dal peso proprio, dai carichi di servizio e dalle azioni esterne.

I collegamenti delle singole parti di una struttura possono essere realizzati con chiodi da ribadire a caldo o a mezzo saldatura o con bulloni.

1.2. Chiodatura

I chiodi hanno costituito nel passato il preponderante mezzo di collegamento delle singole parti costituenti la struttura, ne sono testimonianza le grandi opere come i ponti ferroviari, la torre Eiffel di Parigi, le tettoie della stazione ferroviaria di Milano, etc.

La chiodatura si effettua introducendo, in un foro eseguito nelle parti da collegare, un chiodo riscaldato sino ad una temperatura di 900°C. e quindi ribadendo con stampo e controstampo.

Con questa operazione viene quasi completamente eliminato il gioco tra foro e chiodo, conferendo una notevole rigidità al giunto.

La particolarità di tale collegamento risiede nelle complicazioni del montaggio connesse con la ribaditura che richiede fra l'altro attrezzature ingombranti e scomode da usare.

La difficoltà del montaggio dei chiodi ha fatto loro preferire col passare del tempo sempre più spesso i bulloni e la saldatura: i primi quando era possibile accettare una maggiore deformazione relativa delle parti collegate, la seconda soprattutto per le giunzioni che potevano essere eseguite direttamente in officina e nella quasi totalità delle apparecchiature.

1.3. Saldatura

La saldatura rappresenta il metodo ideale di collegamento in quanto assicura la fusione dei lembi da saldare e del materiale d'apporto usato per alimentare il bagno di fusione: si realizza in tal modo la continuità metallica tra le parti saldate.

Ma anche la saldatura comporta notevoli difficoltà di esecuzione soprattutto in opera, e quindi la buona esecuzione è legata all'alta professionalità degli operatori ed a condizioni ambientali favorevoli, assenza di vento e umidità. A tutto ciò si aggiunge un onere non trascurabile dovuto ai controlli sia qualitativi che geometrici delle stesse.

1.4. Bullonatura

Parallelamente all'introduzione della saldatura si è ricorsi all'impiego di bulloni, soprattutto per le giunzioni da eseguire in opera.

I bulloni si iniziarono ad impiegare per quelle giunzioni per le quali era possibile ammettere assestamenti, anche modesti, provocati dalla ripresa del gioco foro-bullone sotto carico.

Quando tali assestamenti non potevano essere accettati, si poteva far ricorso ai bulloni calibrati per i quali vengono imposti fori con gioco ridottissimo. Tali costruzioni richiedono un'accuratezza e conseguentemente un costo maggiore. L'introduzione dei bulloni ad alta resistenza, che possono lavorare ad attrito e che possono essere montati in fori con gioco maggiore, permette invece di realizzare delle giunzioni più versatili: esse assicurano al giunto, nelle condizioni di esercizio, una mancanza di deformabilità relativa, rispetto alle giunzioni con bulloni che lavorano a taglio, ed una maggior sicurezza nella rispondenza al progetto, oltre che una più agevole messa in opera, rispetto alla saldatura. Per questi motivi l'impiego dei bulloni nelle giunzioni è diventato prevalente nei confronti dei chiodi e della stessa saldatura.

2) MATERIALI DEI BULLONI

2.1. Classi di appartenenza

I bulloni dalle norme UNI-CNR 10011 (ritirato senza sostituzione) si dividono in classi di resistenza. esse sono:

4.6 - 5.6 - 8.8 - 10.9

I valori nominali della resistenza a rottura e della resistenza allo snervamento si deducono direttamente e molto semplicemente dalla sigla che caratterizza la classe: ciascuna sigla può essere pensata composta da due numeri dove il primo, moltiplicato per 100, indica il valore della rottura **ft** in **N/mm²** ed il secondo, preceduto dal punto (con significato decimale nella notazione anglosassone), indica il coefficiente per il quale bisogna moltiplicare la rottura **ft** per ottenere sempre in **N/mm²**, lo snervamento **fy**.

Ad esempio i bulloni della classe 10.9 hanno:

$$\begin{aligned} \mathbf{ft(10.9)} &= \mathbf{100 \times 10 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{1\ 000 \text{ N/mm}^2} \\ \mathbf{fy(10.9)} &= \mathbf{1\ 000 \text{ N/mm}^2 \times .9} = \mathbf{900 \text{ N/mm}^2} \end{aligned}$$

La resistenza caratteristica di un bullone a trazione **fk, N** si ottiene come lo snervamento con la variante che il coefficiente moltiplicativo non deve superare il valore di **.7**, ovvero per i bulloni delle classi 8.8 e 10.9 la resistenza caratteristica a trazione si ottiene sostituendo a **.8** ed a **.9** il valore **.7**.

$$\begin{aligned} \mathbf{fk,N (8.8)} &= \mathbf{N/mm^2 \ 800 \times .7} = \mathbf{N/mm^2 \ 560} \\ \mathbf{fk,N (10.9)} &= \mathbf{N/mm^2 \ 1\ 000 \times .7} = \mathbf{N/mm^2 \ 700} \end{aligned}$$

La resistenza di progetto a trazione **fd,N** è uguale a **fk,N** e la resistenza di progetto a taglio **fk,V** è uguale a **fk,N/√2**

L'EUROCODICE 3 prevede invece le seguenti classi:

4.6 - 4.8 - 5.6 - 5.8 - 6.8 - 8.8 - 10.9

per le quali il valore della resistenza a rottura e di quella a snervamento si ottengono con la stessa regola sopra enunciata.

2.2. Bulloni normali

Vengono chiamati bulloni normali quelli delle classi 4.6 e 5.6 e vengono chiamati ad alta resistenza quelli delle classi 8.8 e 10.9. I bulloni normali vengono impiegati per le giunzioni a taglio, nelle quali la resistenza del giunto è affidata alla capacità di resistenza a taglio delle sezioni del bullone impegnate nel giunto.

2.3. Bulloni ad alta resistenza

I bulloni ad alta resistenza vengono impiegati per le giunzioni ad attrito, nelle quali l'efficacia del giunto è affidata all'attrito prodotto dalla pretensione dovuta al momento di serraggio a cui è sottoposto il bullone. E' ammesso anche l'impiego di bulloni ad alta resistenza per le giunzioni a taglio, anche se nella maggior parte dei casi il loro impiego, soprattutto per i bulloni di classe 10.9, risulta non giustificato ed antieconomico in quanto la resistenza del giunto risulta condizionata nella maggior parte dei casi dalle tensioni di rifollamento.

3) VERIFICHE

3.1. Bulloni impegnati a taglio

Nei bulloni sollecitati ad azioni taglianti **V** ed impegnati in **n** sezioni, la tensione media è data da:

$$\mathbf{\tau (\tau) = V/(n \cdot A) \text{ o } \tau (\tau) = V/(n \cdot A_{res})}$$

a seconda se a contatto con le piastre del giunto si trova il gambo o la parte filettata.

E' necessario, quando si esegue la verifica, prendere in esame anche le tensioni indotte nel gambo dalle eccentricità; per esempio quando il bullone collega soltanto due piastre esso è soggetto anche al momento flettente ottenibile, con buona approssimazione, moltiplicando la forza applicata per un braccio uguale alla somma dei due semispessori delle piastre collegate.

Per assicurare la completa rispondenza fra progetto e realizzazione è prudente eseguire il dimensionamento dei giunti prevedendo viti con gambo interamente filettato, in quanto non è possibile verificare, a montaggio avvenuto, se sia stato effettivamente montato un bullone con gambo non filettato.

3.2. Bulloni impegnati ad attrito

Nel caso si vogliano impedire gli scorrimenti nelle giunzioni, affidando lo sforzo da trasmettere all'attrito fra le superfici a contatto, i valori massimi delle sollecitazioni non devono superare i valori trasmissibili

$$V_{f,0} = 0,24 N_s$$

dove il coefficiente 0,24 è il rapporto fra coefficiente d'attrito per giunzioni effettuate in opera e il coefficiente di riduzione 1,25 nei confronti dello slittamento ed N_s è la forza indotta nel gambo della vite dal momento torcente applicato e pari a

$$N_s = 0,8 f_k N \times A_{res}$$

Quando le sollecitazioni superano tali valori, i bulloni, dopo la ripresa del gioco foro-bullone, vengono impegnati al taglio.

Come è immediato verificare, la resistenza a taglio di un bullone è molto più alta dello sforzo massimo trasmissibile per attrito, pertanto la resistenza del giunto è assicurata a meno che la deformazione del giunto non provochi un cambiamento di geometria tale da innescare in rapida successione sino al collasso un incremento di sollecitazioni conseguenti ad una deformazione crescente.

3.3. Bulloni impegnati a trazione

Per bulloni impegnati a trazione la tensione media viene ovviamente calcolata in ogni caso, anche in presenza di gambo non filettato, con la seguente relazione

$$\sigma (\delta) = N/A_{res}$$

Tale verifica può essere adottata solo per bulloni di fondazione, normalmente di classe 4.6, in quanto nelle giunzioni a flangia, nelle quali i bulloni sono soggetti a sollecitazione di trazione, è opportuno che esse non provochino il distacco fra le flange e pertanto è necessario in tal caso impiegare bulloni ad alta resistenza con idoneo preserraggio.

In un giunto per attrito i bulloni possono essere sollecitati anche da una forza assiale di trazione N_t non maggiore di $0,8 N_s$. In questo caso la forza trasmissibile per attrito si riduce a:

$$V_{t,N} = V_{f,0} (1 - N_t/N_s)$$

I valori di tale forza, per ogni diametro e classe, vengono riportati al punto 5.1 in tabella.

4) CRITERI DI SCELTA

Sulla scorta di quanto visto emergono alcuni concetti basilari per la scelta del tipo di collegamento e della classe dei bulloni. Quando è possibile accettare assestamenti di alcune membrature, per esempio nelle travi di impalcature, è opportuno utilizzare bulloni normali impegnati al taglio; se il materiale delle travi è ad alta resistenza, ad esempio in Fe 510, può essere conveniente l'impiego di bulloni delle classi 8.8 sempre impegnati a taglio.

Quando non è possibile accettare assestamenti, come per esempio nei tralicci, nelle capriate, nei controventi, è opportuno usare bulloni ad alta resistenza impegnati ad attrito i quali, anche se il costo è maggiore a causa di una quantità di bulloni più grande ed un costo unitario più alto, hanno il vantaggio di essere montati più agevolmente a causa di un possibile gioco forobullone più grande.

L'impiego di giunzioni ad attrito è inoltre consigliato per le membrature soggette a vibrazioni o inversioni di sforzo.

5) TABELLE

Si riportano, nelle tabelle seguenti, per ciascun diametro e per ciascuna delle classi di resistenza in esame alcuni dati caratteristici.

5.1 - FORZA $V_f, N [kN]$ TRASMISSIONE PER ATTRITO IN FUNZIONE DELLA FORZA ASSIALE DI TRAZIONE $N [kN]$ PER CIASCUNO PIANO DI CONTATTO

Diametro	Classe 8.8	Classe 10.9
M12	9,06 - 0,24 N	11,32 - 0,24 N
M14	12,36 - 0,24 N	15,45 - 0,24 N
M16	16,88 - 0,24 N	21,10 - 0,24 N
M18	20,64 - 0,24 N	25,80 - 0,24 N
M20	26,34 - 0,24 N	32,92 - 0,24 N
M22	32,57 - 0,24 N	40,72 - 0,24 N
M24	37,95 - 0,24 N	47,44 - 0,24 N
M27	49,35 - 0,24 N	61,68 - 0,24 N
M30	60,31 - 0,24 N	75,39 - 0,24 N

5.2 - FORZA ASSIALE $N [kN]$ MASSIMA CHE PUO' AGIRE NEL BULLONE

Diametro	Classe 8.8	Classe 10.9
M12	30,21	37,76
M14	41,21	51,52
M16	56,26	70,33
M18	68,81	86,01
M20	87,80	109,76
M22	108,59	135,74
M24	126,51	158,14
M27	164,50	205,63
M30	201,06	251,32

5.3 - MASSIMO TAGLIO $V [kN]$ ASSORBIBILE DA UN BULLONE IMPEGNATO NELLA ZONA NON FILETTATA PER OGNI PIANO DI TAGLIO

Diametro	4.6	5.6	8.8	10.9
M12	19,17	23,96	44,75	55,93
M14	26,13	32,66	60,98	76,23
M16	34,11	42,63	79,60	99,49
M18	43,10	53,87	10,58	125,73
M20	53,28	66,60	124,34	155,43
M22	64,48	80,60	150,48	188,10
M24	76,60	95,87	178,99	223,74
M27	97,23	121,53	226,91	283,63
M30	119,98	149,95	279,97	349,96

5.4 - VALUTAZIONE DI PESI

Si riportano qui di seguito le relazioni che permettono di determinare con un'approssimazione di $\pm 0,5\%$ il peso espresso in Kg dei bulloni completi di dado (1 000 pezzi) in funzione del diametro (mm) e della lunghezza del gambo (mm)

Diametro	Peso in Kg di 1 000 bulloni (completi di dado)
M12	32,5 + 0,86 L
M14	50 + 1,14 L
M16	61,3 + 1,52 L
M18	91,6 + 1,93 L
M20	129 + 2,38 L
M22	159 + 2,90 L
M24	233 + 3,41 L
M27	341 + 4,27 L
M30	447 + 5,43 L

Le tre relazioni seguenti permettono invece di valutare con precisione minore, mediamente $\pm 2\%$, il peso dei bulloni (1 000 pezzi) in funzione del solo diametro per una determinata lunghezza del gambo; per il bullone da M 12 si ha invece un peso in eccesso di circa il 5% e per il bullone M 22 si ha un peso in difetto di circa il 5%.

$$\begin{aligned} \text{Peso (DxL) = Kg D3 / 29} & \quad \text{quando il gambo è lungo 3D} \\ \text{Peso (DxL) = Kg D3 / 24,5} & \quad \text{quando il gambo è lungo 4D} \\ \text{Peso (DxL) = Kg D3 / 21,5} & \quad \text{quando il gambo è lungo 5D} \end{aligned}$$

Si ritiene che queste semplici relazioni possano essere di una certa utilità soprattutto per avere ordini di grandezza.

Riferimenti

Quanto esposto costituisce un brevissimo cenno sull'argomento integrato da qualche considerazione di ordine pratico. Il testo è ricavato da:

- Salmeri Antonio, Giunzioni: Tipologie e dimensionamento, lezione tenuta a Latina, nell'ambito del Corso di Strutture in Acciaio organizzato dal Collegio dei Tecnici dell'Acciaio e dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Latina nell'Aprile 1989.

Per una trattazione più ampia e rigorosa dell'argomento, si rimanda, oltre che alle normative in vigore in Italia, ai seguenti testi:

- Ballio Giulio, Mazzolani Federico Massimo, Strutture in acciaio, Milano, Hoepli 1988.
- Carputi Ugo, Locatelli Marco, Collegamenti chiodati e bullonati, Milano, CISIA 1973.